Vedeckotechnická spoločnosť pri Žilinskej univerzite v Žiline
Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline
Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice
s partnermi:
CZ LOKO, a.s.
ŠKODA TRANSPORTATION a.s.
Železničná spoločnosť Slovensko, a.s.,
a Železničná spoločnosť Cargo Slovakia, a.s.

ZBORNÍK PREDNÁŠOK
Diel II
PROCEEDINGS
Vol. II

XXVI. medzinárodnej konferencie

Súčasné problémy v koľajových vozidlách

26th International Conference

Current Problems in Rail Vehicles

PRORAIL 2023

nad ktorou prevzali záštitu
under the auspices of

minister dopravy SK
Ing. Pavol LANČARIČ, PhD.
rektor Žilinskej univerzity v Žiline
Prof. Ing. Ján ČELKO, CSc.,
predseda predstavenstva a generálny riaditeľ Železničnej spoločnosti Slovensko, a.s.
Ing. Roman KOREŇ,
predseda predstavenstva a generálny riaditeľ Železničnej spoločnosti Cargo Slovakia, a.s.
Ing. Roman GONO

Organizátori konferencie ďakujú za výraznú podporu konferencie partnerom:
CZ LOKO, a.s.,
ŠKODA TRANSPORTATION a.s.,
Železničnej spoločnosti Slovensko, a.s.,
Železničnej spoločnosti Cargo Slovakia, a.s.,
sponzorom a ďalším firmám, ktoré konanie konferencie podporili inou formou.

Organizers are pleased to thank the Partners:
CZ LOKO, a.s.,
ŠKODA TRANSPORTATION a.s.,
Železničná spoločnosť Slovensko, a.s.
and Železničná spoločnosť Cargo Slovakia,a.s.*,*
the sponsors of the Conference and other companies which supported the Conference in different way

Zostavovatelia:
prof. Ing. Daniel Kalinčák, PhD., Ing. Mária Loulová, PhD.
Účelová publikácia VTS pri ŽU v Žiline
EDIS-vydavateľstvo UNIZA

© VTS pri ŽU v Žiline, 2023
ISBN 978-80-89276-62-2
https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2

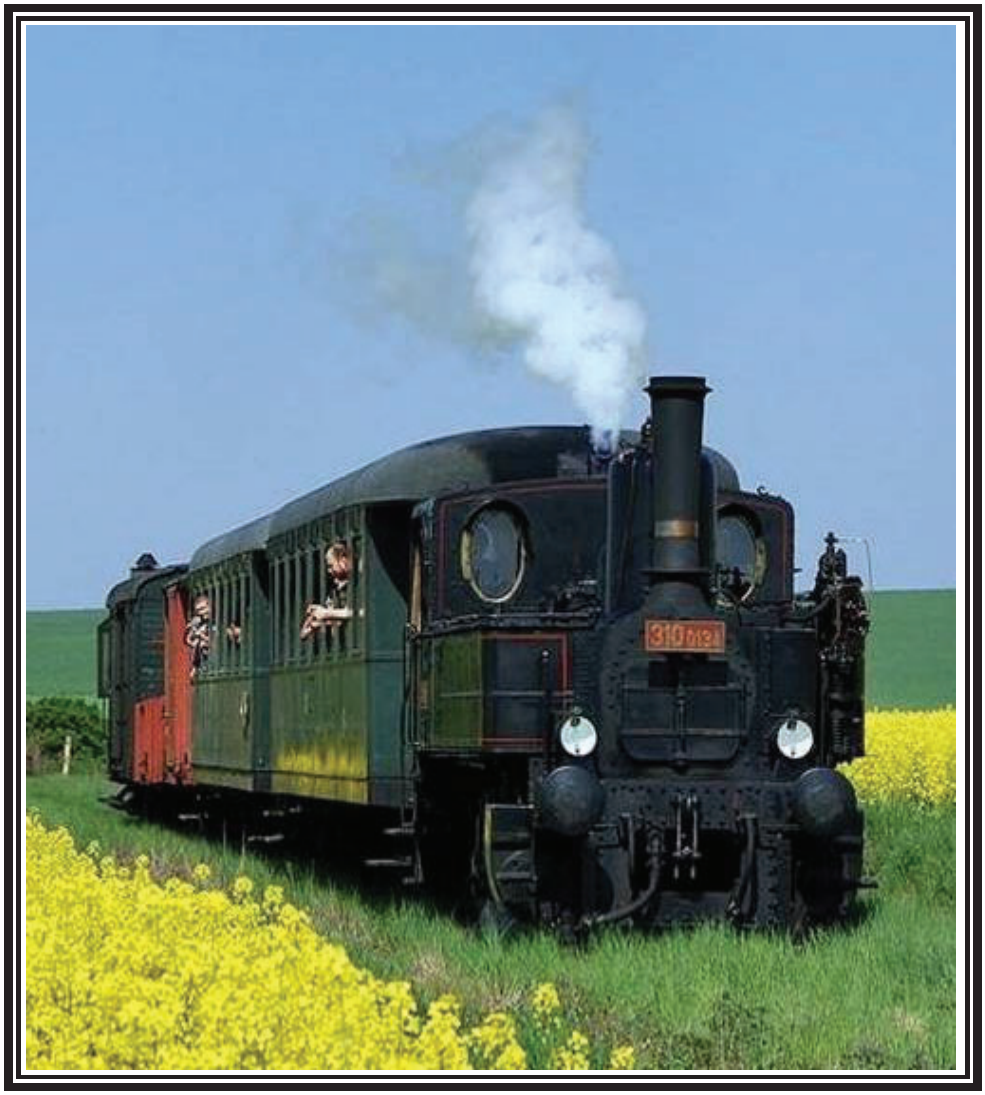
Vedecký výbor / *Scientific Committee*:

Predseda / *Chairmen:*
prof. Ing. Daniel Kalinčák, PhD., Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, SK

Členovia / *Members:*
doc. Ing. Dalibor Barta, PhD., Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, SK
doc. Ing. Marián Baštek, CSc., ŽOS Vrútky,a.s.,SK
prof. Dr. Gintautas Bureika, Vilnius Gediminas Technical University, LT
prof. Ing. Bohumil Culek, CSc., Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, CZ
doc. Ing. Ján Dižo, PhD., Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, SK
doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D., Fakulta strojní, VŠB - TU Ostrava, CZ
Ing. Ondřej Fanta, Ph.D., VUZ - Výzkumný Ústav Železniční, a.s., Praha, CZ
prof. Dr. Szabolcs Fischer, PhD., Dr.habil., Széchenyi István University. Györ, HU
prof. Oleksij Fomin, Dr.Sc. State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, UA
prof. Dr. Ing. Juraj Gerlici, Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, SK
doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD., Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, SK
prof. Dr.-Ing. Markus Hecht, Technická univerzita Berlin, D
doc. Ing. Petr Heller, CSc., Fakulta strojní, Západočeská univerzita v Plzni, CZ
prof. dr. hab. inź. Andrzej Chudzikiewicz, Kazimierz Pulaski University of Technologies and Humanities in Radom, PL
Ing. Aleš Kabourek, CZ LOKO, a.s.,Česká Třebová, CZ
Ing. Jan Kalivoda, Ph.D., Fakulta strojní, ČVUT v Praze, CZ
Ing. Martin Kohout, Ph.D., Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, CZ
doc. Ing. Josef Kolář, CSc., Fakulta strojní, ČVUT v Praze, CZ
prof. Ing. Oleksandr Kravchenko, Dr. Sc.Tech., Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, SK
Ing. Jaroslav Kristen, Dopravní podnik hl. města Prahy, CZ
Ing. Andrej Lang, ASTRA Rail Project s.r.o., Poprad, SK
doc. Ing. Michael Lata, Ph.D., Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, CZ
Ing. Ján Lopata, PhD., Železničná spoločnosť Cargo Slovakia, a.s.,Bratislava,SK
prof. Alyona Lovska, Dr. Sc., Tech., Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, SK
Ing. Zdeněk Malkovský, Ph.D., VÚKV, a.s. Praha, CZ
Ing. Tomáš Michálek, Ph.D., Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, CZ
Ing. Marián Moravčík, PhD., Tatravagónka a.s., Poprad, SK
Ing. Matìj Pácha, PhD., Ineltech, s.r.o., Žilina, SK
Dr. hab. inź. Marek Pawełczyk, prof. PŚk, Kielce University of Technology, PL
Ing. Jan Plomer, České dráhy, a.s., Praha, CZ
Ing. Jiří Pohl, Siemens Mobility, s.r.o., Praha CZ
prof. Ing. Oldřich Polách, PhD., nezávislý poradca, Neuhausen am Rhf., CH
Ing. Jiří Segeťa, Škoda Group Ostrava, a.s., CZ
prof. dr hab. inź. Marek Sitarz, WSB University, Dabrowa Górnicza, PL
prof. dr. Dušan Stamenković, Faculty of Mechanical Enfineering, University of Niš, RS
Ing. Ján Urda, PhD., ŽSR - Výskumný a vývojový ústav železníc Žilina, SK
Ing. Jakub Vágner, Ph.D., Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, CZ
doc. Ing. Petr Voltr, Ph.D., Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, CZ
Ing. Jan Zapletal, ŠKODA TRANSPORTATION a.s., Plzeň, CZ
doc. Ing. Jaromír Zelenka, CSc., Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, CZ
Ing. Radim Zíma, Ph.D., MBA, Bonatrans Group a.s., Bohumín,CZ
prof. Ing. Peter Zvolenský, CSc., Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, SK

Predseda organizačného výboru / *Chairmen of the Organizing Commitee*:
doc. Ing. Dalibor Barta, PhD., Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žilina, SK

Členovia:
Ing. Jana Galliková, PhD., VIACARE s.r.o., Žilina,SK
Ing. Jozef Harušinec, PhD., KDMT, Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, SK
Ing. Mária Loulová, PhD., KDMT, Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, SK
Ing. Andrej Suchánek, PhD., KDMT, Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, SK
Ing. Pavol Šťastniak, PhD., KDMT, Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, SK



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA „SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

Každý príspevok uverejnený v zborníku je recenzovaný dvomi recenzentami

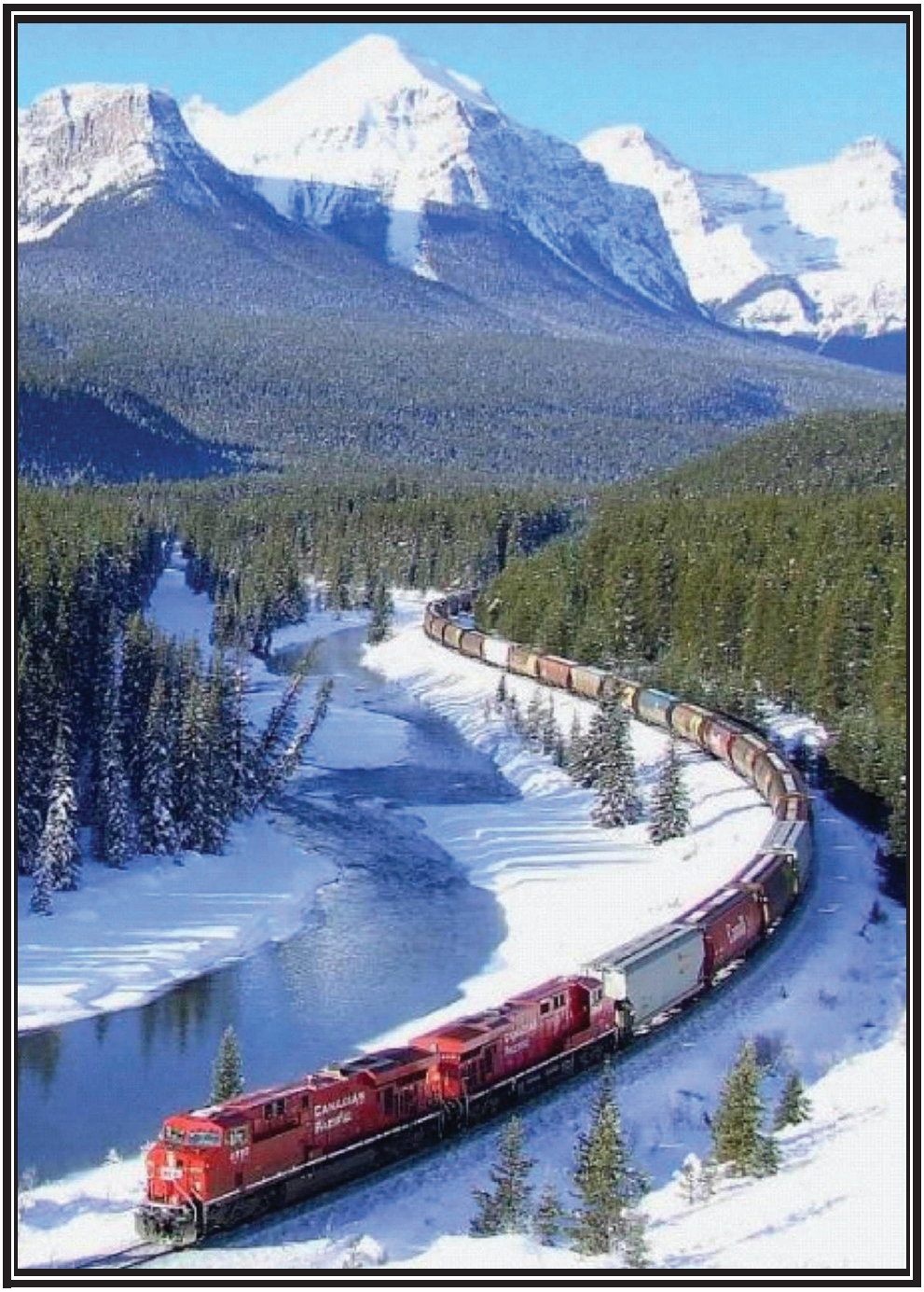
Each paper published in the Proceedings is reviewed by two reviewers

doc. Dr.Ing. Gabriela Achtenová, FS CVUT v Praze, CZ
doc. Milan Banič, PhD., FME, University of Niš, RS
doc. Ing. Dalibor Barta, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
Ing. Petr Bauer, Ph.D., FS CVUT v Praze, CZ
doc. Ing. Peter Blaho, PhD., ŽSR – UIVP Bratislava, SK
doc. Ing. Miroslav Blatnický, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
Ing. Miloš Brezáni, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
doc. Ing. Jozef Bronček, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
prof. Dr. Gintautas Bureika, Vilnius Gediminas Technical University, LT
doc. Ing. Miroslav Byrtus, Ph.D., FS CVUT v Praze, CZ
prof. Ing. Bohumil Culek, CSc., DFJP Univerzita Pardubice, CZ
doc. Ing. Ján Dižo, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
Ing. Ján Ďungel, PhD., Asso CEIT, a.s., Žilina, SK
Ing. Ondřej Fanta, Ph.D., VÚŽ, a.s. Praha, CZ
doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D., FS VŠB – TU Ostrava, CZ
prof. Dr. Szabolcs Fischer, PhD., Dr. habil., Széchenyi István University, Győr, HU
prof. Oleksij Fomin, Dr. Sc., State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, UA
Ing. Tomáš Fridrichovský, Ph.D., FS CVUT v Praze, CZ
Ing. Jana Galliková, PhD., VIACARE, s.r.o., Žilina, SK
Ing. Marián Galmiš, Železničná spoločnosť Slovensko, a.s., Bratislava, SK
prof. Dr.Ing. Juraj Gerlici, SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
Ing. Aleš Hába, Ph.D., DFJP Univerzita Pardubice, CZ
Ing. Michal Halička, Železničná spoločnosť Slovensko, a.s., Bratislava, SK
Ing. Jozef Harušinec, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
prof. Dr. Ing. Markus Hecht, Technische Universität Berlin, DE
doc. Ing. Petr Heller, CSc., FS Západočeská univerzita v Plzni, CZ
Ing. Tomáš Heptner, VÚKV a.s., Praha, CZ
Ing. Jozef Hriňák, PhD., ŽOS Vrútky, a.s., SK
prof. dr hab. Inż. Andrzej Chudzikiewicz, Kazimierz Pulaski University of Technologies and Humanities in Radom, PL
doc. Ing. Roman Jarina, PhD., FEIT Žilinská univerzita v Žiline, SK
prof. Ing. Daniel Kalinčák, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK

Ing. Jan Kalivoda, Ph.D., FS ČVUT v Praze, CZ
Ing. Martin Kohout, Ph.D., DF JP Univerzita Pardubice, CZ
doc. Ing. Josef Kolář, CSc., FS ČVUT v Praze. CZ
Ing. Marian Kollár, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
Ing. Jaroslav Kristen, Dopravní podnik hl. města Prahy, CZ
Ing. Ľubomír Kuťka, Železničná spoločnosť Cargo Slovakia, a.s., Bratislava, SK
Ing. Milan Kwaczek, BONATRANS GROUP a.s., Bohumín, CZ
Ing. Andrej Lang, ASTRA Rail Project s.r.o., Poprad, SK
doc. Ing. Michael Lata, Ph.D., DFJP Univerzita Pardubice, CZ
Ing. Stanislava Liberová, Ph.D., DFJP Univerzita Pardubice, CZ
Ing. Ján Lopata, PhD., Železničná spoločnosť Cargo Slovakia, a.s., Bratislava, SK
Ing. Mária Loulová, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
Prof. Alyona Lovska, Dr. Sc. Tech., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
doc. Ing. Pavol Makýš, PhD., FEIT Žilinská univerzita v Žiline, SK
doc. Ing. Stanislav Malinčík, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
Ing. Zdeněk Malkovský, Ph.D., VÚKV a.s., Praha, CZ
Ing. Patrik Matoušek, AŽD Praha s.r.o., CZ
Ing. Tomáš Michálek, Ph.D., DFJP Univerzita Pardubice, CZ
prof. Dr. Aleksandar Miltenović, PhD., FME, University of Niš, RS
Ing. Marián Moravčík, Ph.D., Tatravagónka a.s., Poprad, SK
Ing. Denis Molnár, SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
Ing. Libor Nohál, Ph.D., ZKL - Výzkum a vývoj, a.s., Brno, CZ
Ing. Tomáš Oppolzer, Ph.D., Stadler Praha, s.r.o., CZ
Ing. Matěj Pácha, PhD., FEIT Žilinská univerzita v Žiline, SK
prof. dr hab. inż. Marek Pawelczyk, Politechnika Świętokryzska. Kielce, PL
Ing. Jozef Peško, OLTIS Slovakia, s.r.o., Bratislava, SK
Ing. Lucie Phamová, Ph.D., VÚKV a.s., Praha, CZ
Ing. Jan Plomer, České dráhy, a.s., Praha, CZ
Ing. Jiří Pohl, Siemens Mobility, s.r.o., Praha. CZ
prof. Ing. Oldřich Polách, PhD., nezávislý poradca, Neuhausen am Rhf., CH
Ing. Lukáš Raif, Ph.D., DT – výhybkárna a strojírna, a.s., CZ
prof. Ing. Karol Rástočný, PhD., FEIT Žilinská univerzita v Žiline, SK
Ing. Michal Richtář, Ph.D., FS VŠB – TU Ostrava, CZ
Ing. Pavel Sála, Ph.D., Škoda Transportation, a.s., Plzeň. CZ
Ing. Jiří Segeťa, Škoda Vagonka a.s., Ostrava, CZ
prof. Ing. Eva Schmidová, Ph.D., DFJP Univerzita Pardubice, CZ
prof. dr hab. Inż. Marek Sitarz, Wysza Szkola Biznesu, Dąbrowa Górnicza, PL
Ing. Lukáš Smetanka, PhD., SjF , Žilinská univerzita v Žiline, SK
Dr. Ing. Ladislav Sobotka, ŠKODA ELECTRIC a.s., Plzeň, CZ
prof. Dr. Dušan Stamenković, FME, University of Niš, RS
Ing. Andrej Suchánek, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
doc. Ing. Janka Šestáková, PhD., NDCon LOGIC SK, Žilina, SK
Ing. Ján Šimo, CSc., Klub ZPS vo vibroakustike, s.r.o., Žilina, CZ

Ing. Jaromír Široký, Ph.D., FS VŠB – TU Ostrava, CZ
Ing. Jiří Šlapák, DFJP Univerzita Pardubice, CZ
Ing. Michal Šnauko, Železničná spoločnosť Slovensko, a.s., Bratislava, SK
Ing. Pavol Šťastniak, PhD., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK
Ing. Jiří Štěpánek, CZ LOKO a.s., Česká Třebová, CZ
doc. Ing., Bc. Dáša Tichá, PhD., FEIT Žilinská univerzita v Žiline, SK
Ing. Josef Turek, CSc., KŽV s.r.o., Praha, CZ
Ing. Peter Tyko, Železničná spoločnosť Slovensko, a.s., Bratislava, SK
Ing. Ján Urda, PhD., ŽSR – VaVÚŽ, Žilina, SK
Ing. Jakub Vágner, Ph.D., DFJP Univerzita Pardubice, CZ
doc., Ing. Petr Voltr, Ph.D., DFJP Univerzita Pardubice, CZ
Ing. Jan Zapletal, Škoda Transportation, a.s., Plzeň, CZ
doc. Ing. Jaromír Zelenka, CSc., DF JP Univerzita Pardubice, CZ
Ing. Radim Zíma, Ph.D., BONATRANS GROUP a.s., Bohumín, CZ
prof. Ing. Peter Zvolenský, CSc., SjF Žilinská univerzita v Žiline, SK.




CANADIAN
PACIFIC

Za jazykovú úpravu textu zodpovedajú autori príspevkov

Vydal:	VTS pri Žilinskej univerzite v Žiline
Názov:	Súčasné problémy v koľajových vozidlách – PRORAIL 2023 Diel II Current problems in rail vehicles – PRORAIL 2023. Vol. II
Druh publikácie:	Zborník prednášok
Zostavovatelia:	Prof. Ing. Daniel Kalinčák, PhD., Ing. Mária Loulová, PhD.
Vydanie:	Prvé
Náklad:	220 výtlačkov
Rozsah:	404 strán
Tlač:	EDIS-vydavateľstvo UNIZA ako účelovú publikáciu vytlačilo v septembri 2023
Druh tlače:	ofset
DOI Diel II:	https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2

ISBN 978-80-89276-62-2

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA „SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.01

PROBLEMATIKA AKUMULACE ENERGIE PRO VOZIDLA

ISSUES OF ENERGY ACCUMULATION FOR VEHICLES

Jan MACEK, Josef MORKUS *)

1 ÚVOD

Při hledání možných postupů dekarbonizace energetiky i mobility - 0 - se jako možnosti jeví pro nosiče energie na vozidle akumulace elektrické energie z bezuhlíkových zdrojů (obnovitelných občasných zdrojů energie, OZE a jaderných elektráren) do akumulátorových baterií, do vodíku pro palivové články 0 i pro spalovací motory a právě pro ně také do syntetických paliv od kyslíkatých organických sloučenin (alkoholy, étery, estery atp.) až po „na míru“ syntetizované uhlovodíky o různém bodu varu i různé reaktivitě (oktanovém čísle). Tento článek se věnuje zhodnocení účinnosti zpracování energie nosiče na trakční práci, spojenému ovšem s nároky na výrobu a ztrátami při distribuci nosiče energie, ale i nároky na výrobu vozidla se systémem pro ukládání energie.

V antropogenních emisích skleníkových plynů hraje velkou roli oxid uhličitý ze spalovacích pochodů fosilních paliv (deriváty ropy, zemní plyn, uhlí), používaných v dopravě i energetice a ve zpracovatelském průmyslu. Vedle energie potřebné pro zpracovatelské procesy se uhlíkaté suroviny uplatňují – jako redukční činidlo – i v metalurgických pochodech. Kromě toho produkuje velká množství oxidu uhličitého chemický průmysl hnojiv a výbušnin, výroba a likvidace/recyklace plastů i průmysl stavebních hmot.

Zatímco se v energetice a do jisté míry i ve zpracovatelském průmyslu otevírají cesty možné náhrady nebo zachycování a zpětného využití uvolněných skleníkových plynů, hlavně oxidu uhličitého, představují zejména pozemní a létající dopravní prostředky problém nalezení nosiče energie s dostatečnou měrnou energií pro toto mobilní použití, neboť odpory proti pohybu závisejí především na hmotnosti dopravního prostředku včetně zásobníku nosiče energie. Je vhodné připomenout, že 3,6 MJ = 1 kWh, přičemž 1 kWh odpovídá téměř přesně energetickému obsahu 0,1 dm^3 motorové nafty B7 nebo 0,11 dm^3 automobilového benzinu E5. Při srovnávání hmotností zásobníků je ovšem nutno vzít v úvahu i rozdíly v účinnosti zpracování energie ze zásobníku, zejména pokud jde o paliva a baterie. Vyšší účinnost při zpracování elektrické energie, vyrobené ovšem s nízkou účinností předem, vede u osobních automobilů ke zlepšení srovnatelného množství energie v akumulátoru v poměru 1:2,5 – 1:3 pro osobní automobily, 1:2 pro nákladní automobily - 0.

Při hodnocení není možno přehlédnout ani emise skleníkových plynů působící materiálové nároky na výrobu zejména uhlíkatých nosičů energie z cirkulujícího uhlíku v atmosféře, ani emise z výroby materiálů a dílů na výrobu vozidel, ani další vedlejší účinky

*) **Prof. Ing. Jan MACEK, DrSc.,** ČVUT v Praze, FS, U 12201, Technická 4, CZ 166 07 Praha 6, +420 224 352 504, jan.macek@fs.cvut.cz, projektový manažer Centra vozidel udržitelné mobility CVUM Fakulty strojní.

Ing. Josef MORKUS, CSc., ČVUT v Praze, FS,. U 12201, +420 224 352 498, josef.morkus@fs.cvut.cz, výzkumný pracovník

nových systémů dopravy, spojené také s budováním nové energetické infrastruktury. Celostní (holistický) systém posuzování se jeví jako nezbytný – 0.

V neposlední řadě je nutno vzít v úvahu i časový průběh změn systémů výroby energie i mobility samotné, který zahrnuje více než dobu pracovně aktivního života jedné generace. Např. doba výměny 50% vozidlového parku při obdélníkovém symetrickém rozložení četnosti vozidel a při průměrném stáří 15 let by trvala při jeho nerozšířené reprodukci právě 15 let. Pokud se proces ovlivní horší užitnou hodnotou nových vozidel, jako tomu je v případě těch bateriových (cena, dojezd, pohodlí, bezpečnost atd.), doba obměny celého parku, měřená dosažením stejných přepravních výkonů, trvá pak násobně déle - 0. Ve stejném směru působí realističtější rozložení četnosti stáří vozidel. Příklad Německa ukazuje více než po 15 letech „Energiewende“ nedobré důsledky podcenění základních fyzikálních zákonitostí a malé faktické zákaznické reakce, a to přes enormní dotační podporu. Musíme přitom hodnotit faktické výsledky ve spotřebě různých druhů energií nebo v emisích z mobility, ne tedy počtem prodaných vozidel nebo instalovaného výkonu nových energetických zdrojů, což je pro úspěch procesu rozhodující.

Začneme proto definicemi základních pojmů a budeme je aplikovat na zjednodušené prediktivní modely budoucích vozidel i jejich očekávaných dopadů na energetickou infrastrukturu. Neuvážené prosazování jednoho řešení může působit velké potíže, projevující se nakonec v ekonomicko-sociální a tím i politické rovině.

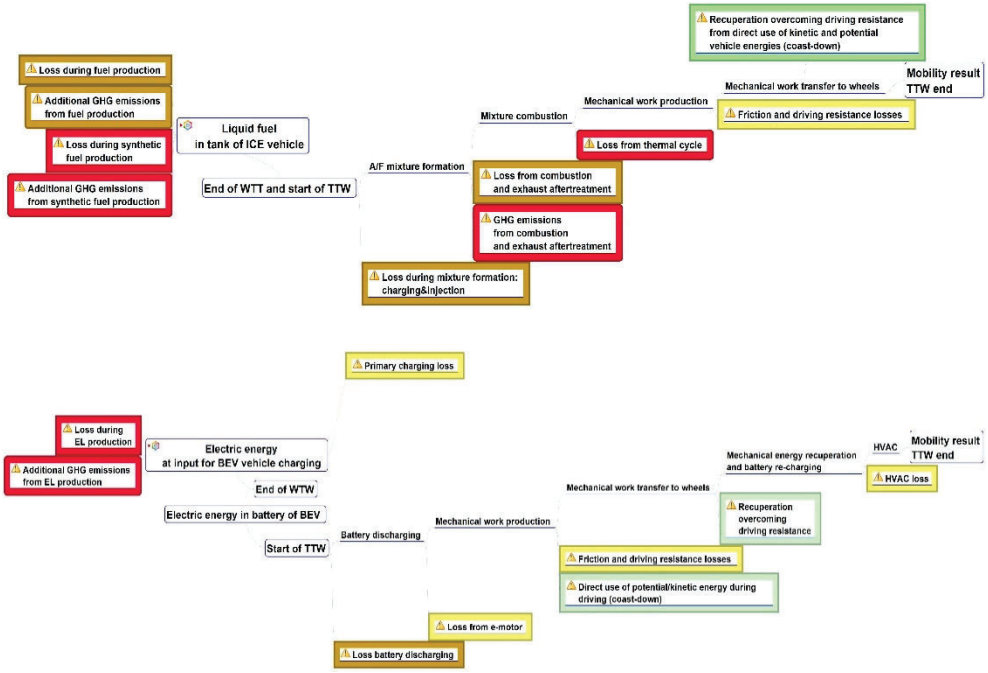
2 ZÁKLADNÍ DEFINICE

Ztráty v řetězci přeměny energie od primárního zdroje do využití přepravovaného nosiče energie je nutné pro jejich srovnatelnost normovat. Obvykle se jako vztažný parametr používá vstupní energie nosiče (palivo, elektrický náboj) v zásobníku, uvolnitelná při následných procesech, zahrnujících vždy výměny elektronů, tedy redukci a oxidaci zúčastněných látek. Např. při výrobě vodíku lze pro jednoduchost vyjít ze stejného základu a postupovat zpět k energii potřebné pro výrobu, např. na svorkách elektrolyzéru. Normující úroveň by měla být dána změnou volné entalpie mezi výchozím stavem, tedy volnou entalpií nosiče energie a oxidačního činidla, a volnou entalpií vzniklých produktů, které tvoří v případě chemických reakcí směs s příslušnou směšovací entropií, avšak pro obtíže s její jednoduchou aplikací se pro následné energetické výpočty využívá rozdíl prosté entalpie mezi palivem, oxidačním činidlem a produkty spalování. Lze použít jak spalné teplo, tak výhřevnost, neboť jde jen o smluvní referenční veličinu pro termodynamickou otevřenou soustavu. **V tomto článku používáme zásadně výhřevnost měřenou při 25 °C a korigovanou na výparné teplo vzniklé vody jako vztažný parametr pro paliva.**

Pro elektrochemické systémy s částečně vratnými změnami v akumulátorech elektrické energie je zapotřebí definovat, zda je výchozím stavem spotřebovaná elektrická energie na svorkách nabíječky, akumulátoru nebo dokonce jen energie potenciálně využitelná z náboje baterie, kterou často hlásí palubní systém sledování stavu nabití baterie (SoC) – ***obr. 1***. Na rozdíl od vstupní výhřevnosti chemického paliva, která je prakticky stejná na vstupu do nádrže výdejního stojanu paliva jako na vstupu do motoru, vznikají u baterií nezanedbatelné ztráty, závislé navíc na rychlosti nabíjení a změnách SoC během něho. Tento faktor se při posuzování bateriových vozidel ne vždy bere správně v úvahu, ač se pohybuje mezi 5 až do extrémních 50 % při rychlonabíjení již skoro nabité baterie!

Do ztrát při využití od „nádrže“ do místa spotřeby (trakční práce na kolech nebo do sítě dodávaná elektrická energie) je nutno započíst ztráty při plnění „nádrže“ („nabíjení“), ztráty i zisky rekuperace při vlastním využití v rozmezí od „nádrže“ na kola nebo zpět (Tank-to-wheel, TTW), eventuálně i přímou spotřebu akumulované energie na vyhřívání nebo klimatizaci (HVAC) prostoru vozidla. Naopak při výrobě nosiče energie je nutné započíst nejen vlastní příkon výrobního a akumulačního zařízení, ale i ztráty transportu primární energie na výrobu a ztráty při distribuci vyrobeného nosiče energie, tj. např. stlačení,

zkapalnění, doprava potrubím nebo rozvodnou elektrickou sítí včetně transformace napětí a energetické nároky i emise přídavných opatření na stabilizaci dodávky v síti (Well-to-Tank, WTT) – ***obr. 1*** a 0, 0 a 0.



Obr. 1 *Srovnání řetězce zpracování chemického paliva na vstupu do nádrže a elektrické energie na vstupu do nabíječky.*

Fig. 1 *Comparison of chains for transformation of chemical energy in a fuel and electric charge of a battery from the inlet to storage system.*

Samotný zásobník chemického nosiče energie je při plnění a odběru i v době jeho klidu prakticky bezeztrátový, na rozdíl od bateriových akumulátorů se ztrátami při nabíjení, vybíjení i během samovybíjení. Při potřebě mechanické nebo elektrické energie na úpravu nosiče energie pro skladování (např. na pohon stlačovacího kompresoru plynných paliv) je ovšem nutno vzít v úvahu i účinnost pro získání této energie.

Vedle provozní spotřeby různých nosičů energie s různou měrou emise skleníkových plynů je však nutno rozpočítat na střední životnost vozidla dle 0 nebo 0 i energetické nároky a emise při výrobě samotného úložiště energie. Kromě toho vznikají v závislosti na zvoleném typu zásobníku přídavné účinky na transformaci energie do trakční práce, která je samozřejmě ovlivněna i hmotností vozidla se zásobníkem. Typ zásobníku tedy ovlivňuje i parametry TTW - 0.

Stejně by měl realitě odpovídající údaj WTT zahrnout i energii potřebnou pro výrobu elektrárny samotné, rozpočtenou na její životnost a na její podíl v době životnosti vozidla. **Ve skutečnosti vede tato analýza dříve či později k ekonomickým parametrům, neboť se musí vzít v úvahu i spotřeba materiálů, často vzácných, a ovšem i podmínky financování výroby i investic (úrokové sazby, vliv inflace, ceny podle poptávky na trhu, dotační a fiskální politika atp.). Tyto úvahy jdou však mimo rámec předložené studie. Omezíme se na WTT+TTW=WTW a na životní cyklus samotného vozidla.**

3 VLIV ZPŮSOBU AKUMULACE NA KONSTRUKCI A PROVOZNÍ PARAMETRY VOZIDLA OD VSTUPU PRO PLNĚNÍ ZÁSOBNÍKU NA KOLA – TTW

Jaké jsou tedy současné možnosti variant ke klasickým dopravním prostředkům po jednotlivých kategoriích UN? Objektivní soupis možností musí být technologicky neutrální. Nebereme tedy v úvahu nekvalifikovaná politická rozhodnutí, typická, bohužel, pro současnou Evropu. Při jeho sestavování se dojde rychle k závěru, že některá řešení budoucích vozidel jsou kriticky závislá na investicích do infrastruktury, takže po posouzení vozidel je nutné zvážit realizovatelnost této související oblasti, tedy postupovat holisticky.

Současně je nutno analyzovat energetický a emisní dopad všech změn mobility v čase. Změny se budou realizovat desítky let, jak již bylo uvedeno, během nichž se mohou podstatně měnit i další okrajové podmínky - 0. Těmto souvislostem se budeme věnovat sice až stručně v dalších kapitolách, ale již při soupisu řešení je vhodné uvědomovat si je pro pozdější analýzu. V osobní dopravě je zřejmě možné zvážit následující potenciální řešení:

- Home-office (nerealizovaná doprava) je samozřejmě energeticky nejméně náročná, ale nemůže zajistit všechny potřebné aktivity.
- Elektrokola a elektroskútry kategorie UN L1 až L5 se stávají doplňkem nebo náhradou k malým motocyklům a skútrům.
- Elektromobily pro individuální dopravu na úrovni L6 a 7 a hlavně M1 (osobní automobily), tedy BEV, by měly soutěžit s nabíjecími hybridy PHEV i hybridy HEV s primárním zdrojem ve spalovacím motoru, používajícím různá paliva, v budoucnosti i s vodíkovými palivovými články PEMFC. Potřeba změn infrastruktury je známá, ale posouzení její náročnosti pro nerovnoměrný odběr nabíjecího výkonu se často přehlíží.
- Samotné spalovací motory ICE se přitom dále uplatní – určitě mimo Evropu a snad i na jejím území – v M1 jako hnací jednotky vedle hybridů i samostatně, s vodíkem - 0 i se syntetickými palivy (e-fuels) 0. V posledním případě není nutná změna infrastruktury a dostupná paliva lze použít prakticky v celém vozidlovém parku.
- Autobusy M2 a M3 budou řešeny se spalovacími motory na vodík, biometan nebo na syntetická paliva, v MHD mají velký potenciál dále elektrobusy nebo polozávislá trakce trolejbusů / elektrobusů (tzv. parciální trolejbusy).
- Elektrifikovaná hromadná kolejová doprava ve městech a jejich okolí i rychlostní do vzdálenosti cca 1 000 km je samozřejmostí, na vedlejších tratích budou soutěžit bateriová, palivočlánková i spalovacími motory poháněná vozidla.
- Nadějná, i když méně pohodlná a organizačně náročnější je kombinovaná přeprava založená na střídání dopravních prostředků, vyžadující ovšem plánování u zákazníka a přesné dodržování jízdních řádů u přepravce.
- Zatím ve zkušební verzi je sdílení vozidel, vyžadující pro energetickou efektivnost obsazení vozidla více cestujícími a jeho automatický návrat do místa poptávky (Mobility as a Service, Delivery as … MaaS nebo DaaS).

  V nákladní dopravě se pak nabízejí možnosti

- „Last-mile“ dodávky (N1, případně lehké verze N2) – velmi zajímavé z hlediska elektromobility vedle klasických řešení. Energeticky i organizačně je to proveditelné v městské dodávkové službě na rozdíl od fantazií s drony!
- Lokální komunální, stavební a důlní doprava je takto řešitelná i pro větší vozidla, u zemědělské dopravy není vyloučení ICE úplně jednoznačné.
- Dálková silniční doprava je na druhé straně stále doménou ICE, nepříliš vhodné je použití baterií, v budoucnu se může uplatnit i vodík v PEM FC.
- U BEV se mluví o průběžném bezkontaktním nabíjení pro dálkovou dopravu. Je to však velmi problematické cenově a údržbově (indukční smyčky těsně pod povrchem silnice!), nebezpečné (silná elektromagnetická pole) a přenos energie je

zatížen velkými ztrátami. Také elektrifikace dálnic s trolejí představuje velmi drahé řešení, navíc vyžadující speciální jízdní pruh pro kamiony. Elektrické tahače by musely mít navíc dostatečnou kapacitou baterií pro dojezd mimo dálnici.

- Kombinovaná přeprava je zajímavá i mimo dnes používané oblasti, pokud by byl systém centrálně organizovaný pro zaručený termín dodání. V úvahu je však nutno vzít přídavnou přepravovanou hmotnost kontejnerů nebo návěsů. Zatím se naráží na nedostatečnou kapacita železnic.

Pro rozhodnutí o volbě nejvhodnějších vozidel je nutno jednotlivá řešení hodnotit kvantitativně. K tomu vznikl program ČVUT-CVUM pro modelování základních vlastností vozidel – 0. Byl vyvinut pro vyhodnocení parametrů současných vozidel podle souhrnných údajů z veřejných statistik a meziročně interpolovaných podrobných údajů ze Stanic technické kontroly (STK) pro jednotlivé dílčí kategorie vozidel (např. pro osobní vozidla třídy mini-small-lower medium-medium-upper medium-SUV-luxury and sport class). Výsledky byly validovány srovnáním se spotřebou jednotlivých druhů energie (fosilních paliv, plynů i elektřiny) v různých sektorech dopravy. Souhlas je dobrý, i když z části vyžaduje doplnění o odhady. Jde o spotřeby v ČR neregistrovaných vozidel (tranzit přes území ČR) i např. o spotřeby motorové nafty v zemědělství, lesnictví a stavebnictví i v důlní činnosti. Na vyhodnocení s využitím rozsáhlé interní databáze různých pohonům včetně elektrických a palivočlánkových založené na vlastních měřeních i optimalizovaných simulacích - 0, 0, 0, navazuje pak předpověď spotřeby energie a skleníkových emisí pro příští období dle různých scénářů obnovy vozidlového parku pro osobní automobily M1 (kategorie dle UN), autobusy M2 a M3 se zmíněnými podkategoriemi, nákladní vozidla různých hmotnostních kategorií (lehká vozidla N1-I až III, těžká N2 a N3 podle celkové hmotnosti s krokem kolem 5 t), motocyklů a lehkých vozidel kategorie L i kolejových prostředků MHD a železničních.

Spojení databáze charakteristik účinností (resp. poměrných ztrát v motorech a v zásobnících energie, reprezentovaných pomocí nelineární regrese), ročních nájezdů vozidel a metodikou COPERT odhadnutých (a v případě zřejmých chyb korigovaných) spotřeb energie na ujetou dráhu lze řešením silně nelineární rovnice pro spotřebu paliva najít pro účely extrapolace na budoucí vozidla s odlišnými hnacími jednotkami energeticky charakteristickou rychlost

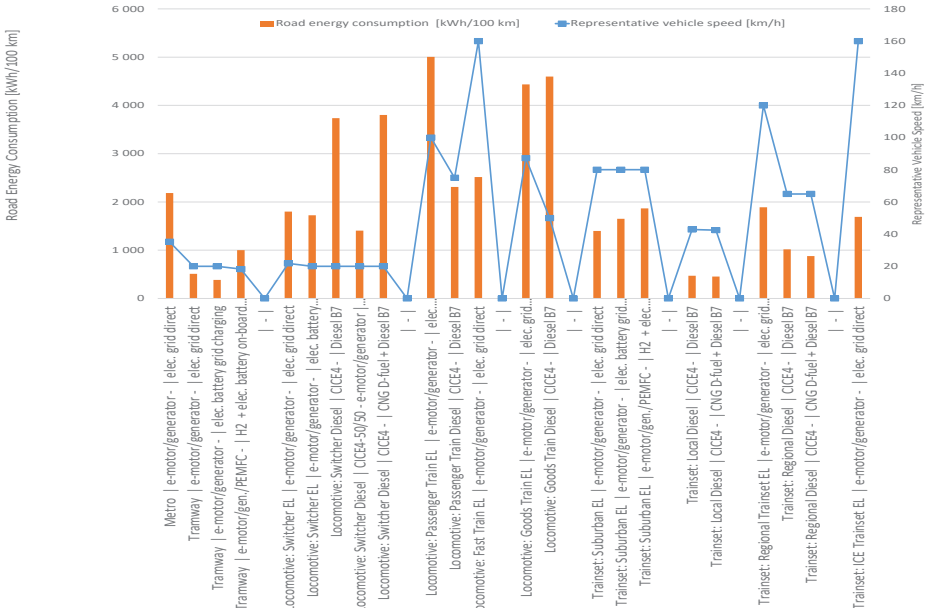
$$E_{road} = \frac{F_{av}\left(w_{av}\right)}{36\eta_{trans}}\left(1 + L\left(w_{av}\right)\right) \tag{1}$$

Trakční odporová síla závisí na hmotnosti vozidla a nákladu, přičemž se v úvahu bere i změna hmotnosti při přechodu k jinému pohonu a úložišti nosiče energie, a to podle požadovaného dojezdu. Zejména u akumulátorové baterie jde o celkovou hmotnost nejen samotných nízkonapěťových akumulátorových článků (dnes Li-ion), ale o proudové sběrnice, zařízení pro vnitřní chlazení s diagnostickými a odpojovacími prostředky a o obal článků, splňující požadavky na udržení provozní i nabíjecí teploty 5°C-55°C a na pasivní bezpečnost baterie při haváriích vozidel. Seznam označení je uveden v závěru článku.

Rekuperace mechanické energie vozidla závisí na „odporech“ setrvačnosti a stoupání a může být využita velmi účinně přímo (výběh – ***obr. 1***) nebo s účinností obvykle menší než 50% uložena v zásobníku, případně vedena s poněkud vyšší účinností do sítě. Tyto složky jízdního „odporu“ lze zjednodušeně v trakční síle F_{av} zahrnout do jednoho členu s ekvivalentním zrychlením nebo fiktivním stoupáním. Jsou rozdílné podle typu provozu vozidla (např. osobní vlak – rychlík). Bez jejich respektování by representativní rychlosti vycházely nereálně vysoké a nebylo by možné predikovat dodatečný účinek rekuperací do baterie nebo do sítě.

Je zřejmé, že nedostatky statistických údajů vedou k nutnosti iteračního výpočtu a konfrontaci zjištěných skutečností s dalšími dílčími údaji, jako jsou např. pro MHD autobusy průměrné spotřeby paliva a podle ujeté dráhy a času provozu dosahované průměrné

rychlosti podle interních údajů městských dopravních podniků. Systém je neustále vylepšován. Odhad nejistot jednotlivých dílčích kroků vedl k celkovému odhadu nejistoty predikce kolem 10% pro již hromadně používané, 15% pro nové hnací jednotky vozidel.



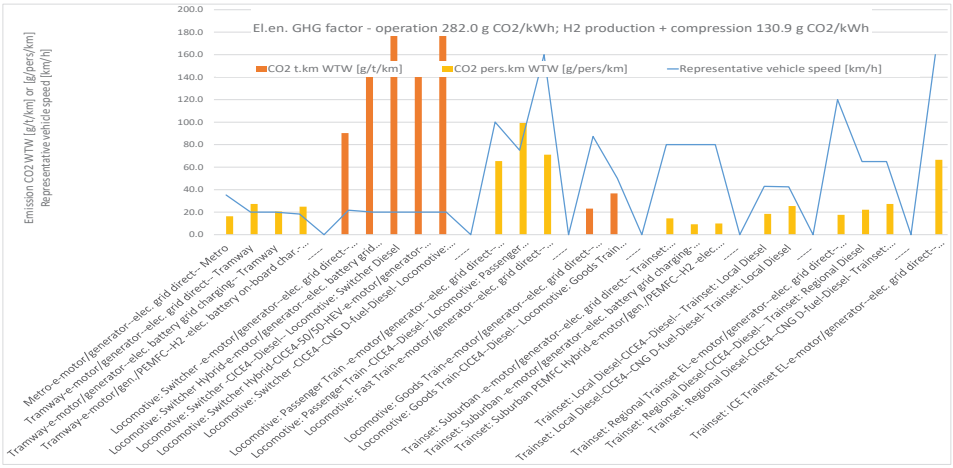
***Obr. 2** Dráhové spotřeby energie TTW v kWh/100 km a energeticky representativní rychlost pro vybraná kolejová vozidla.*

***Fig. 2** Road energy consumptions TTW in kWh/100 km and energy-averaged representative speed for the selected categories of rail vehicles*

Nejistota rozhraní WTT a TTW přístupů s ohledem na nabíjení baterie je v tomto článku řešena přiřazením ztrát v nabíječce a baterii do TTW, na rozdíl od nabíjení baterie (***Obr. 1***). Příklady porovnání energetických (***Obr.* 2**) a emisních (***Obr.* 3**) dopadů u různých nosičů energie ukazuje pro vybrané příklady kolejových vozidel pro uvedené emisní faktory výroby elektřiny. V emisním faktoru pro fosilní paliva WTW jsou již započteny náklady na těžbu a zpracování paliva. Zde jsou v programu použity údaje WTW – včetně výroby paliva – dle evropského nařízení RED II - 0)). Z nich je podle zde neuvedených výsledků u osobních automobilů – viz např. 0 nebo 0 – patrná výhodnost biopaliv, u vodíku a elektrických vozidel záleží při WTW přístupu na energetickém mixu dané země.

Při komplexním posuzování důsledků zavádění nových hnacích jednotek je nutno brát v úvahu i zdánlivě méně podstatné provozní parametry, které u nových pohonů nejsou ještě dostatečně podchyceny zkušeností z jejich hromadného nasazení a budou se projevovat i ve zdánlivě odlehlých oblastech, jako např. v pojistném. Jde o zajištění provozní bezpečnosti pasivní i integrované (požární bezpečnost baterií a jejich on-board diagnostika), životnosti (způsob nabíjení baterií, vliv hmotnosti vozidla na jeho součásti, vliv čistoty paliva a vzduchu na chemicky aktivní části FC) i spolehlivosti.

Poznamenejme s ohledem na rozsah příspěvku pouze, že u tramvají se síťovým napájením nebyla uvažována rekuperace do sítě, která však zlepšila u bateriových hybridních tramvajových vozidel v městském provozu a nízkých jízdních odporech měrné emise o cca 30 %.



Obr. 3 *Měrné emise skleníkových plynů WTW na přepravní výkon v g/os/km nebo g/t/km pro kolejová vozidla dle obr. 2.*

Fig. 3 *Specific greenhouse-gas emissions WTW, normalized by transport outputs in g/pers/km or g/t/km, for rail vehicles according to fig. 2.*

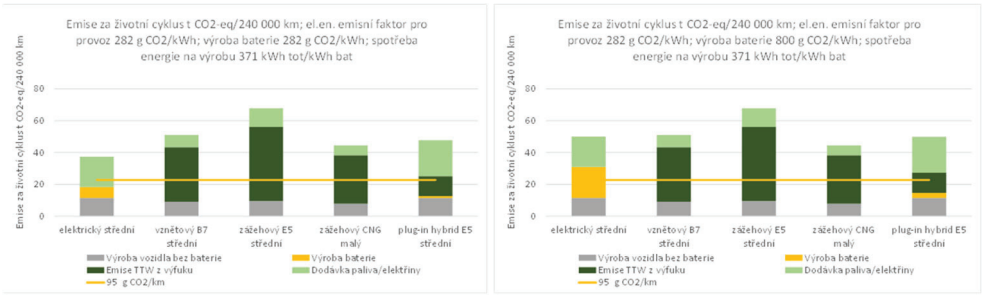
4 VÝROBA PALIVA A PARAMETRY WTT

Předpokládá-li se občasný či obnovitelný zdroj elektrické energie (OZE) na vstupu s předpokladem, že u energie „zdarma“ není třeba brát v úvahu účinnost zpracování primárního zdroje, vycházejí z takového srovnání s fosilními nebo jadernými zdroji neobjektivní čísla. Obvykle se takto postupuje u větru a slunečního záření, ač u vodních elektráren se (poměrně vysoká) účinnost vždy vyhodnocuje. Pokud se do výpočtu zahrne jednostranně poměrně nízká účinnost tepelných elektráren, ať uhelných (účinnosti mezi 35-45 % z výhřevnosti uhlí nebo topného oleje), jaderných (kolem 30% na vstupní tepelný tok z reaktoru) nebo paroplynových (50-60% pokud pracuje jak spalovací, tak parní turbina, ale jen kolem 35% v přechodových stavech typických pro počátek náběhu v záložním režimu), je zřejmé, že takové srovnání není účelné. Účinnosti FVE a VTE vztažené na zpracovávaný příkon jsou malé. Ve skutečnosti by mělo porovnání vycházet z pořizovacích, odpisových a provozních nákladů, čemuž se provozovatelé dotovaných OZE raději vyhýbají i z důvodu malého časového využití plného instalovaného výkonu, jak uvedeno dále.

Jako příklad výpočtu emisí WTW při optimistickém očekávaném emisním faktoru výroby elektřiny v Evropě kolem r. 2030 jsou uvedeny na ***obr. 3*** měrné emise vybraných kolejových vozidel s různými pohony. Je zřejmé, že velmi hromadné módy dopravy (např. metro) jsou velmi výhodné, zatímco motorové vlaky na regionálních tratích dobře nevycházejí. Ani PEMFC není zvlášť výhodný ve srovnání s hybridním bateriově trolejovým vozidlem u předměstské dopravy. I když v obrázku není výsledek pro regionální dopravu, budou vzájemně porovnávané hodnoty podobné.

Zde je však nutno přidat do analýzy také nároky na výrobu příslušného zdroje primární energie, která do značné míry ukáže, jaká je reálná situace s ohledem na investiční náklady (Life Cycle Analysis, LCA), veliké zejména u zpracování málo intenzivních a časově proměnlivých energetických toků u větru a slunečního záření. Faktor ročního časového využití fotovoltaiky v ČR je kolem 12 % (tedy instalovat je nutno zhruba osminásobný špičkový výkon panelů), u větru asi 20 %. Samozřejmě je nutné posuzovat nakonec náklady, ty se však v důsledku proměnlivé inflace, úrokových sazeb a v neposlední řadě v důsledku veřejných dotací nedají snadno porovnávat mezi různými zeměmi a obdobími.

Pokud použijeme jen jakkoli vyrobenou elektrickou energii jako vstup do systému výroby a distribuce paliva, je pak možné srovnávat nosiče energie, vyrobené s její pomocí, a to s celými distribučními náklady až po naplněný zásobník. Spotřeba WTT se vstupem této elektrické energie až po získání trakční práce na kolech je samozřejmě nejlepší u přímého využití a akumulace elektřiny (nutno správně započíst ztráty při nabíjení, které leží mezi WTT a TTW), horší u vodíku a zejména veliká u syntetických uhlovodíků (zhruba v poměru účinností využití primární elektrické energie od baterií po syntetická paliva 70 %:30 %:1 5% - 0).



Obr. 4 *Emise skleníkových plynů za životnost vozidel s očekávaným evropským emisním faktorem elektřiny v r. 2030 (vlevo) a s výrobou baterie v Číně (vpravo).*

Fig. 4 *Green-house gas emissions for the life cycle of vehicles, produced in Europe during 2030 (left) and the same with batteries from China (right).*

U bateriových vozidel je však velmi náročné budování infrastruktury, od navýšení potřebné výroby v elektrárnách, které ovšem vyžadují všechny na elektřině závislé nosiče energie, až po nabíjecí stanice. Vcelku jednoduchý výpočet ukazuje, že pro rovnoměrně v čase rozložené nabíjení by bylo pro všechna dosud neelektrická osobní a dodávková vozidla v ČR zapotřebí 2.5 – 3 GW instalovaného stálého výkonu (1.25-1.5krát více než výkon jaderné elektrárny Temelín). Při nerovnoměrném rozložení nabíjení během dne, týdne a ročního období, zejména při případném využití baterií vozidel po zapojení na nabíječku jakožto dočasného stabilizátoru sítě, se však špičkově využitý čas nabíjení pro trakci proti celoročně průměrovaným hodnotám zkracuje na polovinu i méně (výhradně noční nabíjení poskytuje samo o sobě jen asi třetinový čas). Pak potřebný okamžitý výkon stoupá na dvojnásobek až trojnásobek.

Vodík a syntetická paliva se dají vyrábět v místě výroby elektřiny z OZE nebo jaderné energie, tedy beze ztrát v síti a ztrát při nabíjení baterií a hlavně bez neschůdných nákladů na pořízení velkých stacionárních baterií. I při nerealisticky optimistickém odhadu ceny 100 $/kWh kapacity baterie by např. baterie pro zálohování pouhé hodinové průměrné spotřeby v síti ČR stála kolem 700 000 000 $, ve skutečnosti několikanásobek. Syntetická paliva naproti tomu nepotřebují žádnou novou infrastrukturu a jsou použitelná pro všechna existující vozidla ve vozidlovém parku, což činí jejich použití při dekarbonizaci dopravy velmi zajímavým. Ani účinnost akumulace vyráběné elektrické energie ve vodíku totiž není vysoká, závisí na účinnosti elektrolýzy a nutno do ní zahrnout energetické nároky ukládání vodíku. K tomu přistupují náklady na novou infrastrukturu. Zde by byly nároky na přídavnou elektrickou energii ještě větší než u baterií. Pro náhradu motorové nafty v ČR vodíkovými pohony vozidel by byla zapotřebí roční výroba elektrické energie vyšší, než je současná spotřeba české sítě.

Z uvedených důvodů není možno na současném stupni poznání zavrhnout ani syntetická paliva, účinnostně vůči vstupní elektřině sice nejhorší, ale infrastrukturně naprosto nenáročná. Navíc se dají nasadit okamžitě, do všech existujících vozidel, a vyrábět v místech příznivých pro OZE – na rozdíl od Evropy.

5 OBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ POMOCÍ ANALÝZY ŽIVOTNÍHO CYKLU

Zatímco u standardních řešení s klasickými nosiči energie, případně u vozidel na stlačené plyny, jsou celkové externality výroby vozidel známé, je zapotřebí zevrubně posuzovat řešení nová. Vcelku energeticky i emisně málo náročná výroba palivového článku samotného nepřináší přídavné problémy (pokud nemluvíme o ceně, vycházející z nutnosti použít drahou platinu v množství řádově vyšším než je běžné u katalyzátorů na výfukové plyny), jsou hybridní a bateriová vozidla zatížena výrobou materiálově náročné baterie. Hybridy s její malou velikostí nepředstavují velké navýšení vedlejších účinků, ale čistě bateriová vozidla s požadovaným větším dojezdem již analýzu vyžadují. Jak bylo již výše uvedeno, je nutno brát v úvahu celou baterii, nejen samotné články.

Velmi podrobně zdůvodněný rozbor publikovala nedávno nevládní organizace GreenNCAP - 0, a to na základě literárních pramenů i vlastních měření jednotlivých vozidel. Autoři tohoto příspěvku proto měli možnost srovnat tyto výsledky s vlastními výpočty – 0 a 0. Souhlas se ukázal přitom jako vyhovující. Navíc tato metodika umožňuje oddělit od sebe vliv emisních faktorů na výrobu a provoz vozidla a výrobu baterie samotné, která se ve většině případů provádí s ohledem na environmentálně tolerantní předpisy i nízké ceny v Číně. Důsledky tohoto přístupu ukazuje ***obr. 4***. Ani za 7 let nebude celkový přínos BEV s čínskými bateriemi lepší než u srovnatelného vozidla střední třídy na fosilní motorovou naftu. Za současného emisního faktoru, vztaženého na spotřebu v síti (pro Evropu průměrně asi 340g CO_2/kWh el) je samozřejmě automobil na fosilní palivo (zejména na motorovou naftu) daleko méně škodlivý klimatu než BEV.

U kolejových vozidel není na závadu hmotnost baterií, ale jejich cena a emise skleníkových plynů při jejich výrobě.

6 ČASOVÉ ROZLOŽENÍ PŘECHODU NA NOVÉ ZPŮSOBY MOBILITY

Během výměny vozidel za Evropu prosazovaná BEV se budou zlepšovat emisní faktory výroby elektrické energie jak v ČR, tak v celé EU. Simulace výměny vozového parku EU s cílovým stavem asi 280 000 000 ks BEV do r. 2070 ukazuje následující výsledky. Při posunutí zákazu prodeje nových vozidel se spalovacími motory z momentálně v Evropském parlamentu schváleného roku 2035 na rok 2045 by se v EU každoročně v letech 2045 až 2063 vyrobilo za předpokladu přirozené výměny vozidel o 34 miliony vozidel se spalovacími motory za každý rok navíc, ale stejné množství BEV by se nevyrobilo - 0.

Provedeme-li podrobnější výpočet po létech s různými předpokládanými scénáři náhrady existujících vozidel, zjistíme překvapující fakta. Předpokládáme-li, že po roce 2035 bude emisní faktor z výroby elektrické energie v EU cca 100 g CO2eq/kWh – dnes je kolem 340 g CO2eq/kWh, pak při výrobě všech vozidel v zemích EU by se přesunutím termínu zákazu z roku 2035 na rok 2045 v kritických přechodových rocích 2045 až 2063 snížily emise v EU a ve světě o 17,2 milionů t CO2eq/rok. Pokud by však výroba všech vozidel probíhala v Číně s předpokládaným emisním faktorem 564 g CO2eq/kWh, snížily by se světové roční emise přesunutím termínu zákazu z roku 2035 na rok 2045 v kritických přechodových rocích 2045 až 2063 dokonce o 224,6 milionu t CO2eq/rok. Je zřejmé, že pro hodnocení skutečných dopadů je zapotřebí zvažovat také tyto scénáře přechodu v čase, nikoli jen mechanicky sčítat čísla. Obdobně je žádoucí postupovat u kolejové dopravy.

7 ZÁVĚR

Podrobné analýzy přínosu emisí BEV pro nejbližších 30-40 let neukazují jejich velké výhody při úplné náhradě všech vozidel kategorií M1 a N1, jak nyní zamýšlí EU. V oblasti kolejových vozidel nejsou jejich technické nevýhody rozhodující, avšak přínos pro snížení emisí skleníkových plynů je zanedbatelný. Nutno poznamenat, že další rozvinuté ekonomiky, jako USA a Japonsko, jsou v tomto směru daleko opatrnější a na rozdíl od WTW

metodiky posouzení emisí používají LCA a z ní plynoucí závěry. Kromě toho je praktický dopad omezení emisí v Evropě na svět nevýznamný s ohledem na její klesající podíl (asi 8% z celkových emisí). Přitom je však zřejmé, že elektrifikace některých sektorů dopravy je velmi přínosná, pokud se využijí zřejmé silné stránky elektromobilů, vynikající při přepravě osob i nákladů na malé vzdálenosti, tedy v hustě zalidněných oblastech.

Podrobné energetické a emisní bilance, založené na extrapolaci současných charakteristických parametrů, umožňují hodnotit výhody i problémy nových řešení. Zlepšené emise skleníkových plynů a spotřeby energie TTW ještě neznamenají výhodu, i když v EU existují stále snahy tuto stránku hodnocení přeceňovat. Jedinou, byť složitou cestou je posouzení celého životního cyklu vozidel spolu s udržitelností potřebné infrastruktury a rozbor tím vzniklých závislostí, které vyvolává momentální cílené vytlačování „špinavého“ průmyslu za hranice EU spolu s iluzí o volném nákupu strategických materiálů ze zemí, které se stávají fakticky konkurenty zdrojů zatímního ekonomického úspěchu EU.

Výhodou použití chemického nosiče energie pro vozidla (e-paliva nebo vodík) může být akumulace elektrické energie z občasných zdrojů. Vodík představuje levnější alternativu ve srovnání s akumulátorovými bateriemi, a to zejména pro případy zvládnutých spalovacích procesů v hořácích nebo spalovacích motorech. Čerpání vodíku do vozidel umožňuje rychlé obnovení zásoby energie v protikladu proti bateriím, které i po (dosud teoreticky) možném navýšení nabíjecího výkonu budou představovat těžko zvládnutelné výkonové špičky pro lokální síť. Naproti tomu jsou účinnostně nejméně výhodná syntetická paliva naprosto nenáročná na budování infrastruktury a umožňují okamžité nasazení do existujících vozidel i snadný transport energie z jižněji položených zemí, kde je podstatně větší využitelnost fotovoltaiky.

Nutnost technologické neutrality nařízení a směrnic, umožňující racionální využití elektromobility je bohužel často respektována spíše slovy. Z hlediska zákazníka rozhoduje o užitné hodnotě svoboda dojezdu, pohotovost k jízdě, bezpečnost i komfort obsluhy a samozřejmě cena. Z hlediska daňového poplatníka, přispívajícího na dotační a fiskální opatření, jde o viditelnost výsledků těchto dodatečných nákladů. Investoři se rozhodují podle doby návratnosti, kterou samozřejmě masivní dotace zvýhodňují při zanedbatelném riziku v případě neúspěchu, což však přináší reálné nebezpečí lobbingu ve prospěch takových řešení. Necitlivé zavádění elektromobility za každou cenu omezí konkurenceschopnost (nejen) evropské ekonomiky a může vést k vážným sociálním otřesům.

Posouzení dopadů z různých hledisek by mělo tedy předcházet jednostranným rozhodnutím. Tento příspěvek načrtl pouze část holistického přístupu, nemohl se zabývat např. zhodnocením problematických občasných zdrojů energie, jejichž role se často přeceňuje na základě průměrných hodnot roční výroby energie, aniž se bere v úvahu nutnost jejich adekvátního zálohování pro zimní období. Zálohy se často podporují státními investicemi pro síťové služby, neboť jejich zajištění je pro investory málo efektivní.

Na překážku postupnému zavádění environmentálně příznivých nosičů energie je fundamentalistický přístup současné politické representace EU, prosazující extrémní „total zero“ řešení, navíc založená na rozhodnutích politiků, orientujících se přednostně podle průzkumů veřejného mínění a možná i ovlivněná lobováním potenciálních příjemců dotací.

Cestou k nápravě je technologická neutralita politických rozhodnutí, hledání nejvýhodnějšího kompromisu a podpora méně vyvinutých řešení nanejvýš na úrovni výzkumu a porovnávání výsledků pilotních projektů. Sliby sice nikoho nezarmoutíš, ale nesprávná rozhodnutí mohou mít nenapravitelné ekonomicko-sociální dopady, které by po prozření veřejnosti mohly ohrozit i podstatu současného demokratického systému.

Paralelní vývoj různých cest směřujících k obnovitelnosti, umožňující evoluci a srovnání všech dopadů, je nanejvýš namístě. Ideologizovaný přístup „jednoho jedině správného řešení“ je při současných neznalostech všech dopadů velmi riskantní a technicky nesmyslný.

Zkratky a symboly

B7 standardní motorová nafta se 7% metylesteru mastných kyselin
B100 bionafta (100% metylesterů mastných kyselin)
BEV bateriové elektrické vozidlo
CBG stlačený biometan
CNG stlačený zemní plyn
E_{road} spotřeba energie v kWh/100 km
E5 standardní benzin s 5% bioetanolu
E85 bioetanol s 15% benzinových uhlovodíků
F_{av} síla jízdního odporu pro representativní rychlost v N
FVE fotovoltaická elektrárna
HD střední nebo těžké nákladní vozidlo (N2 nebo N3)
HEV hybridní vozidlo
ICE spalovací motor
L poměrná ztráta v motoru vztažená na užitečný výkon [1]
LCA analýza životního cyklu výrobku
LD lehké nákladní vozidlo (N1)
OZE obnovitelný (občasný) zdroj energie
PC osobní automobil
PEMFC vodíkový nízkoteplotní palivový článek
PHEV dobíjecí hybridní vozidlo (BEV+ICE)
RHEV hybridní vozidlo s prodlužovačem dojezdu (BEV+téměř nepoužívaný ICE)
TTW spotřeba energie nebo emise vztažené na procesy mezi zásobníkem energie a koly vozidla
UN Organizace spojených národů
VTE větrná elektrárna
WTT spotřeba energie nebo emise vztažené na procesy mezi zdrojem primární energie a zdrojem pro zásobník energie
WTW spotřeba energie nebo emise vztažené na procesy mezi primárním zdrojem energie a koly vozidla
w_{av} energeticky representativní rychlost vozidla v km/h
η_{trans} účinnost převodů

Poděkování

Příspěvek by nevznikl bez podpory projektových prostředků z TA ČR projektů MOSUMO TK 0401 0099 a BOVENAC TN0200 0054, za což autoři děkují. Autoři dále děkují za významnou spolupráci Prof. Ing. Milanu Apetaurovi, DrSc., Doc. Ing. Josefu Kolářovi, CSc. a Prof. Ing. Milanu Pospíšilovi, CSc. (VŠCHT).

Literatura

[1] Green Deal for Europe, COM(2019) 640 final, EC 2021. **[2]** „Fit for 55“, CELEX 52021DC0550 EN TXT, 2021. **[3] Doleček V., Macek J.:** Simulation Modelling of Hydrogen Fuel Cell. In: LIII. International scientific conference, STU Bratislava, FSj, ISBN 978-80-227-5215-2, pp. **[4] Macek, J., Morkus, J., Kolář, J.** Model Of Surface Vehicle Fleet Energy Consumption Suitable For Climate-Energy Policy Assessment. L. Conference Of Internal Combustion Engines, Mendel University In Brno, 2019. pp. 110-123. **[5] Vávra, J. - Bortel, I. - Takáts, M.** A Dual Fuel Hydrogen - Diesel Compression Ignition Engine and its Potential Application in Road Transport. In WCX SAE World Congress Experience. Warrendale, PA: SAE International, 2019. p. 1-14. ISSN 0148-7191. **[6]** ReFuel 2021, Int. Workshop on Application of Carbon Neutral Fuels. IASTEC/KSAE, Karlsruhe Inst. of Technnology 2021 https://iastec.org/. **[7] Macek J.:** Simple Comparison of Solutions for GHG Reduction in Transport. Global Gamma Conference 2021, GammaTechnologies Westmont IL, p. 1-32. **[8]**

Macek J.: Vodík v energetice a dopravě. Stavebnictví 03/2023, p. 50-55, ISSN 1802-2030. **[9]** Life Cycle Assessment (LCA): How Sustainable is Your Car (greenncap.com). The Consortium Members Archive - Green NCAP: New Car Assessment Program, 2022. **[10] Morkus J., Macek J.**: HOW ECOLOGICAL IS YOUR ELECTRIC CAR? In: LIII. International scientific conference of the Czech and Slovak universities research dealing with R&D of ICE, 7. – 9.9. 2022, STU Bratislava, FSj, ISBN 978-80-227-5215-2, pp. 15-22. **[11]** SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/2001 podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů, CELEX_32018L2001_CS_TXT. **[12] Apetaur M., Macek J.**: Co by znamenalo posunutí zákazu prodeje automobilů se spalovacími motory z roku 2035 na rok 2045? Otevřený dopis poslancům EP a ministrům Vlády ČR, Praha 2023.

Resumé

Přehled použitelných způsobů akumulace energie pro mobilní účely a jejich dopad na konstrukci vozidla i jeho dráhovou spotřebu. Hodnocení těchto způsobů pro pohon vozidel silničních i kolejových. Přístupy TTW, WTW a analýza životního cyklu pro chemické i elektrochemické způsoby akumulace energie. Nutnost holistického přístupu včetně ztrát při ukládání a využívání. Důležitost hodnocení nejen v cílovém stavu, ale i během časově náročného zavádění nových vozidel. Modely vyvinuté na ČVUT a návaznost na další dostupné programové vybavení.

Summary

Overview of usable ways of energy storage for mobile purposes and their impact on vehicle design and energy consumption. Evaluation of these methods for propulsion of road and rail vehicles. TTW, WTW and life cycle analysis for chemical and electrochemical methods of energy accumulation. The need for a holistic approach including the efficiency of primary energy, including losses during storage and use. The importance of evaluation not only in the target state, but also during the time-consuming introduction of new vehicles. Models developed at CTU and links to other available software.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.02

HLUK V NÁKLADNEJ KOĽAJOVEJ DOPRAVE - RIEŠENIE V NEDOHĽADNE

NOISE IN FREIGHT RAILWAY TRANSPOR – THERE IS NO SOLUTION IN SIGHT

Ladislav MAČÁK, Marián MORAVČÍK[*)]

1 ÚVOD

Hluk v nákladnej koľajovej doprave – jeden z negatívnych prejavov inak veľmi žiadaného spôsobu prepravy. Téma ktorá sa rozoberá na rôznych fórach a úrovniach, vyhotovujú sa mapy najviac zasiahnutých oblastí, vyčísluje sa množstvo zasiahnutej populácie, prehodnocujú sa spôsoby merania a hodnotenia techniky, posudzuje sa medicínsky vplyv na kvalitu života zasiahnutého obyvateľstva, vyčleňujú sa tiché úseky tratí len pre tzv. „tiché vlakové súpravy“, prehodnocujú sa dovolené limity a plánuje sa čas ich zavedenia. Hluk je téma, o ktorej je napísaných už veľa textov, ale existujú akceptovateľné riešenia, ktoré by požiadavky verejnosti ale aj prevádzkovateľov naplnili? Trend na nadchádzajúce roky je jasný, snaha o zvýšenie objemu prepráv po železnici ovplyvní ďalšie masy obyvateľov kontinentu, čo bude mať za následok vyšší tlak na autority a zavedenie prísnejších hlukových limitov bude opäť na spadnutie.

Ako výrobca nákladnej koľajovej techniky túto tému berieme veľmi vážne, poznáme stav techniky, požiadavky našich zákazníkov na nové vozne, veľkosti flotíl vagónov na trhu a ich aktuálny stav. Na základe týchto znalostí vieme povedať že jednoduché riešenie, ktoré by naši zákazníci bez ústupkov a navýšenia cien za nové vozne akceptovali nateraz nevidíme. Riešenie akým bolo nasadenie kompozitných klátikov zatiaľ nemáme.

Napriek tomu ako jeden z najväčších výrobcov nákladnej koľajovej techniky v Európe si v Tatravagónke Poprad uvedomujeme náš podiel zodpovednosti, snažíme sa problematike porozumieť a spolu s našimi partnermi prinášať na trh inovatívne riešenia.

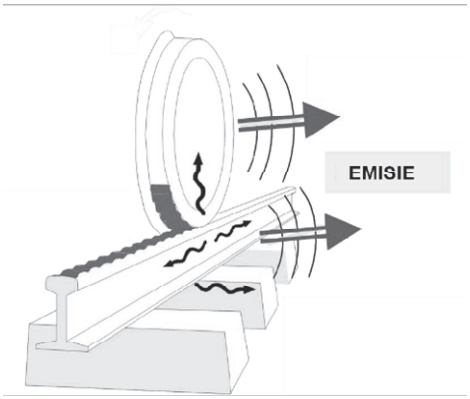
Našim článkom by sme radi odbornej verejnosti prezentovali naše zistenia, ktoré sa nám v spolupráci s našimi partnermi za posledné obdobie podarilo dosiahnuť.

[*)] **Ing. Ladislav MAČÁK,** Tatravagónka a.s. Poprad, Štefánikova 887/53, 058 01 Poprad, Slovensko, Tel.: +421 52 711 22 10, email: ladislav.macak@tatravagonka.sk, Manažér odd. Technických výpočtov a skúšok vozidiel.

Ing. Marián MORAVČÍK, Ph.D., Tatravagónka a.s. Poprad, Štefánikova 887/53, 058 01 Poprad, Slovensko, Tel.: +421 52 711 28 21, e-mail: marian.moravcik@tatravagonka.sk, Hlavný konštruktér a.s.

2 HLUK NÁKLADNÉHO KOĽAJOVÉHO VOZIDLA

Vo všeobecnosti je známe, že dominantným zdrojom hluku koľajového vozidla je hluk vyžiarený z interakcie odvaľovaného nerovného kolesa po nerovnej koľajnici v kontakte koleso-koľajnica (***obr. 1***). Trochu podrobnejšie, jedná sa o frekvenčné vyžarovanie hluku emitovaného vibrujúcim komponentom v našom prípade je zdrojom budenia vzájomný kontakt koleso-koľajnica a toto budenie sa následne distribuuje ďalej do konštrukcie vozňa. Vybudená konštrukcie každého komponentu kmitá v inom frekvenčnom pásme a emitovaný výsledný hluk mechanickej sústavy je suma maximálnych kmitaní jednotlivých komponentov.



Obr. 1 *Mechanizmus emisií z valivého pohybu kolesa po koľajnici*

Fig. 1 *Mechanism of emissions emitted by rolling movement of wheel on rail*

V snahe znižovať vyžarovaný hluk koľajového vozidla je nutné poznať príspevok jednotlivých komponentov celej sústavy. Keďže hluk sa nesčítava klasickým súčtom ale logaritmicky podľa vzorca:

$$L = 10xlog\sum 10^{0.1L_i}. \qquad (1)$$

Toto poznanie je veľmi dôležité kvôli identifikácii možného príspevku navrhnutých opatrení. Podľa uvedeného príkladu viď ***TAB. 1*** je rozhodujúce poznať jednotlivé príspevky. V príklade je aplikované protihlukové opatrenie na úrovni nádrže cisternového vozňa, ktoré mohlo priniesť zníženie emitovaného hluku na úrovni 3 dB(A). Kvôli príspevkom ostatných komponentov sústavy toto protihlukové opatrenie nebude počas meraní zaznamenané, prípadne bude zaznamenané na úrovni chyby merania, keďže dominantné zložky hluku celej sústavy tento príspevok prekryjú.

TAB 1. *Príklad ovplyvnenia celkového výsledku hlukového merania opatrením*

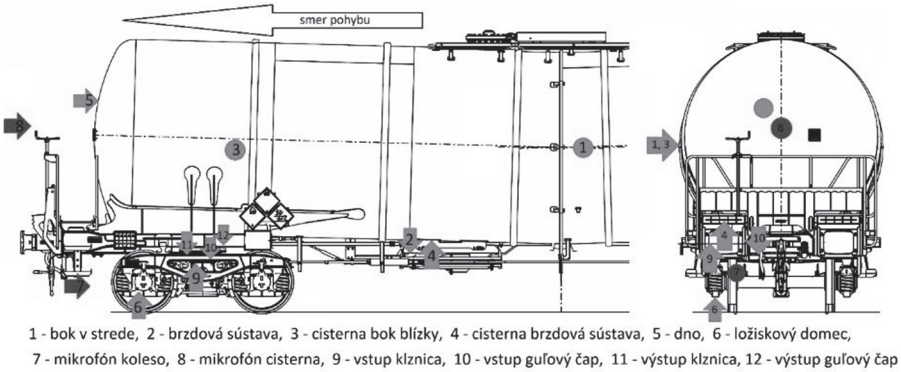
TABLE 1. *Example of affecting the overall result of noise measurement by the measure*

Zdroj:	Koleso	Kolaj	Rám podvozku	Kostra vozňa	Nádrž	Koleso	Kolaj	Rám podvozku	Kostra vozňa	Nádrž
Hladiny hluku / hladina akustického tlaku dB(A)	80,0	79,0	60,0	65,0	76,0	80,0	79,0	60,0	65,0	73,0
Výsledná hladina akustického tlaku dB(A)	**83,49**					**83,09**				

2.1 Zložky hluku koľajového vozidla

V priebehu rokov 2019 až 2021 sme v spolupráci so Slovenskou Technickou Univerzitou v Bratislave a tímom združeného okolo prof. Žiarana [1] realizovali sériu meraní s cieľom identifikovať príspevok jednotlivých častí koľajového vozidla na celkovom emitovanom hluku. Merania prebiehali v priestoroch Tatravagónky Poprad a na skúšobnom okruhu VUZ Velim. Merania boli realizované na nádržkovom vozni Zacns o objeme 93m^3 z našej produkcie. Počas meraní bol vozeň vystrojený akcelerometrami rozmiestnenými na všetkých relevantných častiach vozňa. V priestoroch Tatravgónky Poprad prebiehali stacionárne merania v pokoji, kedy boli jednotlivé časti vozňa budené rázovým kladivkom a budenie rázom pri prejazde presuvňou. Cieľom bolo identifikovať akustické parametre jednotlivých častí vozňa. Následne bol vozeň prepravený do skúšobne VUZ na skúšobný okruh do Velimi, kde prebiehali merania počas jazdy na veľkom skúšobnom okruhu.

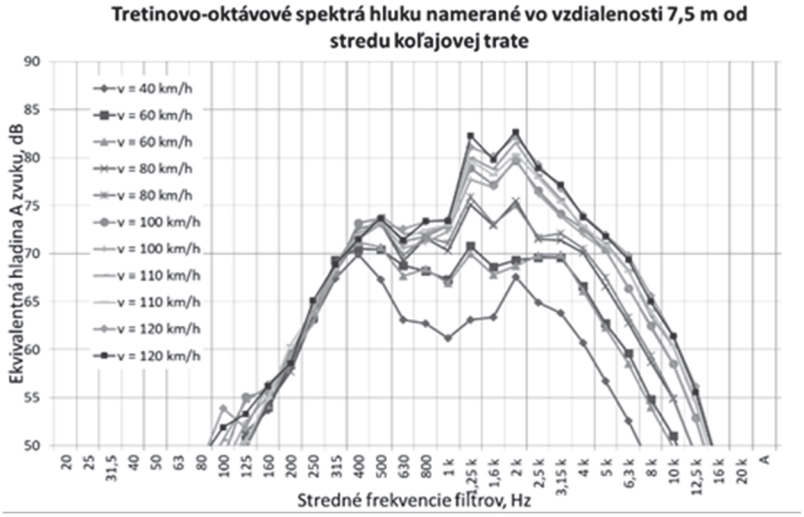
Na ***obr. 2*** je zobrazené rozmiestnenie jednotlivých akcelerometrov a dodatočných mikrofónov počas meraní za jazdy.



Obr. 2 *Poloha akcelerometrov a mikrofónov pri meraní kmitania a hluku cisternového vozňa za pohybu (kinematické budenie).*

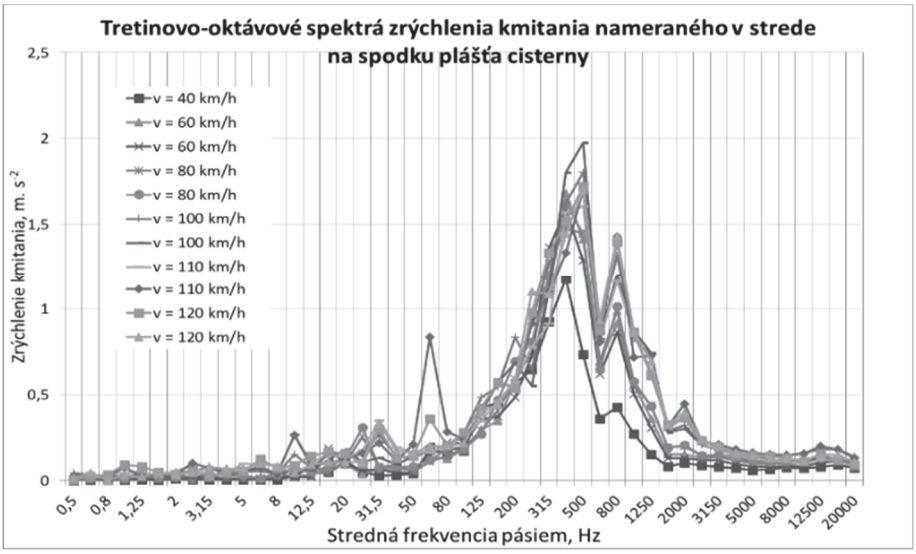
Fig. 2 *Map of the installed accelerometers and microphones during oscillation and noise measurement of moving tank wagon (kinematic excitation)*

Počas meraní pri jazde boli zaznamenané rýchlosti ktoré vyžaduje norma 80 a 120 km/hod [2] ale aj doplnkové merania pre rýchlosti 40,60,100 a 110 km/hod viď. ***obr. 3***. Počas týchto meraní si môžeme všimnúť narastajúci hluk pri frekvenciách od 1kHz, ktorý je podmienený narastajúcou rýchlosťou. Na ***obr. 4*** je zobrazené spektrum zrýchlení kmitania zaznamená na spodnej časti stredového lubu plášťa nádržkového vozňa počas týchto meraní.



Obr. 3 *Tretinovo-oktávové spektrá hluku namerané vo vzdialenosti 7,5 m od stredu koľajovej trate pri prejazdoch prototypu cisternového vozňa rýchlosťami 40 km/h až 120 km/h*

Fig. 3 *Third-octave spectra of noise measured in the distance of 7.5 m from the centre of the railroad track during passing of tank wagon prototype in the speed of 40 km/h to 120 km/h*



Obr. 4 *Spektrá zrýchlenia kmitania namerané v spodnej časti stredového lubu plášťa nádržkového pri prejazdoch rýchlosťou 40 km/h až 120 km/h*

Fig. 4 *Spectra of oscillation acceleration measured in the bottom part of the central ring of the tank wagon shell during passing in the speed of 40 km/h to 120 km/h*

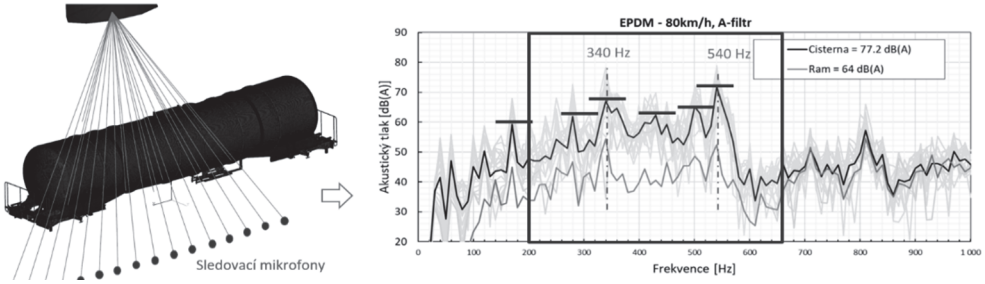
Obr. 3 a ***obr. 4*** dokážu zjednodušene ilustrovať získané znalosti. Odmerané frekvenčné spektrá je možné rozdeliť na dve typické oblasti, a to na oblasť približne od 400 Hz do 1000Hz, kde sa hladiny akustického tlaku pri zmene rýchlosti vozňa iba minimálne menia a na frekvenčnú oblasť od 1,25 kHz do 3,15 kHz, kde hladiny akustického tlaku s narastajúcou rýchlosťou výrazne rastú a z pohľadu hluku dominujú.

Merania potvrdili, že nádrž ako aj celá kostra vozňa vykazuje mechanické kmitanie vo frekvenčnom pásme do 1,25 kHz a pri zvyšujúcej rýchlosti jej ovplyvnenie celkového emitovaného hluku minimálne.

2.2 Simulačné výpočty

Úlohou realizovaných meraní [1] bolo aj zabezpečenie dostatočného množstva dát na prípravu výpočtového modelu ktorého prípravu mala na starosti spoločnosť ESI s tímom ľudí okolo inžiniera R. Fiedlera. Vstupom do výpočtov boli útlmové funkcie jednotlivých častí nádržkového vozňa a budenie konštrukcie zaznamená počas jazdy na skúšobnom okruhu a na verejnej trati. Úlohou bolo pomocou nadobudnutých dát budenia zostaviť výpočtový model v programe VA One spoločnosti ESI, ktorý bude zodpovedať reálnemu chovaniu vozňa zaznamenanému počas vykonaných meraní. Pomocou zostaveného modelu by bolo možné presnejšie popísať jednotlivé príspevky komponentov vozňa a podvozku na celkovom vyžiarenom hluku v snahe navrhnúť riešenia, ktoré by bolo možné na konštrukciu vozňa aplikovať.

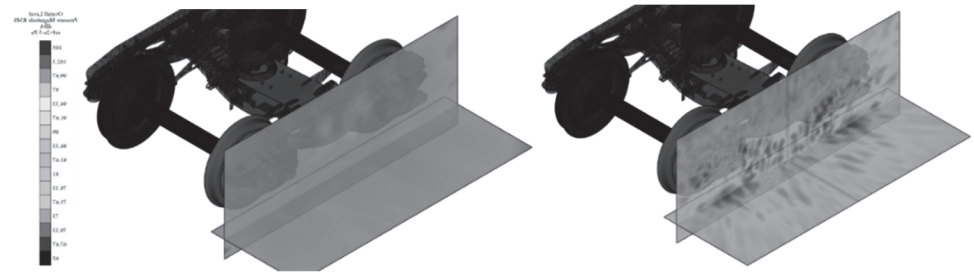
V priebehu rokov 2020 až 2023 sa nám spoločne podarilo pripraviť výpočtový model najprv nádržkového vozňa (zvarenec kostry a nádrže bez podvozkov) a následne aj samostatného podvozku. Výsledky simulačných výpočtov potvrdili že maximálne amplitúdy kmitania na úrovni nádrže a kostry vozňa sú dosahované v pásme do 1,25 kHz viď Obr.5. Ďalšie analýzy na úrovni podvozku preukázali dominantný význam vyžarovaného hluku od kolies na celkovom vyžiarenom hluku. Význam ostatných častí konštrukcie už bol z pohľadu hluku iba s veľmi nízkym významom na celkový hluk.



Obr. 5 *Výpočtový model nádržkového vozňa Zacns 93m³ v programe VA-One spoločnosti ESI a maximálne dosiahnuté identifikované špičky*

Fig. 5 *Calculation model of the tank wagon Zacns 93m³ in the program VA-One of the company ESI and maximal reached identified peaks*

Na ***obr. 6*** a ***obr. 7*** sú zobrazené výsledky simulačného výpočtu pre rám podvozku a dvojkolesia. V modely sú umiestnené hladiny, ktoré sú schopné emitovaný hluk v simulačnom softvéry vykresľovať. Zostavený výpočtový model umožňuje vypočítať príspevky jednotlivých častí podvozku. Rozdiel medzi vypočítaným vyžarovaným hlukom rámu podvozku a dvojkolesím je zjavný.



Obr. 6 a 7 *Vyžarovaný hluk na úrovni podvozku, rám verzus dvojkolesie.*

Fig. 6 and 7 *Noise emitted at the level of the bogie, frame versus wheelset*

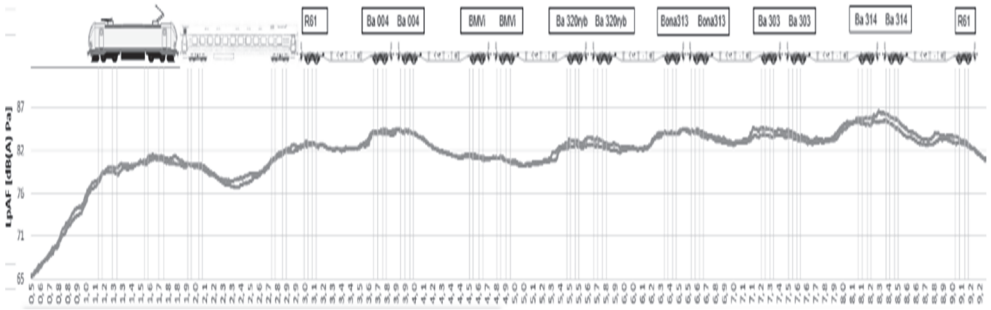
3 MOŽNOSTI ZNÍŽENIA HLUKU

Vo všeobecnosti existujú overené možnosti zníženia hluku, ktoré sú už v koľajovej technike overené. Ich nasadenie prináša neúmerné zvyšovanie nákladov na obstaranie takéhoto koľajového vozidla, ale prináša aj dodatočné náklady na servis a údržbu. Príkladom môže byť využitie podvozkov so vzduchovým vypružením ktoré sú štandardom pri preprave osôb, tieto podvozky predstavujú ale niekoľko násobne väčšie obstarávacie náklady oproti nákladným podvozkom z rodiny Y25. Pokročilejší systém vypruženia vnesie do mechanizmu dodatočné tlmenie, čo má za následok pokles vyžiareného hluku.

Ďalším opatrením môže byť použitie materiálov, ktoré dokážu absorbovať alebo odraziť už emitované vibrácie spôsobujúce hluk. Tieto opatrenia sú zo strany odberateľov zatiaľ odmietané, keďže kvôli prekrývaniu funkčných častí konštrukcie vozňov/podvozku zvyšujú náklady na inšpekciu, prípadne ju znemožňujú a sú vnímané ako rizikový element. Tu treba zdôrazniť, že nákladný vozeň je stále vnímaný ako jednoduchý a skoro bez údržbový oproti osobným jednotkám.

Jedným z okamžitých možných riešení je nasadenie inovatívnych typov dvojkolesí, ktoré predstavujú zaujímavé riešenie, ktoré dokáže výsledný emitovaný hluk dokázateľne znížiť o niekoľko decibelov. V priebehu roku 2021 sme spolu s našim dodávateľom dvojkolesí spoločnosťou Bonatrans realizovali hlukovú kampaň, kde sme súpravu

identických vozňov vybavili rôznymi typmi inovatívnych dvojkolesí. Dvojkolesia boli v rámci jednej súpravy vozňom priamo porovnané asi s najpoužívanejšími dvojkolesím BA314 a BA303. Na ***obr. 8*** je zobrazená hladina emitované hluku na celej súprave a rozdiel medzi jednotlivými kolesami.



Obr. 8 *Časový priebeh hladiny akustického tlaku nameraný pri prejazde súpravy vozňov, priame vzájomné porovnanie emitovaného hluku jednotlivých kolies pri prejazde.*

Fig. 8 *Sound pressure level time course measured during passing of the wagon set, diret mutual comparison of emitted noise of the individual wheels during passing*

4 ZÁVER

Cieľom článku bola snaha prezentovať odbornej verejnosti vnímanie problematiky hluku v nákladnej koľajovej doprave z pohľadu výrobcu koľajovej techniky. Prezentovať výsledky získané spoluprácou s našimi partnermi za posledné tri roky. **Dôležitým faktom, ktorý musíme stále zdôrazňovať je, že vyriešenie problematiky hluku nákladnej koľajovej techniky nie je možné ponechať iba na strane jej výrobcov.** Naše nadobudnuté znalosti z posledných rokov potvrdzujú fakt, že použitie inovatívnych kolies, pokročilejšieho vypruženie a tlmiacich materiálov nakoniec narazí na dominantnú zložku hluku, ktorou zostane koľaj . Riešenie musí prichádzať postupne na všetkých úrovniach vrátanie infraštruktúry, a keď sa budú riešiť dominantné zložky hluku bude mať význam riešenie aj tých sekundárny.

Spoločenská objednávka na ďalšie obdobie je jasná, nárast dopravy tovarov na železničných trasách ovplyvní masy obyvateľov kontinentu, čo vyvinie tlak na autority. Limity sa sprísnia. My ako výrobca budeme pripravení, ale ako sme sa za posledné roky snažili dokázať bez zapojenia všetkých zúčastnených strán to nepôjde.

Literatúra

[1] Žiaran, S., Chlebo, O., Petrák, P., Úradníček, J., Mačák, L. Búry, M. Nová generácia nákladných železničných vozidiel. časť 3: Frekvenčná analýza kmitania a hluku cisternového vozňa za pohybu s návrhom opatrení. TRNAVA 2020**, [2]** Nariadenie EU 2022/1319 Commission Regulation (EU) No 1304/2014 of 26 November 2014 on the technical specification for interoperability relating to the subsystem ‘rolling stock — noise’ amending Decision 2008/232/EC and repealing Decision 2011/229/EU. **[3] Búry, M., Mačák, L., Moravčík, M.**: Hluk v nákladnej koľajovej deprave, odložený problem? In: *XXIV. medzinár. konferencia Súčasné problémy v koľajových vozidlách – PRORAIL 2019, Zborník prednášok, Diel I*, 55–61, ISBN 978-80-89276-58-5.

♠ ♠ ♠

Resumé

Príspevok sa zaoberá vnímaním problematiky hluku nákladného koľajového vozňa z pohľadu jeho výrobcu. Prvá časť článku sa snaží zdôrazniť dôležitosť poznania príspevkov jednotlivých častí koľajovej techniky na celkovom vyžiarenom hluku. Poznanie jednotlivých príspevkov nám umožní cielene navrhovať riešenia, ktoré majú význam. V druhej časti sú popísané nadobudnuté znalosti Tatravagónky z posledných troch rokov, ktoré sme v snahe riešiť túto problematiky spolu s našimi partnermi nadobudli. V závere je zdôraznená potreba riešenia témy na všetkých úrovniach vrátane infraštruktúry.

Summary

The article deals with perceiving the noise problem of a rolling stock from the manufacturer´s point of view. The first part of the article tries to emphasize the importance of knowing the contributions of the individual parts of the railway technology to the overall emitted noise. Knowing the individual contributions will allow us to propose targeted solutions that are meaningful. The second part describes the acquired knowledge of Tatravagónka from the last three years, which we acquired together with our partners in an effort to solve this issue. In conclusion, the need to address the topic at all levels, including infrastructure, is emphasized.

Poďakovanie:

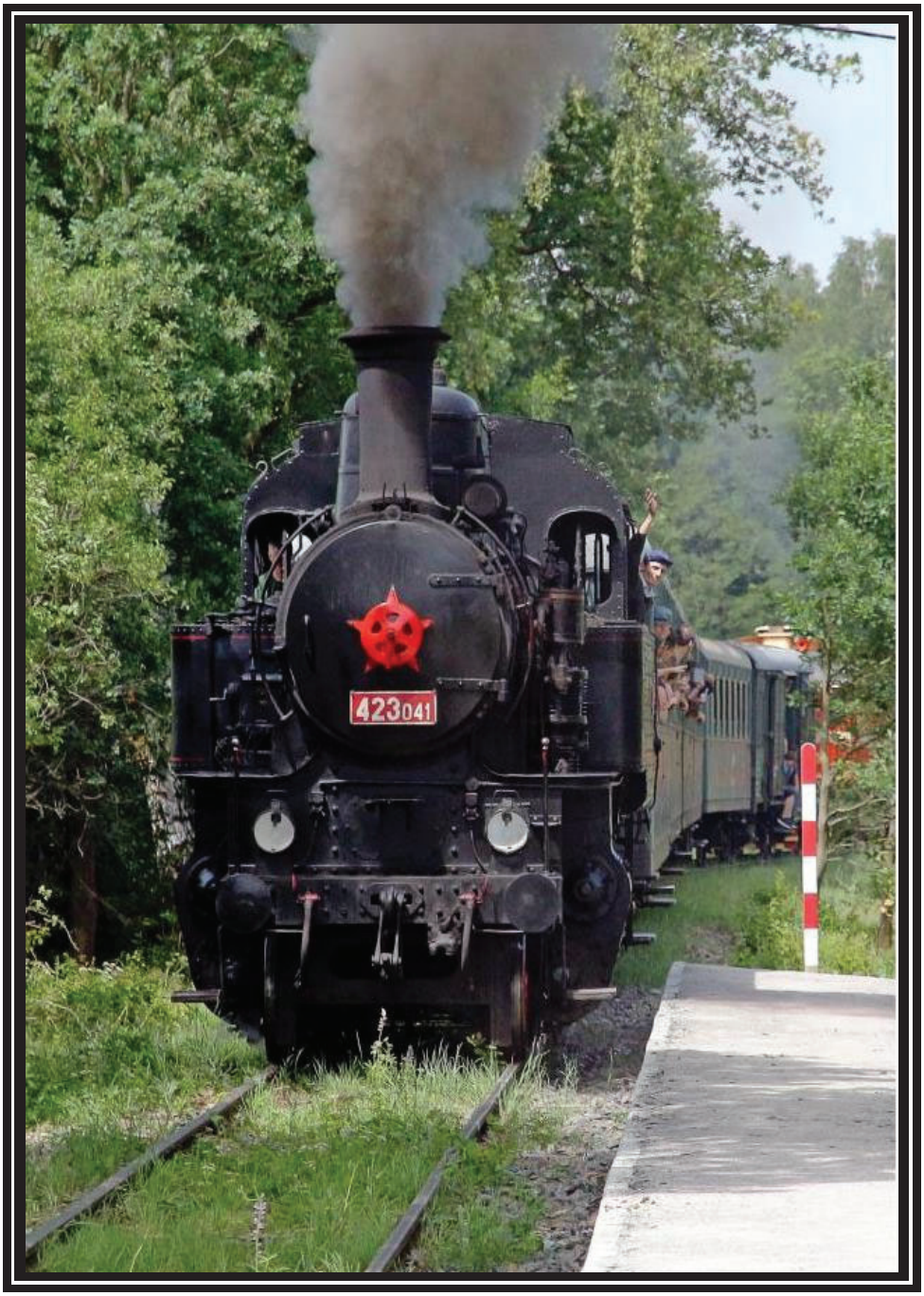
Európska únia
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM VÝSKUM A INOVÁCIE

Tento príspevok bol vytvorený realizáciou projektu „Nová generácia nákladných železničných vozidiel“(Kód projektu v ITMS2014+: 313010P922), na základe podpory operačného programu Výskum a inovácie financovaného z EFRR - Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

This contribution was elaborated within execution of the project “New generation of freight railway wagons” (Project code in ITMS2014+: 313010P922), based on support of the operational program Research and innovation financed from the ERDF - European Regional Development Fund

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt:
„Nová generácia nákladných železničných vozidiel “(Kód projektu v ITMS2014+: 313010P922), spolufinancovaný zo zdrojov EFRR - Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

This publication was issued thanks to support within the operational program Research and innovation for the project: “New generation of freight railway wagons” (Project code in ITMS2014+: 313010P922) co-financed from the resources of the ERDF - European Regional Development Fund.


423041

26th INTERNATIONAL CONFERENCE
„CURRENT PROBLEMS IN RAIL VEHICLES - PRORAIL 2023“
September 20 – 22, 2023, Žilina, Slovakia

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.03

ZMENY V REGISTRÁCII KOĽAJOVÝCH VOZIDIEL – EURÓPSKY REGISTER VOZIDIEL

CHANGES IN THE ROLLING STOCKS REGISTRATION – EUROPEAN VEHICLE REGISTER

Katarína MAGDECHOVÁ[*)]

1 ÚVOD

Železničná agentúra Európskej únie vytvorila a vedie Európsky register vozidiel - EVR, kde sa registrujú všetky železničné vozidlá, ktoré majú pridelené povolenie na uvedenie na trh alebo do prevádzky. Každé takéto vozidlo musí byť zaregistrované. Po zavedení nového EVR sa objavili viaceré problémy v praxi, s ktorými sa jednotlivé subjekty (vlastníci, držitelia, dopravcovia, a pod.) musia vysporiadať.

2 EURÓPSKY REGISTER VOZIDIEL

Presné špecifikácie registrov sú zadefinované vo Vykonávacom rozhodnutí Komisie (EÚ) 2018/1614 z 25. októbra 2018, ktorým sa stanovujú špecifikácie pre registre vozidiel uvedené v článku 47 smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2016/797 a ktorým sa mení a zrušuje rozhodnutie Komisie 2007/756/ES.

Európsky register vozidiel by mal byť centralizovaným registrom, ktorý všetkým používateľom poskytuje harmonizované rozhranie na nahliadnutie, registráciu vozidla a správu údajov. **[1]**

Na základe vykonávacieho rozhodnutia Komisie 2018/1614 členské štáty majú povinnosť, aby sa údaje o registrovaných vozidlách postupne previedli z národných registrov vozidiel do Európskeho registra vozidiel.

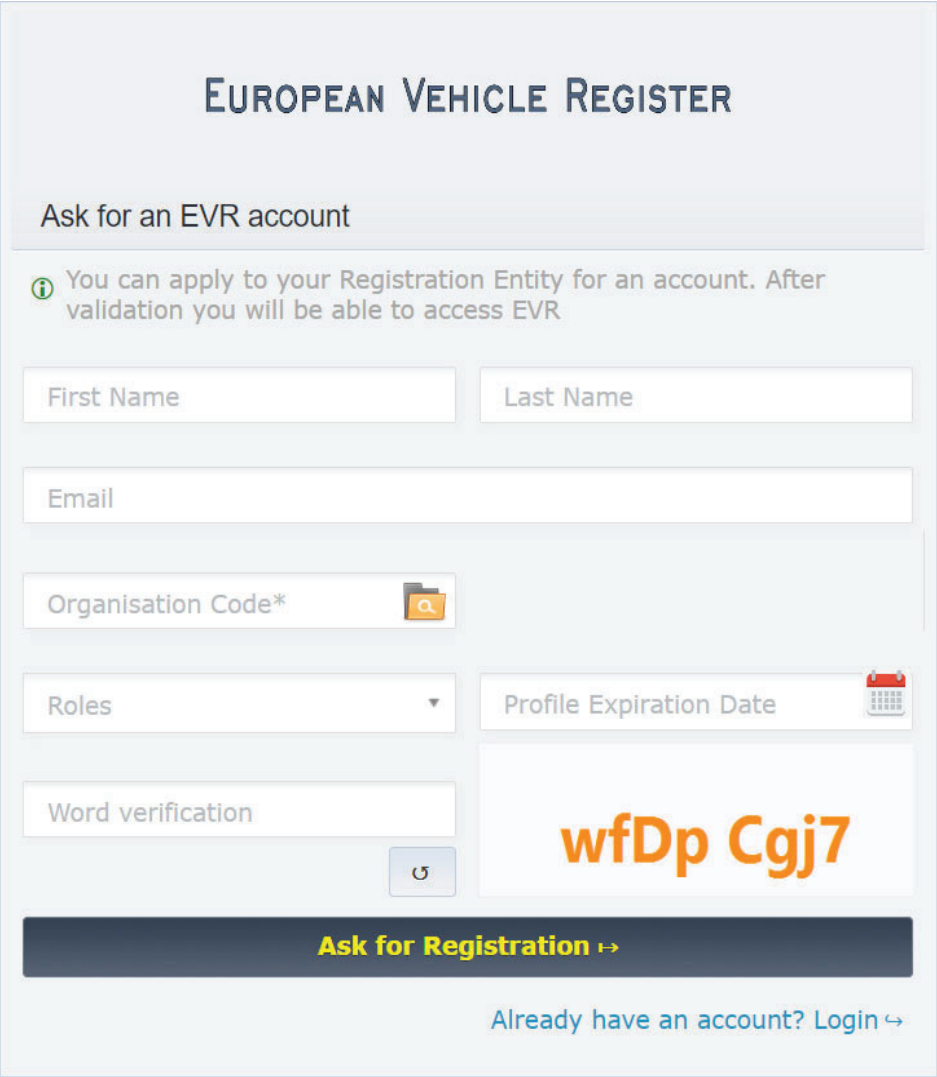
2.1 Zmeny v registrácii koľajových vozidiel

Momentálne vo vzťahu k registrácii vozidiel fungujú oba registre – Európsky centralizovaný virtuálny register (ECVVR) a tiež nový Európsky register vozidiel (EVR).

Počas prechodného obdobia je ECVVR aj naďalej funkčný a je v ňom možné vyhľadať vozidlá a ich registrácie tých členských štátov EÚ, ktoré ešte neprešli procesom migrácie a sú v systém „offline“. Jednotlivé subjekty môžu využívať ešte pôvodné prístupové údaje, ktoré sú až do ukončenia prechodného obdobia platné.

Prihlasovacie údaje do EVR si vytvára každý subjekt samostatne a sú povoľované Železničnou agentúrou Európskej únie. Žiadosť o prístup do EVR je znázornený na ***obr. 1***.

[*)] **Ing. Katarína MAGDECHOVÁ, Ph.D.** ZVKV, Kukučínova 22, 831 03 Bratislava, +421 905 258 920, zvkv@zvkv.sk, prezidentka.



Obr. 1 *Žiadosť o prístup do EVR [1]*

Fig. 1 *Request for access to the EVR*

Každý držiteľ, vlastník vozidla a tiež aj dopravca musí mať pridelený kód organizácie (OCR), ktorý prideľuje na základe žiadosti Železničná agentúra Európskej únie.

Vozidlá, ktoré sú registrované v EVR už nie je možné vidieť v ECVVR, preto sa odporúča pri kontrole údajov o vozidlách využívať oba registre.

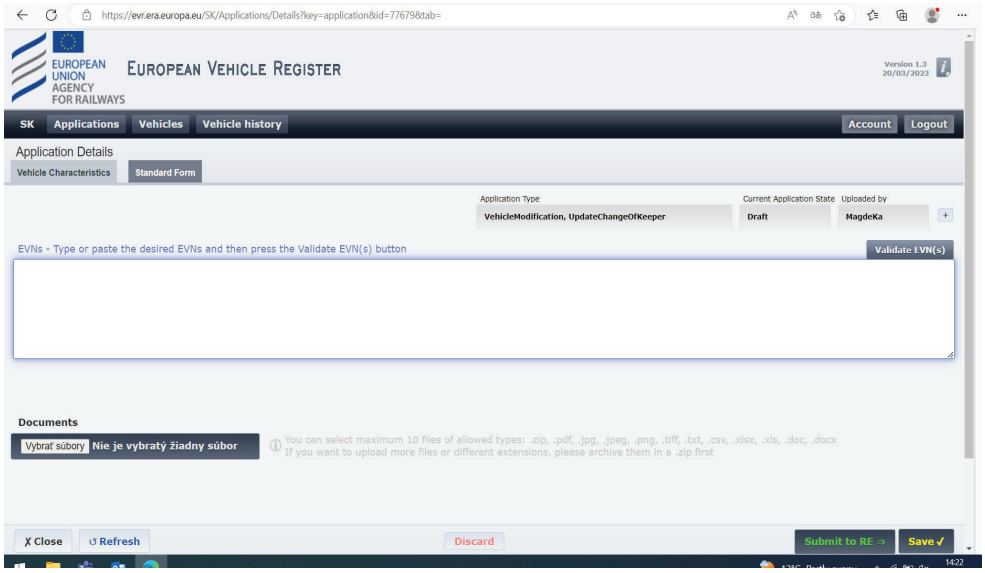
2.2 Problémy pri vykonávaní úkonov v EVR

Po zavedení Európskeho registra vozidiel (EVR) sa objavili viaceré problémy pri uskutočňovaní úkonov.

Pri úkonoch v EVR je nevyhnutné do prílohy žiadosti nahrať nasledovné dokumenty:

- žiadosť,
- zmluva o prevode vlastníctva, ak sa mení vlastník vozidla,
- splnomocnenie na vykonávanie úkonov v EVR,
- správny poplatok,
- pokiaľ ide o novú registráciu vozidla, je potrebné dodať všetky potrebné dokumenty od výrobcu.

Ako jeden zo zásadných problémov sa ukazuje nemožnosť zadania tých istých zmien na rovnakej skupine vozňov. To znamená, že napr. ak by chcel držiteľ vykonať zmenu vlastníka na rovnakej skupine viacerých vozňov, nie je možné zadať túto zmenu naraz pre všetky vozne. Je potrebné zmenu vykonať pre každý jeden vozeň zvlášť s tou istou zmenou a tými istými prílohami. Predstavuje to neúmerne vysokú časovú náročnosť. Názorná ukážka žiadosti o zmenu údajov v EVR je na ***obr. 2***.

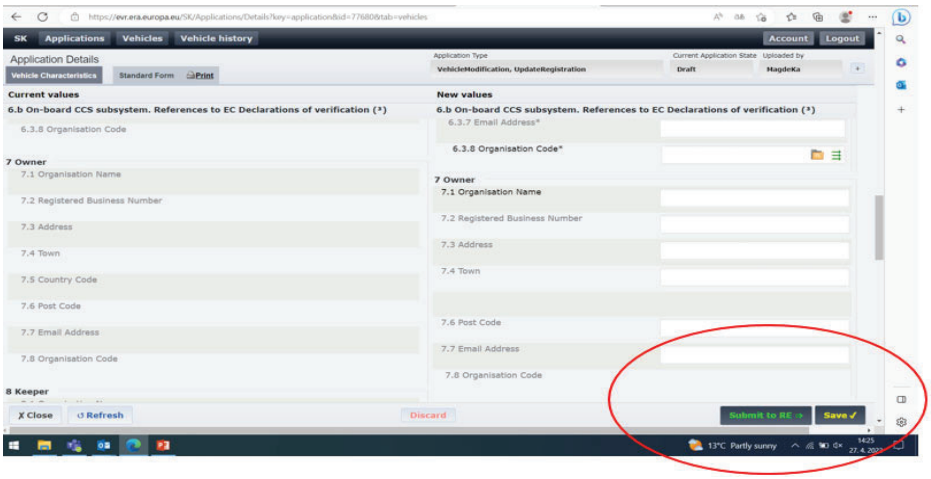


Obr. 2 *Žiadosť o zmenu v registrácii vozidla [1]*

Fig. 2 *Request for change in vehicle registration*

Ďalej sa po zadaní konkrétneho čísla vozidla a zmeny ukázal ako problematický dátum zmeny vlastníka vozidla. Aj napriek tomu, že bol dátum na strane žiadateľa zadaný, príslušnému bezpečnostnému orgánu sa dátum zmeny nezobrazil.

Železničné podniky/dopravcovia majú povinnosť kontrolovať, či vozidlá zaradené do ich vlakov majú pridelený ECM subjekt zodpovedný za údržbu a tiež či vozidlo ako také je zaregistrované. Taktiež musia skontrolovať oblasť použitia, teda či je vozidlo schválené pre danú krajinu. Vo viacerých prípadoch sa ukázalo, že poverený zamestnanec dopravcu vozidlo nenašiel ani v EVR ani v starom ECVVR. Preto je nevyhnutné zo strany EUAR zlepšiť funkčnosť EVR, aby bolo možné naplniť legislatívne požiadavky kladené aj na dopravcov a tiež aj ostatné zainteresované subjekty.



Obr. 3 *Zmena v registrácii vozidla [1]*

Fig. 3 *Change in vehicle registration*

3 ZÁVER

Európsky register vozidiel (EVR) sa po odstránení problémov ukazuje ako účinný nástroj pre zisťovanie údajov o vozidlách, urýchlenie zmien v registráciách a zníženie byrokracie. Pre dosiahnutie tohto účelu však musí byť zabezpečené, aby boli všetky krajiny naň napojené, to znamená – nebudú „offline“. Dosiahnutie tohto cieľa si vyžaduje ešte určité časové obdobie a tiež odstránenie nedostatkov, ktoré v súčasnosti predstavujú skôr byrokratickú záťaž.

Literatúra

[1] Vykonávacie rozhodnutie Komisie (EÚ) 2018/1614 z 25. októbra 2018, ktorým sa stanovujú špecifikácie pre registre vozidiel uvedené v článku 47 smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2016/797 a ktorým sa mení a zrušuje rozhodnutie Komisie 2007/756/ES. **[2] https://evr.era.europa.eu/register .**

♠ ♠ ♠

Resumé

Európsky register vozidiel (EVR) je webový nástroj, ktorý používajú držitelia na podávanie žiadostí o registráciu vozidiel a registračné orgány na správu prideľovania čísiel vozidlám a na zaznamenávanie registrácií vozidiel a ich aktualizácií. Cieľom príspevku je informovať o novom systéme registrácie koľajových vozidiel a tiež poskytnúť prehľad aktuálnych zmien.

Summary

The European Vehicle Register (EVR) is a web tool which is used by Keepers to submit applications for vehicle registration and by Registration Bodies to manage the allocation of vehicle numbers and to record vehicle registrations and their updates. The main goal of this presentation is to inform about the new registration system of the rolling stocks and also provide the overview about the existing changes.

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.04

AERODYNAMICKÉ POŽADAVKY NA VOZIDLA V KONTEXTU DALŠÍHO ROZVOJE ŽELEZNICE

AERODYNAMIC REQUIREMENTS ON VEHICLES IN THE CONTEXT OF FURTHER RAILWAY DEVELOPMENT

Emanuel MERGL[*)]

1 SYSTEMATICKÁ ANALÝZA POŽADAVKŮ

Na úplný úvod je uvedeno širší zamyšlení nad souvislostmi, které daly podnět ke vzniku tomuto textu. Při současném rozvoji železnice v České republice, které je reprezentováno především nově vznikajícími tratěmi pro rychlosti vyšší než 160 km/h, se začínají objevovat úkoly, které vyžadují upravit přístup k projektování železničních vozidel. Na významu nabývají doposud okrajová témata, například požadavky aerodynamiky, která při těchto rychlostech již nezanedbatelně ovlivňují bezpečnost provozu. Jedním z cílů tohoto textu je proto iniciovat diskuzi nad těmito otázkami, upozornit na vhodné postupy při jejich řešení a pokusit se nastavit systematickou analýzu problematiky už při koncepčním návrhu nových řešení.

Při pohledu do zahraničí, kde se na železnici vyskytuje rychlost vyšší než 160 km/h, lze pozorovat několik aktivit, které na národní úrovni systematicky a dlouhodobě probíhají. Jedná se především o vznik a činnost národních skupin (tzv. Mirror Group), které rozpracovávají a do praktické aplikace zavádějí požadavky definované na evropské úrovni v technických směrnicích pro interoperabilitu (TSI) nebo v souboru norem EN 14067.

Vedle toho tyto skupiny zpracovávají témata, která TSI nebo EN 14067 podrobně nepostihují (tzv. open points) nebo k nim nestanovují jednoznačné požadavky definující nezbytné rozhraní pro návrh vozidla i infrastruktury. Navržené postupy a požadavky shrnují do metodických pokynů, které jsou nezbytné pro praktickou aplikaci a které umožňují realizovat návrhy nových řešení systematicky v souladu se stanoveným národním konceptem železnice.

Tyto činnosti probíhají za účasti všech subjektů zapojených do železničního průmyslu, tj. výrobců vozidel, projektantů staveb, správce infrastruktury, dopravců a výzkumných institucí. Při stanovování požadavků probíhají nejen podrobné analýzy, ale i hledání vhodného kompromisu pro všechny subsystémy, jelikož aerodynamické efekty se vyskytují na jejich rozhraní. Kompromis často odráží rozdílné nároky a dopady při zavádění nových požadavků a odehrává se na pozadí zachování bezpečnosti, funkčnosti a efektivity celého železničního systému.

Toto nám naznačuje, kam železniční průmysl v České republice musí také zaměřit svoji pozornost, pokud má za cíl naplnit svoje plány rozvoje železniční sítě. Jen základní povědomí, že aerodynamické efekty jsou ve většině případů úměrné druhé mocnině

[*)] **Ing. Emanuel MERGL,** VÚKV a.s., Bucharova 1314/8, 158 00 Praha 5, Česká republika. Tel.: +420 736 519 952, e-mail: mergl@vukv.cz. Specializuje se na aerodynamiku v železniční aplikaci ve vazbě na kolejová vozidla i infrastrukturu.

rychlosti vozidla, by měly být dostatečným upozorněním a důvodem pro podrobnou analýzu těchto efektů.

Ačkoliv bylo v zahraničí mnoho témat detailně zkoumáno, výsledky publikovány a často začleněny do souboru norem EN 14067, nelze se jednoduše domnívat, že problematika je vyřešena i pro prostředí České republiky. Aerodynamické efekty vznikají v konkrétních podmínkách, ve kterých se objevují i existující řešení, často vyplývající z odlišného historického vývoje. Je také žádoucí porozumět fyzikální podstatě těchto efektů a umět jejich velikost vyhodnotit v nových okrajových podmínkách, které bude požadovat naše řešení železnice.

Ačkoliv pravidelný provoz vyššími rychlostmi nás teprve čeká, je nutné realizovat již dnes důležité rozbory a kvantifikaci efektů, které se vyskytují v současných provozních podmínkách při rychlostech do 160 km/h. Zejména vyhodnotit:

- velikosti aerodynamických zatížení vozidel při průjezdu a jejich míjení v tunelech;
- úroveň tlakového komfortu ve vozidlech;
- jízdní odpory vozidla na širé trati i v tunelech;
- stabilitu vozidla při účincích bočního větru a výskyt kritických rychlostí větru na infrastruktuře.

Důvodem pro tato hodnocení současného stavu je několik, ale pro rozvoj, výstavbu či modernizaci železnice v České republice je zde jeden velmi podstatný. Každá nová trať nebo nové provozní podmínky přináší otázku, zda stávající vozidla jsou schopna bezpečně vyhovět i novým podmínkám. Bez znalosti velikosti efektů v dnešním provozu bude obtížné nové podmínky srovnávat a hodnotit.

Pro problematiku aerodynamiky bohužel neplatí, že řešení lze snadno nalézt jen na straně jednoho subsystému. Tento úvodní komentář tak směřuje na všechny subjekty – výrobce vozidel, projektanty infrastruktury, správce infrastruktury nebo dopravce, aby společně hledali řešení pro nově vznikající řešení na železnici. VÚKV a.s. je připravena tuto aktivitu po odborné stránce podpořit. Výpočty, simulace nebo zkoušky týkající se aerodynamiky v železniční aplikaci jsou dnes ve VÚKV a.s. běžnou praxí a umožňují efektivně řešit základní témata již v průběhu vytváření konceptu.

2 SOUČASNÉ POŽADAVKY AERODYNAMIKY

Požadavky na hodnocení účinků aerodynamických efektů jsou v současnosti obsaženy v několika dokumentech. Jedním z nich jsou legislativní požadavky obsažené v technických specifikacích pro interoperabilitu (TSI), v současné době zejména v aktuálním vydání směrnice o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému kolejová vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob (TSI LOC PAS).

Požadavky a doporučení pro problematiku aerodynamiky v železniční aplikaci včetně metod pro hodnocení efektů dnes nejpodrobněji popisuje soubor evropských norem EN 14067:

- Část 4: Požadavky a zkušební postupy pro aerodynamiku na širé trati, návrh 2022;
- Část 5: Požadavky a zkušební postupy pro aerodynamiku v tunelech, revize 2023;
- Část 6: Požadavky a zkušební postupy pro hodnocení účinků bočního větru, revize 2022.

Tyto normy jsou důležitým základem, který předkládá ucelený přehled témat a který zároveň pro některé body obsahuje požadavky, které definují podmínky rozhraní (interoperability) v evropském prostředí. Témata přehledně shrnuje ***Tab. 1***, která doplňuje i souvislosti těchto požadavků k infrastruktuře nebo provozním otázkám.

***TAB. 1** Přehled témat a požadavků aerodynamiky na vozidla dle norem EN 14067 a jejich souvislosti k infrastruktuře nebo provozu*

***TABLE 1** Overview of aerodynamic topics and requirements relating to the vehicles according to EN 14067 standards and their context to infrastructure and operation*

Téma	Rychlost	Rozhraní / ekvivalent u infrastruktury	Rozhraní / ekvivalentu provozu
Širá trať			
Tlaková vlna na čele vlaku	> 160 km/h	Tlaková zatížení konstrukcí podél trati	-
Rychlosti proudění v úplavu	> 160 km/h	Zatížení na komponenty podél trati, bezpečnost osob na nástupišti	-
Zatížení konstrukce vlivem provozu (míjení vozidel, působení větru)	> 140 km/h	-	-
Účinky na svršek	-	Zatížení komponent v prostoru svršku	-
Odlétávání štěrku	> 250 km/h	Odlétávání štěrku	-
Jízdní odpor	-	-	Spotřeba energie
Boční vítr	> 140 km/h	Hodnocení působení větru na infrastruktuře	Hodnocení rizik při bočním větru
Tunely			
Maximální kolísání tlaku v tunelu	≥ 200 km/h	Zdravotní kritérium	-
Tlakový gradient na vjezdu do tunelu	≥ 200 km/h	Mikrotlakové vlny	-
Zatížení konstrukce při průjezdu tunelem (sólo jízda, míjení vozidel)	> 140 km/h	Zatížení konstrukcí v tunelu vlivem tlakových změn	-
Tlakový komfort (tlakotěsnost)	-	Tlakový komfort (netlakotěsná vozidla)	-
Jízdní odpor	-	-	Spotřeba energie, trakční výkon
Kontaktní síla sběrač – trakční vedení	-	Účinky sběrače na trakční vedení	-

Nedílnou součástí stanovení a hodnocení aerodynamických efektů na železnici je přesná definice okrajových podmínek, které se souhrnně označují jako referenční scénář a které pro různé aplikace definují referenční vozidla, infrastrukturu, atmosférické podmínky nebo provozní situace. Referenční scénář je souborem parametrů, které ovlivňují absolutní velikost sledovaného efektu, a zároveň praktickou pomůckou při hodnocení efektů pro široké spektrum řešení jednotlivých subsystémů.

3 VLIV KONCEPTU ŽELEZNICE NA ŘEŠENÍ VOZIDLA

Koncepční návrh železnice utváří požadavky a následně i provedení vozidel, jehož návrh tak začíná již při tvorbě tohoto konceptu. Ten by se měl v České republice pokoušet o zachování jednotnosti požadavků v Evropě nebo alespoň regionu střední Evropy z důvodu minimalizace vzniku specifických národní požadavků. Je zřejmé, že s ohledem na některá naše řešení nelze ideálního stavu pravděpodobně dosáhnout, ale každá redukce požadavků je pro železnici, její efektivitu a ekonomičnost nezanedbatelným přínosem.

Pro maximální rychlost vozidla nebo traťovou rychlost větší než 140 km/h je v současnosti nezbytné provádět analýzu aerodynamických efektů a podrobně identifikovat rizika u relevantních témat. Už ve fázi tvorby konceptu je nutné zhodnotit dopady do řešení vozidla a vznik případných omezení. Cílem je dosažení kompatibility tratí a vozidel bez provozních omezeních, tj. exitující vozidla mohou bez omezení přistupovat na nové tratě a naopak. Případy, kdy zavedení provozních omezení nebo dodatečné prověření vozidel jsou nezbytné, lze nicméně očekávat a budou nedílnou součástí při rozhodování o volbě řešení.

Proces koncepčního návrhu by mělo podpořit vytvoření metodických postupů nebo předpisů pro návrh železnice v podmínkách České republiky. Za vhodné lze považovat i vytvoření koncepční technické specifikace vozidel, které jednak definují okrajové podmínky pro návrh infrastruktury a zároveň vytvoří technické zadání na nová vozidla pro potřeby dalších subjektů včetně samotných výrobců.

4 POSTUP STANOVENÍ POŽADAVKŮ NA VOZIDLO

Návrh vozidla musí zohlednit současnou infrastrukturu a referenční scénáře, které definují rozhraní analogicky aplikované při návrhu nové infrastruktury. Musí být zohledněny i další okrajové podmínky, například míjení s jinými vozidly reprezentované obvykle stanovenou referenční množinou vozidel.

Dimenzování vozidel na aerodynamická zatížení v tunelech patří mezi nejčastější otázky a lze na jeho příkladu ukázat některé souvislosti v procesu stanovení požadavků. Související zatížení jsou důsledkem tlakových změn, která vznikají při interakci vozidla, infrastruktury a provozních podmínek (např. míjení vozidel), jejichž konkrétní parametry se proto projeví na velikosti zatížení.

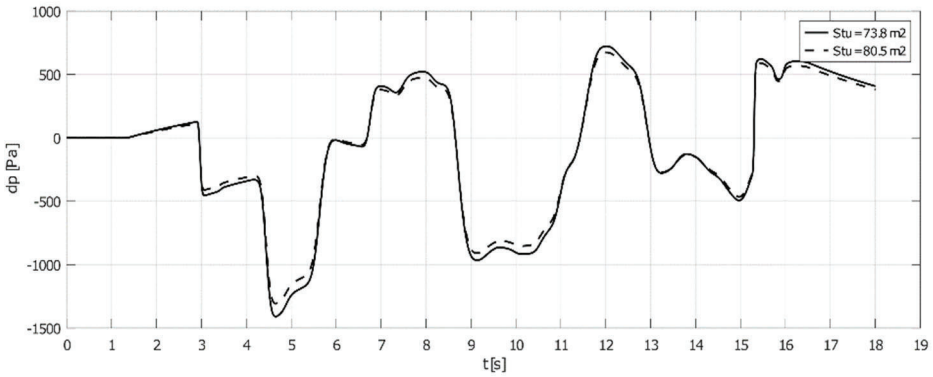
Při návrhu vozidla musí být na začátku definováno a při projektu zohledněno následující:

a) Infrastruktura a její maximální traťová rychlost, na které má být vozidlo provozováno – Konkrétně toto představuje určení států, regionů nebo vybraných tratí, ke kterým jsou shromážděny jejich základní parametry. Dnes toto efektivně umožňuje například evropský registr infrastruktury RINF. Pro některé státy (např. Německo) jsou navíc dnes připraveny referenční tratě, které představují nejhorší scénář pro zatížení, a eliminují pracné vyhodnocení jednotlivě pro všechny tunely vyskytující se na dané infrastruktuře.

b) Provozní podmínky – Ty jsou reprezentované především typy míjených vozidel a jejich provozní rychlostí. K tomuto účelu se dnes obvykle používá tzv. TSI referenční vozidlo, které generuje mezní velikosti tlakových změn. V některých případech se však mohou na infrastruktuře vyskytovat i další vozidla (nesplňující požadavky TSI), která musí zohledněna v podobě jiné referenční množiny.

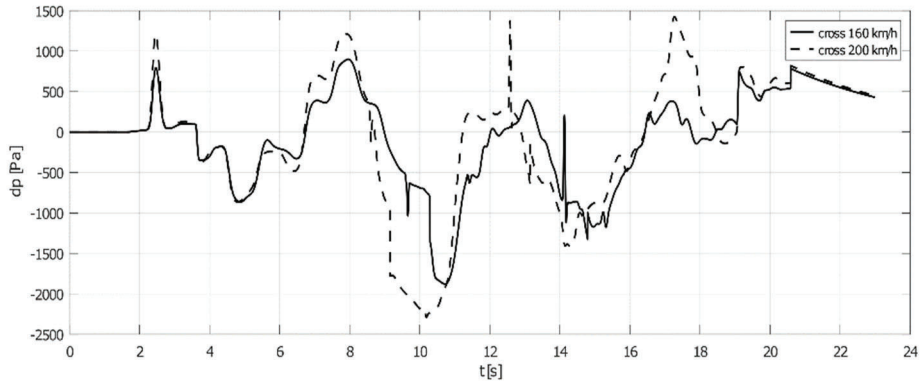
V souboru těchto vstupních podkladů by měly být zahrnuty i projektované tratě nebo plánovaný provoz, a to zejména v případech, kdy neexistuje na jejich straně zhodnocení ve vztahu k existujícím řešením. Důležitou roli v tomto procesu hraje aktivita autora konceptu železnice, což stručně vysvětluje kapitola 3 tohoto textu. Oddělený návrh tunelů nebo volba provozních podmínek může totiž nakonec pečlivé dimenzování vozidla znehodnotit a znemožnit jeho bezpečný provoz. Příklady, kdy tyto nové podmínky navyšují

aerodynamická zatížení jsou zobrazeny na ***obr. 1*** a ***obr. 2***. Ty současně ukazují, že vliv provozních podmínek může být v mnoha případech významný a vyžaduje často největší pozornost.



Obr. 1 *Srovnání aerodynamických zatížení působící uprostřed délky vozidla (s celkovou délkou 150 m, dynamickou tlakotěsností 4 s, jedoucí rychlostí 200 km/h) při jeho sólo průjezdu tunely s rozdílnou plochou průřezu 73,8 a 80,5 m²*

Fig. 1 *Comparison of aerodynamic loads acting in the middle of length of the vehicle (wih total length of 150 m, dynamic pressure tightness of 4 s, running at 200 km/h) during its solo run through tunnels with different cross-section area of 73.8 and 80.5 m²*

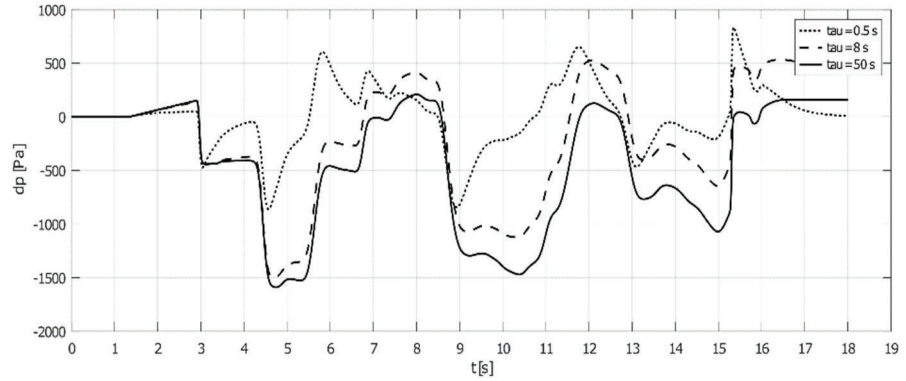


Obr. 2 *Srovnání aerodynamických zatížení působící uprostřed délky vozidla (s celkovou délkou 150 m, dynamickou tlakotěsností 4 s, jedoucí rychlostí 160 km/h) při míjení s vozidlem odpovídajícímu mezním požadavkům TSI s rozdílnou rychlostí 160 a 200 km/h v tunelu s plochou průřezu 73,8 m²*

Fig. 2 *Comparison of aerodynamic loads acting in the middle of length of the vehicle (wih total length of 150 m, dynamic pressure tightness of 4 s, running at 160 km/h) during its crossing with a vehicle corresponding to limits of TSI requirements with different speed of 160 a 200 km/h in the tunnel with cross-section area of 73.8 m²*

Postup určení zatížení doprovází i zohlednění dalších vlastností vozidla. Zatížení je například významně ovlivněno jeho tlakotěsností, která se zavádí z důvodu zlepšení tlakového komfortu ve vozidle. Změnu zatížení v závislosti na rozdílné tlakotěsnoti zobrazuje ***obr. 3***. Návrh vozidla v tomto případě představuje hledání kompromisu pro vhodnou úroveň

tlakotěsnoti, jelikož její vysoká úroveň je sice spojena se zvyšováním tlakového komfortu, ale zároveň navyšuje působící zatížení a zvyšuje nároky na údržbu vozidla. Naopak nižší úrovně tlakotěsnosti působí na tyto vlastnosti nebo nároky opačně.



Obr. 3 *Srovnání zatížení působící na vozidlo v závislosti na jeho rozdílné dynamické tlakotěsnosti o velikosti 0,5; 8 a 50 s při sólo průjezdu tunelem*

Fig. 3 *Comparison of aerodynamic loads acting on the vehicle in dependancy on its different dynamic pressure tightness of 0.5; 8 and 50 s during solo run through the tunnel*

Konečná podoba požadavků, vyjádřená příslušnou hodnotou zatížení, je tedy výsledkem mnoha vnějších faktorů. Ty nepřímo ovlivňují samotné konstrukčního řešení a vytvářejí případná omezení pro optimalizaci řešení z pohledu dalších vlastností vozidla. Nevhodně zvoleným zadáním mohou být ovlivněny aspekty jako spolehlivost (při nárůstu složitosti řešení) nebo ekonomičnost (při navýšení výrobních, provozních a údržbových nákladů).

Konstrukční řešení vozidla je tímto úzce spojeno s parametry infrastruktury a provozu, které jsou definovány během jeho návrhu a předurčují tak aplikaci vozidla na dobu jeho životnosti. Neprovádění této analýzy nebo špatně zvolené zadání dnes představuje významné riziko vzniku omezení v přístupu vozidla na nové tratě nebo do nových provozních podmínek.

5 SHRNUTÍ A ZÁVĚR

Příspěvek stručně shrnuje aktuální témata z oblasti aerodynamiky v železniční aplikaci. Kromě jejich vyjmenování se snaží upozornit, že význam požadavků je nutné hodnotit v kontextu celkového řešení železnice a že požadavky na vozidla jsou ovlivněny řešením infrastruktury nebo provozu. Projekt vozidla musí tyto parametry a podmínky, při nichž má být má být po dobu své životnosti provozováno, zohlednit.

Závěrem lze shrnout nezbytný postup pro současné a budoucí projekty. Rozvoj železnice, spojený se vznikem nových řešení, vyžaduje systematickou analýzu aerodynamických efektů. Pro rozhodnutí o její realizaci existuje základní kritérium a provádí se dnes pro všechna vozidla s maximální rychlostí větší než 140 km/h nebo provozována na tratích s traťovou rychlostí větší než 140 km/h.

Je proto důležité zahájit změny v přístupu při projektování vozidel, aby sledoval i současný rozvoj železnice v České republice. To je samozřejmě možné jen v úzké spolupráci s projektanty infrastruktury, správcem infrastruktury a dopravci. Jedna z rolí projektantů vozidel je podpora této spolupráce aktivním přístupem, předkládáním kompromisních návrhů a vysvětlováním souvislostí ovlivňující konečné řešení vozidla.

Literatura

[1] Nařízení Komise (EU) č. 1302/2014 ze dne 18. listopadu 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému kolejová vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob železničního systému v Evropské unii (TSI LOC PAS). **[2] Evropská norma prEN 14067-4**: Railway applications - Aerodynamics - Part 4: Requirements and test procedures for aerodynamics on open track, 2022. **[3] Evropská norma EN 14067-5**: Railway applications - Aerodynamics - Part 5: Requirements and test procedures for aerodynamics in tunnels, 2023. **[4] Evropská norma EN 14067-6**: Railway applications - Aerodynamics -Part 6: Requirements and test procedures for cross wind assessment, 2022. **[5] Pracovní dokumenty VÚKV a.s.**: Komentáře k tématům aerodynamiky v souvislosti se zadáváním požadavků pro návrh vozidel a infrastruktury ve spolupráci s Ing. Jiřím Pohlem (Siemens Mobility, s.r.o.), 2023.

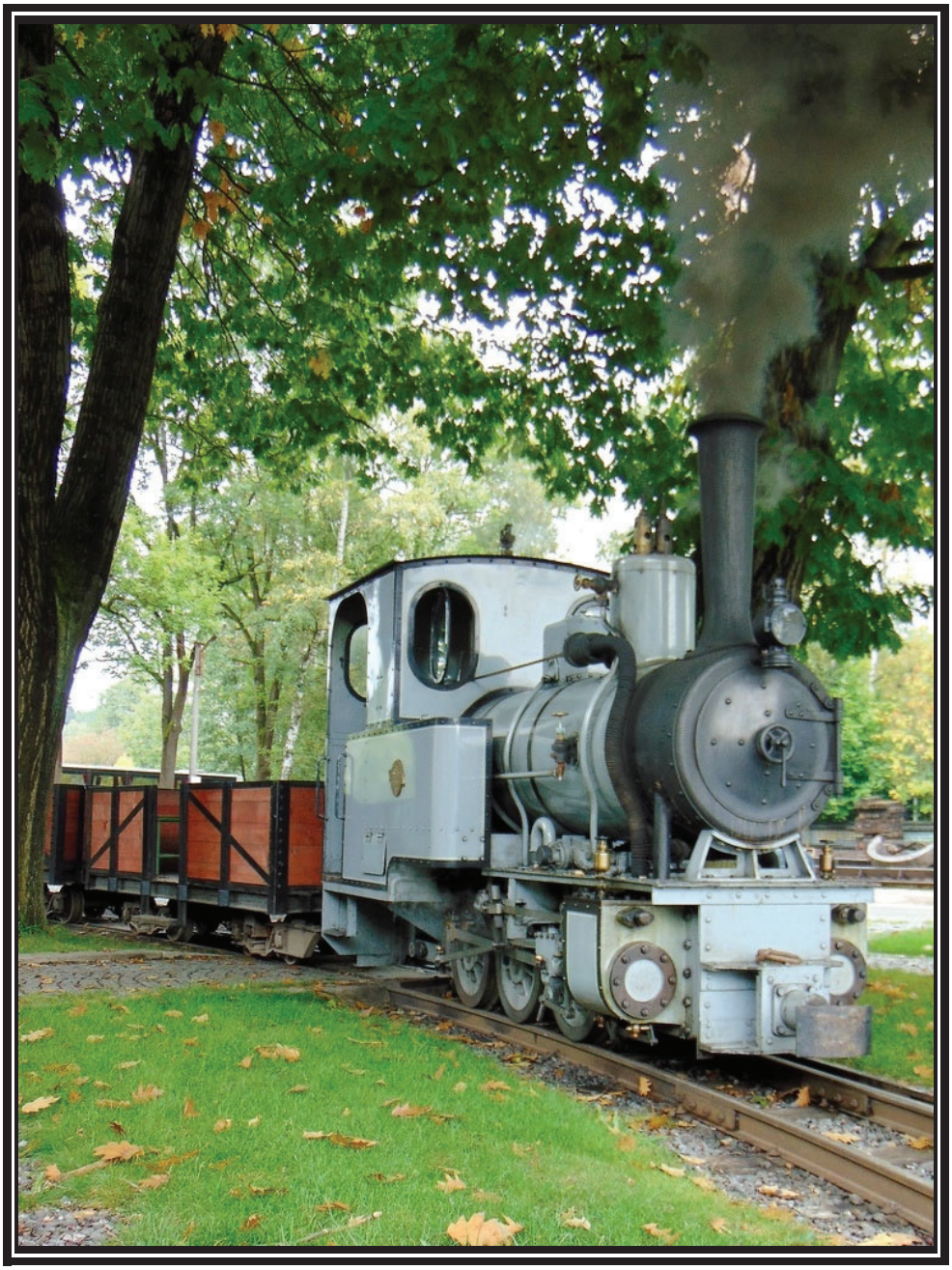
♠ ♠ ♠

Resumé

Příspěvek předkládá stručný komentář k současným požadavkům na železniční vozidla v oblasti aerodynamiky a jejich rozšiřování v důsledku rozvoje železniční sítě v České republice. Jsou uvedeny příklady, které ukazují vliv nových infrastrukturních staveb (tunely) nebo provozních podmínek (míjení s vozidly jedoucí vyšší rychlostí). Text uvádí tyto požadavky do souvislosti s návrhem vozidla a analyzuje jejich potenciální dopady do jeho budoucího provozu. Komentář se snaží upozornit na nezbytnou změnu v přístupu při projektování vozidla, kdy musí být zohledněny nejen jeho vlastní parametry ale i očekávané provozní podmínky a infrastruktura, na které má být provozováno po dobu své životnosti.

Summary

The article presents a brief comment regarding recent requirements on railway vehicles in the aerodynamics and their growth as a result of railway network development in the Czech Republic. There are provided examples that shows influence of new infrastructure (tunnels) or operational conditions (crossing with vehicles running at higher speeds). The text puts these requirements into the context of vehicle design and analyses their potential influence on its future operation. The comment draws attention to the important change in an approach during the vehicle projects when there shall be considered not only vehicle parameters but also expected operational conditions and infrastructure on that it will be operated during its life time.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.05

DIGITÁLNÍ AUTOMATICKÉ SPŘÁHLO JAKO PŘÍLEŽITOST KE GENERAČNÍ INOVAČNÍ PROMĚNĚ NÁKLADNÍCH VOZŮ

DIGITAL AUTOMATIC COUPLER AS AN OPPORTUNITY FOR GENERATIONAL INNOVATIVE TRANSFORMATION OF FREIGHT WAGONS

Tomáš MICHÁLEK, Jiří POHL, Zdeněk MALKOVSKÝ[*)]

1 MOTIVACE

Klimatické změny způsobené antropogenní produkcí oxidu uhličitého (CO_2) se staly realitou, která svými důsledky zhoršuje podmínky pro život lidstva na Zemi. Ve snaze zastavit růst koncentrace CO_2 v zemském obalu, a s ním spojený růst teploty ovzduší Země, se lidé ve všech světadílech snaží snížit spotřebu fosilních paliv a nahradit je obnovitelnými zdroji. Evropské země sdružené v EU postupují v tomto snažení společně. Doprava je významným spotřebitelem energie a kvůli dominantnímu používání spalovacích motorů k pohonu dopravních prostředků patří i k největším spotřebitelům fosilních paliv, a tím i producentům emisí CO_2. Navíc v dopravních prostředcích používané spalovací motory produkují kromě emisí CO_2 též emise zdraví škodlivých látek (oxidy dusíku, polyaromatické uhlovodíky, těkavé organické látky, jemné prachové částice, …), jež vážně poškozují lidské zdraví.

Zásadní energetickou a environmentální předností železnice je její nízká energetická náročnost ve vztahu k vykonané přepravní práci, fyzikálně objektivně daná nízkým odporem valení ocelových kol po ocelových kolejnicích a nízkým aerodynamickým odporem dlouhých štíhlých železničních vozidel, tvořících vlak, tedy pohybujících se v těsném zákrytu. Neméně významnou energetickou a environmentální předností železnice je i technicky vyřešené, mezinárodně standardizované (interoperabilní) a široce zavedené, vysoce výkonné, vysoce účinné a vysoce spolehlivé liniové elektrické napájení. Tato fakta předurčují železnici k efektivnímu zajišťování silných a pravidelných přeprav, zejména na dlouhé vzdálenosti, neboť je zvládne s nižší spotřebou energie, a to i při vyšších rychlostech jízdy než silniční automobilová doprava. Ta je vlivem vyššího odporu valení pneumatik po vozovce a vyššího aerodynamického odporu krátkých samostatně se pohybujících automobilů výrazně více energeticky náročná. Silniční automobilová doprava však má oproti

[*)] **Ing. Tomáš MICHÁLEK, Ph.D.,** Univerzita Pardubice, Dislokované pracoviště Dopravní fakulty Jana Pernera, Nádražní 547, 56002 ČESKÁ TŘEBOVÁ, Česká republika. Tel.: +420 466 037 415, e-mail: tomas.michalek@upce.cz. 38 let, odborný asistent, zabývá se zejména interakcí vozidlo–kolej, dynamikou kolejových vozidel a trakční mechanikou.

Ing. Jiří POHL, Siemens Mobility, s.r.o. Siemensova 1, 155 00 PRAHA 13, Česká republika. Tel.: +420 724 014 931, e-mail: jiri.pohl@siemens.com. 72 let, senior engineer, zabývá se zejména multimodální bezemisní udržitelnou mobilitou, energetikou a vzděláváním.

Ing. Zdeněk MALKOVSKÝ, Ph.D., VÚKV a.s. Bucharova 1314/8, 158 00 PRAHA 5 – Stodůlky, Česká republika. Tel.: +420 736 519 970, e-mail: malkovsky@vukv.cz. 68 let, generální ředitel, zabývá se zejména pevností a testováním kolejových vozidel.

železnici k dispozici výrazně delší a hustší síť dopravních cest, tedy dokáže zjistit plošnou obsluhu území.

Tato objektivně daná realita vede svými ekonomickými dopady k racionální kooperaci a komplementárnosti železniční a silniční dopravy v rámci multimodální mobility. V případě bezemisní udržitelné multimodální mobility přistupuje do vzájemných vztahů silniční a železniční dopravy i téma přenosu elektrické energie ze stacionárních zdrojů na jedoucí vozidlo. Epocha používání spalovacích motorů v dopravních prostředcích rychle končí. Není únosné používat k pohonu vozidel spalovací motory, vyžadující do EU importovaná fosilní ropná uhlovodíková paliva. Energii paliv spalovací motory využijí zhruba jen z jedné třetiny, a navíc neumí ani při spádovém, ani zastavovacím brzdění využít potenciální či kinetickou energii vozidel. Maří ji třecími brzdami přeměnou na teplo za současného vytváření zdraví škodlivých jemných prachových částí otěrem třecích materiálů mechanických brzd. Vlivem absence liniového elektrického napájení na silnicích jsou automobily při přechodu na bezemisní mobilitu odkázány na použití elektrochemických zásobníků energie. Ty jsou aktuálně reprezentovány zejména akumulátorovými bateriemi sestavenými z lithiových sekundárních článků. Technologie akumulátorových vozidel je při současném stavu techniky lithiových akumulátorů a střídavých frekvenčně řízených trakčních pohonů využitelná v celém rozsahu velikosti, resp. hmotnosti osobních i nákladních automobilů. Avšak má dva limity:

- limit rychlosti: z principu vysoký aerodynamický odpor automobilů (samostatně jedoucích krátkých vozidel) omezuje prakticky využitelnou rychlost elektrických automobilů na hodnotě jen něco málo přes 100 km/h, neboť dojezd vozidla napájeného ze zásobníku energie klesá vlivem rostoucího aerodynamického odporu, který je funkcí druhé mocniny rychlosti. V kontrastu s tím využívají železniční vozidla velmi efektivně díky svým dlouhým štíhlým tvarům a liniovému elektrickému napájení rychlost až třikrát vyšší;
- limit dojezdu: hmotnost zásobníku energie, která s rostoucím dojezdem snižuje užitkovost vozidel (poměr hmotnosti nákladu k vlastní hmotnosti vozidla), a s rostoucím dojezdem zvyšující se čas potřebný k nácestné regeneraci energie uložené v zásobníku s negativním dopadem na cestovní rychlost a produktivitu vozidla i řidiče, omezují praktickou využitelnost elektrických automobilů. V kontrastu s tím využívají železniční vozidla liniové elektrické napájení a potřebná délka dojezdu nemá žádný vliv na jejich parametry a produktivitu.

Tyto limity bezemisní automobilové dopravy výrazně zdůrazňují tradiční základní pravidla kooperativnosti a komplementárnosti udržitelné bezemisní multimodální mobility:

- v plošné obsluze území mají své významné pole působnosti elektrické osobní i nákladní automobily. Jde o technicky zvládnuté téma, denní proběhy nejsou dlouhé a pracovním režim poskytuje dostatek času na levné pomalé AC nabíjení v průběhu parkování. Ve městech a v jejich okolí je však pochopitelně prioritou městská i regionální veřejná hromadná doprava, zejména kolejová;
- v přepravě na větší vzdálenosti má logiku používat železnici. V osobní dopravě pro vyšší rychlost a pohodlí při nízké energetické náročnosti, v nákladní dopravě pro ekonomickou efektivnost. Při současném stavu techniky totiž vede snaha nahradit v oblasti těžkých dálkových nákladních automobilů spalovací motory bezemisním řešením k vysokým investičním i provozním nákladům. A to jak na straně vozidel, tak i na straně infrastrukturního energetického zázemí pro ně. Výzkumné úlohy s cílem vybavit dálkové nákladní automobily mohutnými zásobníky energie a zřídit pro ně vysoce výkonné napájecí body vedou k otázce, zda je smysluplné tato zařízení vyvíjet, když železnice zvládá dané úlohy s třikrát nižší spotřebou energie, bez mobilních zásobníků energie, s vyšší rychlostí jízdy a s nižšími nároky na počet provozního personálu (jeden strojvedoucí nákladního vlaku nahradí 50 řidičů nákladních automobilů).

2 BUDOUCÍ PODOBA NÁKLADNÍ DOPRAVY

Vize nepříliš vzdálené budoucnosti nákladní dopravy je principiálně jednoduchá:

- síť elektrizovaných železničních tratí propojující multimodální terminály železnice/silnice vybudované tak, aby s dojezdovou silniční vzdáleností do 50 km pokryly celou plochu území;
- multimodální terminály železnice/silnice budou energetickým zázemím (nabíjecím místem) pro elektrické automobily zajišťující i plošnou obsluhu území.

Vzdálenost 50 km (první, resp. poslední míle) není volena náhodně. První a poslední míle jsou nezanedbatelnou položkou multimodální (kombinované) nákladní dopravy a je velmi důležité je zajišťovat technicky i ekonomicky efektivně:

- umožnuje v průběhu osmihodinové pracovní doby řidiče nákladního automobilu zajistit dva rozvozy, resp. svozy zátěže, tedy efektivně využít pracovní dobu řidiče i investici do řidiči přiděleného automobilu;
- každodenní dojezd 200 km zvládají již současné elektrické nákladní automobily i bez nácestného rychlého nabíjení, které je časově náročné, drahé a nevhodné jak pro životnost akumulátorové baterie, tak i pro zatížení zdrojové i distribuční elektrizační soustavy. Denní proběh 200 km tak dobře splňuje jak reálně dosažitelný dojezd, tak i všechny tři limity současných elektrických nákladních automobilů (10 let, 800 000 km, 3 000 cyklů);
- zbylý čas dne (16 hodin) postačuje pro levné pomalé AC nabíjení nákladního automobilu pro dojezd 200 km ze standardní třífázové zásuvky 3×400 V / 63 A s využitím nabíjecího měniče, který je součástí automobilu. Tedy bez nutnosti investovat do budování stacionární nabíjecí stanice, postačuje náležitě výkonná třífázová elektrická síť 0,4 kV, resp. 22 kV.

Multimodální kombinovaná přeprava železnice/silnice představuje základní řešení bezemisní nákladní dopravy na větší vzdálenosti, udržitelné nejen environmentálně, ale též ekonomicky a sociálně. Stojí za pozornost, že v programovém sdělení Evropské komise Evropskému parlamentu a radě COM(2019) 640 „Green Deal“, jinak velmi obecném, je v kap. 2.1.5, věnované dopravě, uvedeno velmi konkrétně, že do r. 2050 je nutno převést ze silnice na železnici 75 % přepravních výkonů. Tento požadavek je logický, neboť v oblasti dálkové dopravy dosud nemá ryze automobilová doprava technicky a ekonomicky únosné bezemisní řešení. V multimodálním pojetí dopravy má pochopitelně bezemisní automobilová doprava velmi zásadní roli, a to zejména v plněné úlohy první a poslední míle. Převzetí významné části přepravních úloh nákladní silniční dopravy (dálkové jízdy) železnicí nemůže být násilným krokem, musí být pro uživatele dopravy přínosem. Je bytostně podmíněno náležitou kvalitou a spolehlivostí (zejména v oblasti cestovní rychlosti a dochvilnosti) i kvantitou železniční dopravy (náležitou kapacitou vlaků i tratí). Převedení 75 % přepravních výkonů ze silnice na železnici znamená zvýšení přepravních výkonů nákladní železniční dopravy zhruba na trojnásobek. Takové je společenské zadání pro železnici a železnice má 27 let (2023 až 2050) na to jej postupnými kroky zvládnout. V zásadě jde o tři dílčí úlohy:

- zvýšit výkonnost nákladní železniční dopravy na hlavních železničních tratích, na kterých je již v současnosti silná intenzita nákladní železniční dopravy, a na kterých je zpravidla též silná intenzita osobní železniční dopravy, tedy jsou dopravně velmi zatížené;
- zapojit do plnění úloh nákladní železniční dopravy také další železniční tratě, které jsou v současnosti z nějakých důvodů (například chybějící liniová elektrizace) nákladní dopravou málo využívány;
- zajistit vybudování náležitě husté sítě multimodálních terminálů železnice/silnice s cílem pokrýt jimi celé území (kritérium max. vzdálenosti 50 km).

Prvá úloha – tj. zvýšení výkonnosti nákladní železniční dopravy na hlavních tratích – je nejnáročnější, neboť nejen nákladní doprava, ale i dálková osobní železniční doprava a

regionální osobní železniční doprava mají zájem předmětné tratě stále více využívat. Je však řešitelná kombinací opatření na straně dráhy i vozidel. Na straně dráhy je přínosem:

- budování vysokorychlostních tratí, které odlehčí nejzatíženější konvenční tratě od rychlých vlaků dálkové dopravy s pevně určenými časovými polohami. Cílem je rychlostní segregace (rovnoběžný grafikon) na konvenčních i vysokorychlostních tratích s pozitivním dopadem na optimální využití kapacity dráhy;
- budovaní dalších traťových kolejí v téže trase či v souběžné (odklonové) trase, proměna tahově pojaté železnice na síťově fungující železnici;
- jízda vlaků v těsnějším sledu (ETCS s benefity – rozdělení prostorových oddílů délky přes 1 000 m na několik kratších);
- zvýšení výkonnosti pevných trakčních zařízení konverzí napájení drah ze 3 kV na výkonnější systém 25 kV (s preferencí spojitého dvoustranného napájení v systému jednotné fáze) s efektem zásadního zkrácení elektrických následných mezidobí, aby subsystém ENE nelimitoval intenzitu dopravního provozu;
- prodlužovaní předjízdných kolejí v železničních stanicích.

Ke zvýšení výkonnosti nákladní železniční dopravy na hlavních tratích jsou nutností též inovativní kroky na straně vozidel směřované k tomu, aby nákladní vlaky dokázaly i v souběhu s intenzivní osobní železniční dopravou zajistit náležitě velký dopravní tok. Jde o opatření cílená ke zvýšení normativu délky nákladních vlaků, ke zvýšení normativu hmotnosti nákladních vlaků a ke zvýšení rychlosti jízdy nákladních vlaků, aby mohly být nákladní vlaky provozovány v těsném sledu s vlaky osobní dopravy:

- důsledná aplikace vysoce výkonných elektrických lokomotiv s cílem standardně zvýšit měrný trakční výkon nákladních vlaků z tradiční hodnoty cca 1 kW/t na hodnotu kolem 3 kW/t. To je nutností jak k plnému využívání dovolené rychlosti jízdy těžkých nákladních vlaků i na úsecích se stoupáním, tak k náležitě dynamickému rozjedu těchto vlaků po jejich předjetí rychlejším vlakem osobní přepravy, aby rozjezdem způsobená časová ztráta byla minimální. Tradiční volba normativu zátěže pouze podle mezní využitelné tažné síly lokomotivy nezávisle na ustálené rychlosti jízdy, dovolující těžkým vlakům zvládat velká stoupání pomalu, je již minulostí. I nejtěžší vlaky musí jezdit do velkých stoupání rychle, aby nezdržovaly provoz a nesnižovaly kapacitu dráhy;
- nejen lokomotivy, ale i nákladní vozy musí být technicky řešeny pro jízdu nejvyšší dovolenou rychlostí i při plném ložení, a to při minimalizaci emitovaného akustického výkonu (hluku);
- spřahovací systém vozidel (tažné a narážecí ústrojí) musí být schopen přenášet vysoké tažné i tlačné síly a minimalizovat vznik příčných sil v obloucích, aby bylo možno dlouhé těžké vlaky bezpečně dopravovat na tratích s velkými sklony (do stoupání – téma přípřežních a postrkových lokomotiv, viz též [1], ale i po spádu – téma rekuperačního elektrodynamického brzdění);
- brzdový systém musí umožňovat bezpečné, přesné a časově nenáročné zastavení vlaku na požadovaném místě (viz též [2]), a to i při brzdění dlouhých těžkých (plně ložených) nákladních vlaků, a to i z nejvyšší dovolené rychlosti. Zároveň musí tepelně zvládat dlouhodobé spádové brzdění plně ložených vlaků na nejvyšších spádech, a to i při jízdě nejvyšší dovolenou rychlostí.

3 SOUČASNÝ STAV TECHNIKY NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ

Současné pojetí nákladních vozů výše uvedeným zásadám neodpovídá:

- tradiční tažné a narážecí ústrojí (tažný hák se šroubovkou a nárazníky) omezuje využitelné tažné i brzdné síly lokomotiv (resp. dvojic lokomotiv), a to jednak svojí pevností v režimu jízdy výkonem a jednak vyvozováním nežádoucích příčných sil při využití postrků a při elektrodynamickém brzdění;

- tradiční podvozky nákladních vozů nejsou řešeny z hlediska pevnosti, chodových vlastností, brzd ani hlučnosti pro jízdu vyššími rychlostmi (tzn. nad 100 až 120 km/h) při plném ložení odpovídajícím traťové třídě zatížení D (22,5 t na nápravu). Ani v oblasti poškozujících účinků jízdy vozidla na kolej nejsou běžné podvozky Y 25, koncepčně staré již více než 50 let, optimálním řešením;
- třecí špalíkové brzdy nejsou schopny tepelně zvládat brzdění těžkých vozů při vyšších rychlostech. Litinové brzdové špalíky zdrsňují jízdní plochu kol s negativním dopadem na hluk valení (zvýšení akustického výkonu na zhruba osminásobek (+ 9 dB) v porovnání s hlukem produkovaným valením nezdrsňovaných kol). To v souvislosti s kubickou závislostí hluku valení na rychlosti jízdy (+ 9 dB na oktávu) zásadním způsobem zhoršuje vliv železnice na okolní prostředí, což je v přímém rozporu s tendencí zvýšit rychlost jízdy nákladních vlaků. Snaha zabránit zdrsňování jízdní plochy kol náhradou litinových brzdových špalíků nekovovými se ukázala nevhodnou, neboť dochází k poškozovaní kol s důsledkem vzniku vysokých nákladů na údržbu a bezpečnostních rizik. Přechod na kotoučovou brzdu (po vzoru lokomotiv i osobních vozů) je tak i u nákladních vozů logickou nutností;
- pneumatické ovládání průběžné samočinné brzdy UIC se vyznačuje nízkou průraznou rychlostí – vozy v přední části vlaku dostávají pokyn k brzdění dříve než vozy v zadní části vlaku. Pro potlačení vzniku podélných rázů v soupravě je brzdovými rozvaděči vývin brzdné síly záměrně zpomalen, a to zejména u dlouhých nákladních vlaků (režim G). Pomalý vývin brzdných sil má kromě závažných bezpečnostních konsekvencí (i při rychločinném brzdění nastává v režimu G plný účinek brzd až za téměř půl minuty) i velmi nepříjemný důsledek na dobu potřebnou k zastavení vlaku na požadovaném místě. Tento problém se týká zejména procesu přibližování vlaku pod plným dohledem vlakového zabezpečovače ETCS ke konci oprávnění k jízdě (MA), které trvá velmi dlouho, neboť logika zabezpečení železniční dopravy pokládá uvolnění brzdy za nebezpečné, a proto počítá s časovou rezervou na opětovný vývin brzdového účinku (blíže viz též [2]). Výsledkem je buď velmi dlouhá doba uvolňování zadního zhlaví železniční stanice, ve které má být nákladní vlak předjížděn, nebo tolerování nepřesného zastavení vlaku s důsledkem značného rozdílu mezi disponibilní délkou staniční koleje a prakticky použitelnou délkou vlaku. Obě možnosti jsou neefektivní, vedou ke snížení kapacity dráhy. Řešením je náhrada pneumaticky řízené průběžné samočinné brzdy elektricky řízenou průběžnou samočinnou brzdou. Ta se již v oboru osobní železniční dopravy stala realitou u trakčních jednotek v podobě elektropneumatické přímočinné průběžné brzdy s elektrickou samočinností, která je dnes standardem v celé šíři oboru (od vlaků metra přes regionální až po vysokorychlostní trakční jednotky). Nyní se jeví rozumné nahradit pneumatické řízení průběžné samočinné brzdy elektrickým i v železniční nákladní dopravě.

4 MYŠLENKY NA ZAVEDENÍ CENTRÁLNÍHO SPŘÁHLA V EVROPĚ

Politické rozdělení Evropy ve druhé polovině minulého století vedlo k tomu, že na rozdíl od ostatních světadílů dosud nebylo na evropských železnicích zavedeno automatické centrální spřáhlo. Železniční společnosti v západní části Evropy směřovaly k zvední tuhého (vertikálně neposuvného) spřáhla spojujícího i pneumatické a elektrické obvody, avšak železniční společnosti ve východní části Evropy dostaly pokyn kompatibility se spřáhlem SA-3, zavedeným v Sovětském svazu, které je netuhé (vertikálně posuvné), tedy z principu nemůže spojovat pneumatické či elektrické obvody. Výsledkem byl neúspěch iniciativy k zavedení jednotného evropského automatického centrálního spřáhla a setrvání na standardu UIC (tažný hák se šroubovkou a nárazníky). Avšak technický pokrok se

nezastavil – v oblasti ucelených trakčních jednotek došlo ke spontánnímu zavedení jak čelních automatických spřáhel, tak i vnitřních semipermanentních spřáhel, neboť je to pro provoz výhodné. Výsledkem je v zásadě nekonfliktní koexistence tří spřahovacích standardů.

Přibližně po půl století se evropské železnice opět vrací k tématu zavedení jednotného evropského automatického centrálního spřáhla, konkrétně v podobě vývoje tzv. digitálního automatického spřáhla (**digital automatic coupler – DAC**); viz též např. [3, 4]. Je zřejmé, že bezpečnost a kultura práce při manipulaci s vozy jednoznačně vedou k potřebě opustit současný spřahovací standard UIC. Manuální spojování vozidel pomocí šroubovky totiž představuje časově a fyzicky náročnou činnost, přičemž se jako významný faktor s potenciálem ohrozit další rozvoj nákladní železniční dopravy do budoucna jeví nedostatek pracovníků ochotných zastávat příslušné profese (zejména posunovači). Aktuálně je vývoj DAC realizován v rámci výzkumných projektů zastřešených iniciativou Europe's Rail Joint Undertaking (ERJU, nástupce Shift2Rail) a existuje několik konstrukčních řešení samotného spřáhla, jež jsou podrobovány zkouškám v různých evropských zemích. Ve všech případech jde pochopitelně o spřáhlo tuhé, zajišťující nejen mechanické spojení vozidel, ale také propojení pneumatických a elektrických obvodů včetně datové sběrnice (proto přívlastek digitální); koncepčně DAC vychází ze spřáhla Scharfenberg.

Aplikace jednotného evropského automatického centrálního spřáhla je u nově vyráběných vozů v principu nekonfliktní. Podstatně složitějším tématem je však aplikace DAC na již provozovaných vozidlech (přičemž nejde jen o samotné nákladní vozy, ale i o lokomotivy zajišťující jejich vozbu). Jejich předělání by bylo technicky, finančně i časově velmi náročné, nehledě na administrativní náročnost (schvalování příslušných změn v aktuálním legislativním rámci EU). Přitom stojí za povšimnutí, že z dosavadních výstupů projektu EDDP (European DAC Delivery Programme) vyplývá, že cíle v zavádění DAC jsou velmi ambiciózní – technické specifikace DAC by měly být finalizovány v roce 2025 a zvažovány jsou různé migrační scénáře s realizací již koncem 20. let, přičemž bylo v různé míře zvažováno využití scénáře tzv. velkého třesku („big bang"), tedy rychlého hromadného přestrojování stávajícího vozidlového parku nákladní železniční dopravy na DAC. Jednorázová celoplošná výměna spřáhel představuje mimořádně technicky, finančně, personálně, technologicky, logisticky i organizačně náročnou akci. Avšak i při vytvoření velkých (a po skončení akce nepotřebných) výrobních a montážních kapacit bude výměna spřáhel trvat relativně dlouhou dobu, po kterou nastane období koexistence dvou různých spřahovacích standardů.

5 DAC JAKO IMPULS KE GENERAČNĚ NOVÉMU POJETÍ NÁKLADNÍCH VOZŮ

Logika technického i ekonomického myšlení však vede k jinému řešení – na prahu požadovaného zvyšování výkonnosti nákladní železniční dopravy na trojnásobek nemá logiku komplikovat zavádění DAC snahou o kompatibilitu s nynějším parkem nákladních vozů, ale naopak pojmout DAC jako organickou součást generačně nového pojetí nákladních vozů, přizpůsobených požadavkům nikoliv minulé, ale budoucí nákladní železniční dopravy. Tedy umožňujících vyšší rychlost jízdy, vyšší ložení vozů, větší délku a hmotnost vlaků, jejich plynulou jízdu pod dohledem ETCS a bezproblémovou dopravu větším počtem lokomotiv přes sklonově náročné úseky – ve výsledku nákladově efektivnější a personálně méně náročnou rychlou a výkonnou železniční nákladní dopravu. Bylo by chybou vnímat historickou příležitost, jakou představuje přechod od šroubovky k DAC, jako pouhou náhradu mechanického rozhraní mezi vozidly, jako jediný cíl. Železnice je systém, a proto je nutné vnímat širší souvislosti a snažit se maximálně využít všech přínosů, které lze zavedením DAC docílit. Charakteristickými prvky nové generace nákladních vozů proto musí být:

- nové podvozky umožňují tichou jízdu s plným zatížením vyššími rychlostmi;

- kotoučová třecí brzda;
- elektrické řízení průběžné samočinné brzdy;
- digitální centrální automatické, resp. semipermanentní spřáhlo.

Tento přístup využívá zkušenost z osobní železniční dopravy, že dlouhodobá koexistence nikoliv jen dvou spřahovacích standardů (UIC a DAC), která na nezanedbatelně dlouhou dobu nastane v nákladní dopravě i v případě velkého třesku, ale i tří spřahovacích standardů (UIC, DAC a DSC) nečiní v provozu zásadní potíže. **Náhrada snahy o mezigenerační kompatibilitu současných a budoucích nákladních vozů záměrnou mezigenerační nekompatibilitu současných a budoucích nákladních vozů** ovšem přináší (kromě komplikací způsobených nejednotností) významné benefity:

- úspora nákladů spojených s velkým třeskem, náhrada jednorázové velké investice (s vkladem vnějšího kapitálu) kontinuální prostou reprodukcí;
- eliminace investic spojených s náročnou úpravou spodku zánovních nákladních vozů (TSI WAG již od svého prvního vydání v roce 2006 nepožaduje u nákladních vozů přípravu pro montáž centrálního spřáhla);
- eliminace investic spojených s instalací DAC do starších vozů s krátkou zbývající dobou technického života;
- soustředění kapacit disponibilního počtu tvůrčích techniků na budoucnost železnice, nikoliv na minulost železnice;
- výrazné snížení investičních nákladů zavedením nejen digitálního automatického spřáhla (DAC), ale i digitálního semipermanentního spřáhla (DSC);
- zachování volného tržního rozhodování o výběru jednoho ze tří spřahováních standardů, a tím i funkcionalit vozů;
- optimální technické řešení nové generace nákladních vozů, nesvázaných kompatibilitou s technickým řešením vozů z minulého století (se spřahovacím systémem UIC a s brzdovým systémem UIC), které by je limitovaly.

V mnoha z výše uvedených bodů je zřejmá analogie s přípravou na provoz vlaků pod dohledem ETCS. Zkušenosti dopravců jednoznačně ukazují, že spojení přechodu na ETCS s generační obnovou parku vozidel za nová vozidla, u kterých je ETCS jejich organickou součástí, je ekonomicky mnohem efektivnější než prodlužování technického života přestárlých vozidel dodatečnou instalací ETCS.

Zkušenost s vybavováním vozidel palubními jednotkami ETCS též jednoznačně velí nejít ani u DAC cestou počáteční instalace zařízení nižší úrovně s předpokladem budoucího upgrade na vyšší úroveň, ale zavádět rovnou nejvyšší úroveň DAC (včetně elektropneumatické brzdy přímočinného typu s elektrickou samočinností).

5.1 Digitální centrální automatické, resp. semipermanentní spřáhlo

Mezi potenciálními přínosy zavedení DAC, které kromě mechanického spojení vozidel zajistí i propojení jejich pneumatických a elektrických obvodů, bývá kromě minimalizace nebezpečné lidské práce v náročných, fyzicky namáhavých, rizikových a odpovědných (a tudíž i neatraktivních a nedostatkových) profesích uváděno také:

- zkrácení zdlouhavých procedur před odjezdem vlaku a jejich automatizace (automatická zkouška brzdy, alespoň částečná náhrada výchozí technické prohlídky vlaku průběžných monitoringem technického stavu jednotlivých relevantních komponent);
- zajišťování průběžné kontroly celistvosti vlaku jakožto nutné podmínky zavedení provozu ve třetí aplikační úrovni ETCS.

Mezi časté výhrady vůči DAC často patří cena a komplikovanost řešení tohoto mezivozidlového rozhraní v porovnání s dnešním standardem UIC. V této souvislosti však stojí za zvážení, zda má smysl – zejména v aplikaci na ucelené nákladní vlaky – vybavovat DAC všechny vozy soupravě. Ostatně i dnes jsou provozovány skupiny vozů, vzájemně

spolu spojených semipermanentním spřáhlem, které je díky své konstrukční jednoduchosti (pružně uložená tažně-tlačná tyč/trubka) výrazně levnější. I v oblasti trakčních i netrakčních jednotek dálkové i regionální osobní železniční dopravy jde o běžný standard – s tím rozdílem, že v případě nákladních vozů je semipermanentní spřáhlo v případě potřeby podstatně lépe přístupné a rozpojitelné než u osobních vozů (není potřeba zároveň pracně demontovat mezivozový přechod). Je proto tématem posouzení konkrétního provozního určení, zda a jakým způsobem je možné ucelenou soupravu nákladního vlaku rozdělit na skupiny vozů, jejichž vnější čela budou opatřena DAC, ale v rámci těchto skupin budou jednotlivé skupiny spojeny digitálním semipermanentním spřáhlem (**digital semipermanent coupler – DSC**).

Primární úlohou spřahovacího ústrojí je však přenos podélných (tažných a tlačných) sil mezi vozidly řazenými ve vlaku. Konstrukční provedení mechanického spojení vozidel přitom přímo souvisí s pevností spřáhla, tj. s maximálním dovoleným tahovým zatížením, které může být spřáhlem bezpečně a spolehlivě přenášeno. Nevýhodou šroubovky je její poměrně nízká pevnost (u standardního provedení 850 kN, viz též [1]), jež vyplývá z omezení její maximální přípustné hmotnosti (36 kg), která je dána potřebou ruční manipulace se šroubovkou při svěšování a odvěšování vozidel. Jedním z potenciálních přínosů zavedení DAC je tak právě zvýšení pevnosti spřáhla s příznivým dopadem na normativy hmotnosti vlaků, resp. na možnost efektivního využití většího počtu hnacích vozidel k dopravě vlaku. Toto téma se přitom netýká pouze možnosti efektivního využití přípřežních lokomotiv při jízdě výkonem, ale i efektivity využití elektrodynamického rekuperačního brzdění těchto lokomotiv a využití postrků k dopravě těžkých vlaků. Přesunutím působiště tlačných sil (vznikajících v soupravě vlaku právě při elektrodynamickém brzdění hnacími vozidly v čele vlaku a při dopravě vlaku postrkovými hnacími vozidly) z postranních nárazníků do osy vozidel se totiž eliminují příčné síly vznikající na náraznících při vzájemném příčném pohybu spojených vozidel, resp. v obloucích, které negativně ovlivňují jak bezpečnost vozidla proti vykolejení, tak úroveň poškozujících účinků jízdy vozidel na kolej.

Aby v provozu nedocházelo k nadměrnému namáhání, popř. poškozování rámů vozidel, musí být prvky spřahovacího ústrojí vůči rámu vypruženy. Toto (podélné) vypružení přitom musí být jednak schopno akumulovat energii (typicky při nárazech, ke kterým dochází při posunu) a jednak schopno akumulovanou energii z velké části absorbovat, aby nedocházelo k jejímu nadměrnému uvolňování do soupravy s negativním dopadem na podélnou dynamiku vlaku. Za povšimnutí přitom stojí fakt, že návrh vypružení spřahovacího ústrojí je z hlediska optimalizace parametrů vždy kompromisem (viz též [5]):

- z hlediska odolnosti proti nárazům při posunu je žádoucí nízké předpětí vypružení, jeho silně progresivní charakteristika a dlouhý zdvih;
- z hlediska minimalizace projevů podélné dynamiky – tj. vzniku vysokých hodnot podélných sil v soupravách (viz též např. [6]) – je naopak žádoucí vysoké předpětí vypružení, jeho degresivní až lineární charakteristika a krátký zdvih.

I návrh vypružení DAC tudíž musí respektovat tyto požadavky. Aby bylo možné optimalizovat vypružení na jeden z uvedených režimů – patrně tedy na odolnost proti nárazům při posunu, jejichž výskyt nelze v provozních podmínkách zcela eliminovat –, je nutné druhý provozní režim ošetřit jiným způsobem. Takový potenciál v sobě skrývá elektricky řízená samočinná brzda, k jejíž současné implementaci proces zavádění DAC přímo vybízí.

5.2 Elektricky řízená přímočinná brzda s elektrickou samočinností

Základní parametry samočinné pneumatické brzdy UIC jsou kodifikovány ve vyhlášce UIC 540, jejíž první vydání pochází z roku 1954. Samotný princip této pneumaticky řízené brzdy je však výrazně starší, jde o vynález George Westinghouse z roku 1869. I přes spolehlivost, robustnost a interoperabilitu tohoto řešení jde dnes o limitující prvek dalšího

rozvoje nákladní železniční dopravy, neboť v důsledku poměrně nízké (průrazné) rychlosti šíření povelu k brzdění podél soupravy musí být funkcí rozvaděčů omezena rychlost vzniku brzdného účinku jednotlivých vozů, aby nedocházelo k nadměrným rázům v soupravě. To má za následek:

- bezpečnostní rizika, kdy doba náběhu brzdy – zejména v režimu G – významně prodlužuje zábrzdnou dráhu vlaku;
- omezené možnosti kontroly brzdění vlaku, a tedy i problematické přibližování čela vlaku ke konci oprávnění k jízdě (MA) při jízdě pod plným dohledem vlakového zabezpečovače ETCS (viz [2]).

Problém s pomalým nástupem brzdného účinku je v současnosti u ucelených jednotek osobní dopravy běžně řešen elektropneumatickou přímočinnou průběžnou brzdou s elektrickou samočinností. DAC/DSC díky propojení pneumatických a elektrických obvodů vozidel nabízí jedinečnou příležitost k **zavedení elektricky řízené brzdy přímočinného typu s elektrickou samočinností i v nákladní dopravě**. Zavedení tohoto řešení má v sobě potenciál jak v oblasti zvyšování rychlosti jízdy (bez nadměrného prodlužování zábrzdných drah v důsledku pomalého náběhu brzdného účinku), tak v oblasti přesnosti a časové nenáročnosti zastavování vlaku (s pozitivním dopadem na využití kapacity dráhy i v podmínkách provozu pod plným dohledem ETCS). Eliminace doby prodlevy brzdy, způsobené pomalým šířením změny tlaku v hlavním potrubí při použití pneumatického ovládání brzdy, pak vede k tomu, že jednotlivá vozidla ve vlaku začínají brzdit prakticky ve stejný okamžik. To spolu s rovnoměrným rozložením brzdného účinku ve vlaku (dnes již běžné používání automatické regulace brzdného účinku nákladních vozů podle ložení) přispívá k minimalizaci projevů podélné dynamiky soupravy. Konečným důsledkem je tak i možnost optimalizace charakteristik vypružení DAC/DSC pro potřeby odolnosti vůči nárazům (viz kap. 5.1). Nutnou podmínkou zavedení jak výše zmíněné elektricky řízené brzdy, tak i optimalizace vypružení spřáhel je však opět nekompatibilita s vozidly dnešního standardu (vybavených spřahovacím systémem UIC a brzdovým systémem UIC).

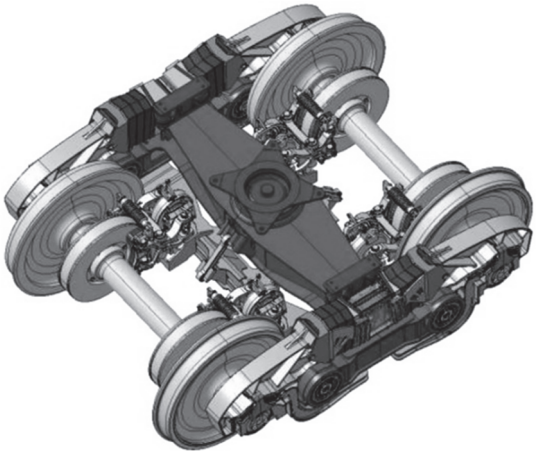
5.3 Kotoučová třecí brzda

Umožňuje-li elektrické řízení brzdového systému v důsledku minimalizace doby náběhu brzdy zvýšení rychlosti jízdy nákladních vlaků, musí toto umožňovat i mechanická část brzdy. Jak je uvedeno výše, tak v rámci snižování hlučnosti železniční dopravy začaly být v minulých letech nákladní vozy ve velké míře vybavovány nekovovými brzdovými špalíky. Provozní zkušenosti však ukazují, že v důsledku nevhodných termických charakteristik těchto materiálů dochází ve zvýšené míře k poškozování kol, které jednak mohou vést k ohrožení bezpečnosti provozu a jednak představují nezanedbatelné zvýšení provozních nákladů. Evidovány jsou dokonce případy vzplanutí nekovových brzdových špalíků (viz též ***obr. 1***). Vysoká koncentrace tepelného výkonu a špatný odvod tepla, které jsou pro špalíkové brzdy typické, omezují možný brzdný výkon, tedy součin brzdné síly a rychlosti, což omezuje rychlost jízdy těžkých vozů.

Řešením těchto problémů je zavedení kotoučové brzdy, dnes standardního řešení (tiché) mechanické části třecí brzdy u vozidel osobní dopravy. Mají-li být nákladní vlaky provozovány vyšší rychlostí i při vyšším nápravovém zatížení, je pak zavedení kotoučové brzdy nutností, protože maření vyšší kinetické energie (rostoucí s první mocninou hmotnosti vozidla a s kvadrátem rychlosti jízdy) špalíkové brzdy by znamenalo mnohem intenzivnější termomechanické zatížení jak samotných brzdových špalíků, tak i kol s předpokladem nárůstu intenzity jejich poškozování v důsledku brzdění.



Obr. 1 *Vzplanutí LL špalíků na voze*
Fig. 1 *Burning of LL brake blocks*



Obr. 2 *Projekt nového nákladního podvozku VÚKV*
Fig. 2 *Project of a new freight bogie VÚKV*

5.4 Nová generace nákladních podvozků

V současné době je na evropském kontinentu nejrozšířenějším typem nákladního podvozku podvozek Y 25 v různém provedení. Tento dvounápravový podvozek byl přijat Mezinárodní železniční unií (UIC) na přelomu 60. a 70. let 20. století jako standardní podvozek pro nákladní železniční vozy. Stalo se tak po dlouhodobých výzkumech a jeho parametry byly poté stanoveny vyhláškou UIC 510-1. Tato více jak padesátiletá koncepce podvozku se postupně přizpůsobovala různým typům brzdy a existují i varianty pro nápravové zatížení 25 t. Všechny typy mají vždy stejný princip primárního vypružení s dvojitými pružinami a třecím tlumičem Lenoir. Podvozky rodiny Y 25 mají ze současného hlediska některé parametry, které již prakticky nelze zlepšit. Jedná se především o úroveň hluku a účinky na trať. I z tohoto důvodu vznikly projekty, které měly za cíl tyto slabé stránky podvozku Y 25 eliminovat. Lze jmenovat zejména tyto podvozky s nižšími poškozujícími účinky na trať (používá se označení „track-friendly“): TF 25, Leila a RC25NT. Komerčně úspěšný je ve Velké Británii podvozek typu TF 25. Je to dáno tím, že se ve Velké Británii (podobně jako třeba ve Švýcarsku) důsledně zohledňuje vliv jízdy vozidla na dopravní cestu v ceně za její použití (viz např. [7]). U podvozku Leila byla sice výrazně snížena jeho hlučnost, ale v době svého vzniku byl technicky velmi komplikovaný. I když podvozek RC25NT se používá u některých nových konstrukcí nákladních vozů, četnost jeho použití není velká. Základní slabinou uvedených podvozků je jejich cena v porovnání s podvozkem typu Y 25. I u nejmladšího z těchto podvozků začal jeho vývoj před více jak deseti lety. I proto je nutné pro novou generaci nákladních vozů vybavených novými technologiemi mít k dispozici nový podvozek, který splní následující kritéria:

- snížení účinků na trať;
- snížení úrovně hluku;
- cena blízká podvozku typu Y 25;
- rozhraní mezi podvozkem a skříní shodné jako u podvozku rodiny Y 25;
- možnost flexibilní adaptace na nové technologie nákladních vozů.

V letech 2011 až 2019 probíhal ve VÚKV v rámci programu Centrum kompetence drážních vozidel Technologické agentury ČR projekt, jehož cílem byla identifikace požadavků na nový podvozek pro nákladní vozy a rozpracování jeho základních parametrů

(viz [8]). Na tento projekt od roku 2023 navazuje v rámci řešení výzkumného programu Národní centrum kompetence inženýrství pozemních vozidel Josefa Božka vývoj funkčního vzorku tohoto podvozku. Vývoj probíhá ve spolupráci VÚKV a firmy Tatravagónka a.s., Poprad (viz též [9]). Jedna z možných variant nového nákladního podvozku je zobrazena na ***obr. 2***.

6 ZÁVĚR

Na základě zkušeností z osobní železniční dopravy, kde již několik desetiletí spolu koexistují vozidla vně opatřená automatickým spřáhlem a vozidla s tradičním tažným a narážecím ústrojím UIC, lze předpokládat, že náklady spojené s dlouhodobou koexistencí dvou spřahovacích standardů budou i v nákladní železniční dopravě nižší než náklady spojené s výměnou spřáhel na starších vozech. Avšak dosažený efekt – tj. zavedení nové generace vysoce produktivních nákladních vozů s elektrickým řízením průběžné samočinné kotoučové brzdy – posune nákladní železniční dopravu na výrazně vyšší úroveň, potřebnou pro splnění úkolů, které jsou na ni kladeny. Při vhodně zvoleném přístupu k zavádění DAC tak má právě tento inovační krok potenciál být impulsem, který povede ke vzniku zcela nové generace vozidel. Nákladní vlaky nové generace by tak v provozu mohly být dopravovány vysoce výkonnými lokomotivami bez omezení, která jsou dnes uplatňována v souvislosti s dovoleným namáháním šroubovky (například v ČR je stále uplatňován limit 350 kN) či omezením brzdných sil elektrodynamické rekuperační brzdy, využívat rychlosti i vyšší než 120 km/h, a to i v loženém stavu, zcela eliminovat aktuální závažné problémy s nekovovými brzdovými špalíky (resp. s jejich účinkem na kola) i s dojížděním vlaků pod plným dohledem ETCS ke konci oprávnění k jízdě) a zároveň být při použití koncepčně nových podvozků s nízkými účinky na trať i šetrnější k infrastruktuře.

Výše uvedené myšlenky jsou v dobrém souladu s oficiální pozicí České republiky k DAC, vyjádřené v pozičním dokumentu Ministerstva dopravy ČR ze dne 3. listopadu 2022 [10]. Ponechání zavádění DAC v režimu dobrovolnosti, resp. připuštění dlouhodobější koexistence dvou spřahovacích standardů v nákladní dopravě by zároveň minimalizovalo nároky celého přechodu na dotační prostředky. Pro dopravce by přitom měla být dostatečnou motivací k zavedení nové generace vozů jejich výrazně vyšší užitná hodnota vyplývající z výše popsaných nepřímých benefitů zavedení nové (vývojově dokončené a řádně odzkoušené) technologie DAC. Zavedení skupin vozů spojených namísto DAC technologií DSC a zohlednění nižší úrovně poškozujících účinků jízdy vozů vybavených novými „track-friendly“ podvozky na kolej ve výši poplatků za použití dopravní cesty pak může dokonce představovat – společně s nižší personální náročností provozu nové generace vozidel – nezanedbatelnou úsporu z hlediska pořizovacích i provozních nákladů.

Literatura

[1] Pohl, J., Michálek, T..: Provoz nákladních vlaků délky 740 m, díl I. In: *Vědeckotechnický sborník ČD*, 2018, 46, ISSN 1214-9047. **[2] Michálek, T., Pohl, J.**.: Provoz nákladních vlaků délky 740 m, díl II. In: *Vědeckotechnický sborník Správy železnic*, 2022, 6, s. 134–162, ISSN 2694-9172. **[3] Soukup, L.**.: Digitální automatické spřáhlo pro evropskou železnici. In: *Vědeckotechnický sborník Správy železnic*, 2021, 5, s. 3–18, ISSN 2694-9172. **[4] Deuschle, W.-D.**: *Automatisierung im Schienengüterverkehr der Schweiz, beginnend mit der Migration zur digitalen automatischen Kupplung*. Konzeptbericht Nr. BAV-334-5/2/2/5/7. Bern: BAV, 24.10.2022. **[5] Schischkoff, M., Jobstfinke, D., Discher, S., Colao, C., Rauer, J. J., Hecht, M.**: *Untersuchung der dynamischen Parameter der DAK – Systembetrachtung unter Berücksichtigung der ep-Bremse*. Bericht Nr. 26/2020. Berlin: TU Berlin, 10.09. 2020. **[6] Jaroš, P., Michálek, T.**: K problematice podélné dynamiky souprav nákladních vlaků. In: *XXIV. medzinár. konferencia Súčasné problémy v koľajových vozidlách – PRORAIL 2019, Zborník prednášok, Diel I*, 259–266, ISBN 978-80-89276-58-5. **[7]**

Michálek, T., Zelenka, J.: K problematice silových účinků vozidla na kolej ve vztahu k placení poplatků za použití dopravní cesty. In: *Nová železniční technika*, 2016, 5, s. 12–20, ISSN 1210 -3942. **[8] Bauer, P., Čapek, J., Fridrichovský, T., Krulich, P., Malkovský, Z., Musil, J., Získal, T.**: Bogie for freight wagon. In: *Proceedings of the 11th Int. Conf. on Railway Bogies and Running Gears* – BOGIE ´19, 87–93, ISBN 978-963-9058-42-2. **[9] Malkovský, Z., Michálek, T., Pohl, J.**: Digitale automatische Kupplung als Gelegenheit für die grundlegenden Innovationen im Eisenbahngüterverkehr. In: *19. Internationale Schienenfahrzeugtagung Rad-Schiene 2023, Tagungsband*, 220–222, ISBN 978-3-96892-175-4. **[10] Ministerstvo dopravy ČR**: *Pozice MD k DAC – Digital Automatic Coupler*. 03.11.2022 [on-line]. Dostupné z: https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Evropska-unie-na-zeleznici/Pozice-MD-k-DAC-Digital-Automatic-Coupler [cit. 2023-06-09].

♠ ♠ ♠

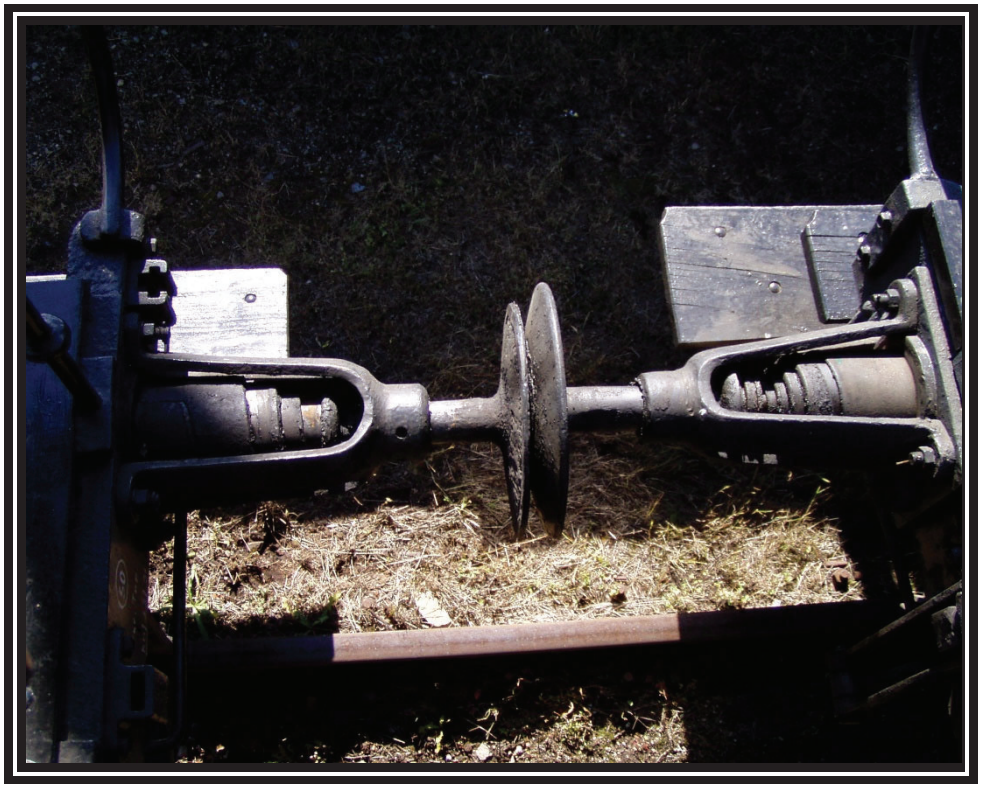
Resumé

Rozvoj nákladní železniční dopravy, který je z hlediska plnění environmentálních cílů EU do budoucna nutností, vyžaduje rychlou jízdu těžkých nákladních vlaků na dopravně silně zatížených tratích, a to v těsném sledu s rychlými vlaky osobní dopravy. Současné nákladní vozy k tomu nejsou přizpůsobeny: tažné a narážecí ústrojí nebylo vyvinuto s ohledem na předpokládané vysoké tažné síly a vysoké brzdné síly rekuperační elektrodynamické brzdy, kola zdrsněná litinovými špalíky generují intenzivní hluk a náhrada nekovovými špalíky vede k řadě problémů, brzdění špalíkovou brzdou neumožňuje z tepelných důvodů zvyšovat rychlost jízdy vlaků při plném ložení vozů, pomalé působení pneumatické brzdy neúnosně prodlužuje brzdné dráhy a zejména při jízdě pod dohledem ETCS výrazně prodlužuje dobu brzdění s negativním dopadem na kapacitu dráhy. Ukazuje se proto velmi vhodné využít připravovaný přechod nákladních vozů v Evropě z tradičního spřahovacího standardu UIC na digitální automatické spřáhlo (DAC) ke generační inovační proměně nákladních vozů: tedy vybavit vozy nejen digitálním automatickým spřáhlem či digitálním semipermanentním spřáhlem (DSC), ale také novými podvozky s menšími účinky na kolej, umožňujícími vyšší rychlost jízdy i při plném ložení, a kotoučovou elektricky ovládanou brzdou přímočinného typu, umožňující přesné zastavování vlaku. Nové technické řešení nákladních vozů však zároveň nesmí vést ke snížení konkurenceschopnosti nákladní železniční dopravy. Nemá proto smysl zabývat se myšlenkou přestrojování desítky let starých vozů (a lokomotiv) na DAC; jako mnohem účelnější se jeví investovat úsilí do maximálního využití potenciálu, který v sobě zavedení DAC/DSC skrývá.

Summary

A growth of the rail freight transport, which is necessary to meet the environmental EU targets in the future, needs a fast run of heavy freight trains on the traffic loaded railway lines in a close sequence with the fast passenger trains. The current freight wagons are not conformed with this requirement: the draw and buffing gear was not developed with respect to the expected high level of traction forces as well as brake forces of regenerative electrodynamic brake, the wheels – roughened by the cast-iron brake blocks – generate an intensive level of noise and the application of non-metallic brake blocks leads to many problems; thermal effects of the block brakes do not allow higher speeds of freight wagons in the loaded state; a slow propagation of pneumatic brake effect elongates braking distances and – especially under the full supervision of the ETCS – it significantly lengthens the braking time with a negative influence on the track capacity. Therefore, it seems to be highly desirable to use the planned transition from the traditional UIC coupling standard to the digital automatic coupler (DAC) for a generational innovative transformation of the freight wagons – i.e. to equip the wagons not only with the digital automatic coupler or digital semi-

permanent coupler (DSC), but also with new track friendly bogies (allowing higher speeds in he loaded state) and electrically controlled, directly actuated disc brake (allowing more precise stopping of the trains). However, the new technical solution of the freight wagons cannot lead to a decrease of the rail freight competitiveness. Therefore, it does not make sense to deal with the idea of refurbishment of tens of years old wagons (and locomotives) to install the DAC – it seems to be very useful to invest the effort the maximum utilization of the potential of the DAC/DSC introduction.





26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.06

UVOĽNENIE A NÁVRAT DO PREVÁDZKY Z POHĽADU DRŽITEĽA RTIW

RETURN TO SERVICE AND OPERATION FROM THE RTIW KEEPER PERSPECTIVE

Miroslav MIŠÚN. Katarína MAGDECHOVÁ[*)]

1 ÚVOD

Spoločnosť RTI Wagon, s.r.o. vlastní viac ako 2300 železničných nákladných vozňov. Vozne sú udržiavané podľa údržbárskeho predpisu VPI. Pre tieto vozne je aj ECM. Z dôvodu nepravidelností v prevádzke, dochádza na týchto vozňoch, k poškodeniam a poruchám, ktoré je nutné opraviť mimo plánovanej údržby. Uvedené opravy prebiehajú v súlade s údržbárskym predpisom VPI a vykonávacím nariadením Komisie (EÚ) 2019/779. Dôležitou súčasťou procesu opravy vozňov je uvoľnenie do prevádzky tzv. RTS (z anglického Release to Service) a návrat do prevádzky tzv. RTO (z anglického Return to Operation). Vykonávacie nariadenie komisie (EU) 2019/779 zriaďuje system certifikácie subjektov zodpovedných za údržbu. Definuje požiadavky a kritériá, ktoré musí organizácia spĺňať keď žiada o osvedčečenie ECM alebo o osvedčenie týkajúce sa funkcií údržby. medzi ktoré patrí proces RTS a RTO. V tomto článku je popísaný proces uvoľnenia a návratu do prevádzky, taktiež problémy s ním spojené v spoločnosti RTI Wagon.

2 PROCES RTS A RTO PODĽA VYKONÁVACIEHO NARIADENIA 2019/779

Ako bolo spomenuté vykonávacie nariadenie 2019/779 stanovuje proces RTS a RTO. Z tohto dôvodu je potrebné stručne charakterizovať samotné nariadenie 2019/779 a proces uvoľnenia a návratu do prevádzky podľa tohto nariadenia.

2.1 Charakteristika vykonávacieho nariadenia 2019/779

ECM predstavuje subjekt zodpovedný za údržbu a vykonávacím nariadením Komisie (EÚ) 2019/779 sa zriaďuje systém certifikácie subjektov zodpovedných za údržbu. ECM-F1 má riadiacu zodpovednosť za ECM-F2, ECM-F3, ECM-F4. Jednotlivé funkcie nie sú od seba úplne odlučiteľné. [1]

ECM je možné rozdeliť do štyroch funkcií, pričom každá z týchto funkcií môže existovať samostatne a vždy je potrebné vrátiť sa k ich hlavnej úlohe, a to:

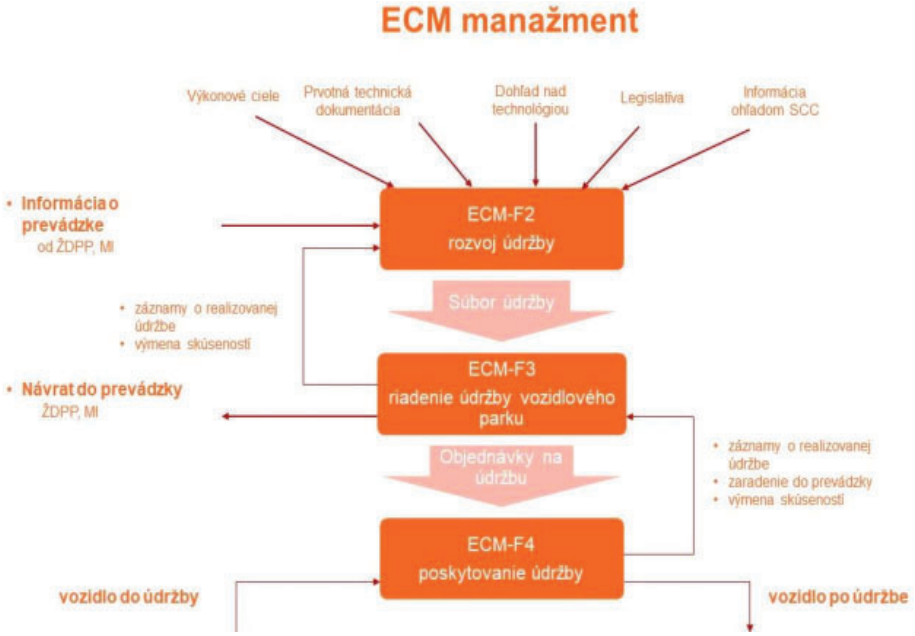
a) ECM-F1 - riadiaca funkcia, vždy zodpovedná a dohliadajúca na ostatné funkcie údržby,

[*)] **Ing. Miroslav MIŠÚN,** RTI Wagon, Kukučínova 22, 831 03 Bratislava, +421 917 669 235, misun@railtrans.eu, prevádzkar vozňového hospodárstva.

Ing. Katarína MAGDECHOVÁ, Ph.D., RTI Wagon, Kukučínova 22, Bratislava 831 03 Bratislava, +421 905 258 720, magdehova@railtrans.eu, vedúca oddelenia koľajových vozidiel charakteristika.

b) ECM-F2 - funkcia rozvoja údržby, dokumentujúca, analyzujúca, archivujúca, aktualizujúca,
c) ECM-F3 - funkcia riadenia (plánovania) údržby, vyraďovanie vozidiel z prevádzky, včasné zasielanie vozidiel do údržby, zostavovanie balíka údržbárskych prác, a pod., a návrat do prevádzky,
d) ECM-F4 - funkcia vykonávania údržbárskych prác - technológie údržby, uvoľnenie do prevádzky**[1]**

Prepojenie funkcií ECM je graficky znázornené na ***obr.1***.

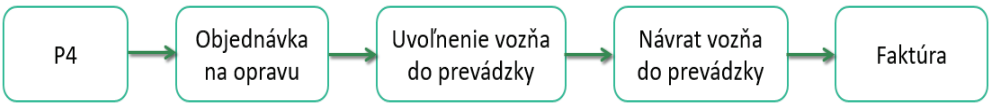


Obr. 1 *Prepojenie funkcií F1 – F4 [1]*

Fig. 1 *Connection of functions F1 – F4 [1]*

2.2 Charakteristika procesu RTS + RTO podľa nariadenia 2019/779

Proces RTS + RTO priamo vychádza z funkcie F3 nariadenia 2019/779. Na začiatku procesu je vystavenie protokolu o poškodení (tzv. P4 AVV). Na základe uvedeného protokolu zodpovedný zamestnanec rozhoduje o mieste opravy vozňa, a to najmä, podľa závažnosti poškodenia a nákladov na prepravu do najbližšej opravovne nákladných vozňov (ONV). Následne, po oprave vozňa, je príslušnou ONV, kde prebehla oprava vozňa, vystavená Správa o uvoľnení do prevádzky. Zodpovedný zamestnanec držiteľa skontroluje správnosť údajov v uvoľnení do prevádzky. V špeciálnych prípadoch, zodpovedný zamestnanec ECM subjektu preberie vozeň fyzicky priamo v ONV. Po kontrole správnosti údajov v Správe o uvoľnení do prevádzky, prípadne fyzickej prebierke vozňa, vystaví zodpovedný zamestnanec plniaci funkciu ECM-F3 oznámenie Návrat do prevádzky. V princípe sa jedná o informáciu, že vozeň bol opravený podľa predpisu, napr. VPI (prípadne iného údržbárskeho predpisu) a je možné tento vozeň bezpečne používať v prevádzke. Charakteristika procesu RTS + RTO je znázornená na ***obr. 2***. **[2]**



***Obr. 2** Proces RTS + RTO v spoločnosti RTI Wagon*

***Fig. 2** RTS + RTO Process in RTI Wagon Company*

3 UVOĽNENIE A NÁVRAT DO PREVÁDZKY (RTS + RTO)

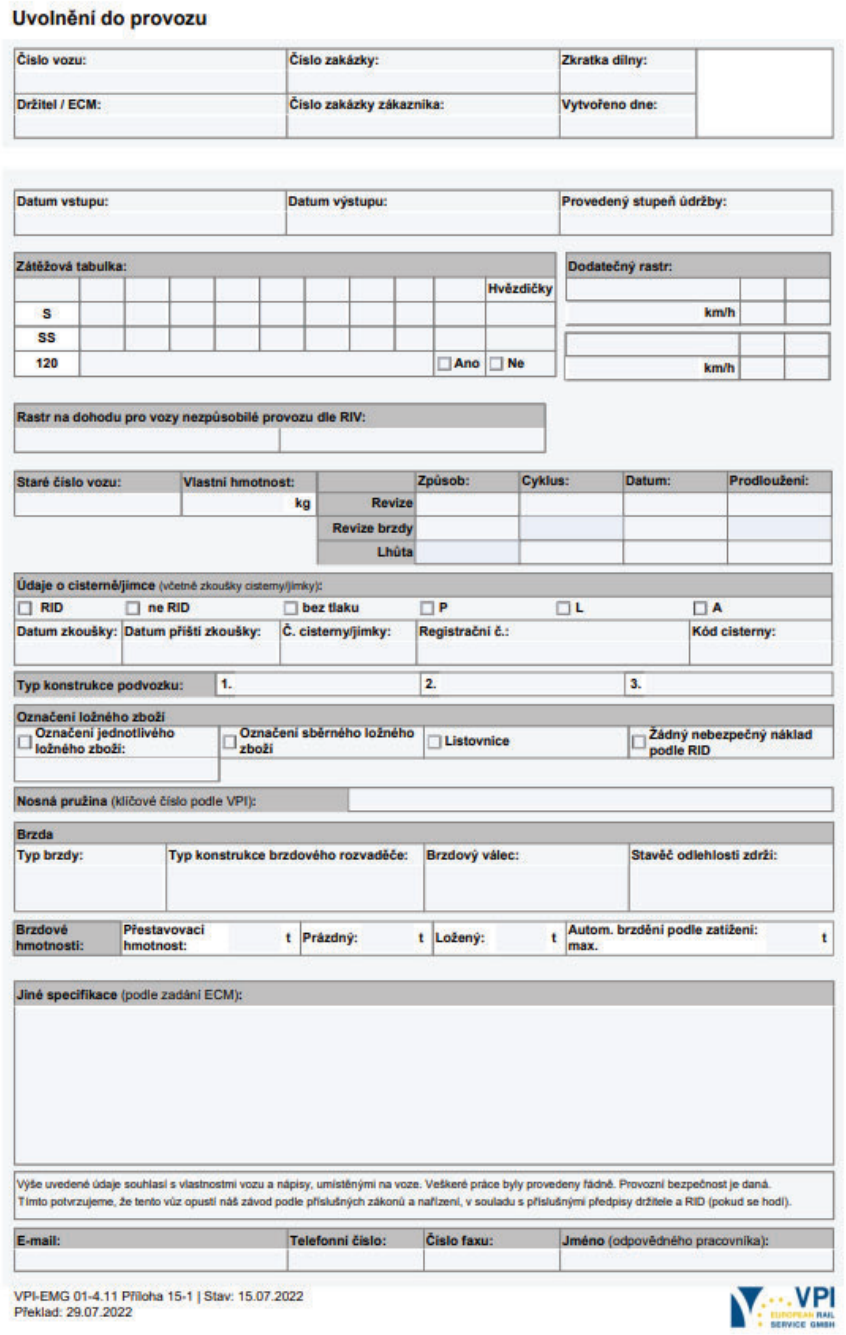
Uvoľnenie a návrat do prevádzky, predstavuje záver procesu vyplývajúceho z nariadenia 2019/779. Jedná sa o významnú časť tohto procesu, kde ONV a držiteľ vozňov, ktorý plní úlohu ECM-F3, deklarujú, že je možné predmetný vozeň používať v prevádzke bezpečne.

3.1 Uvoľnenie do prevádzky (RTS) – charakteristika

Správa o uvoľnení do prevádzky predstavuje dokument, ktorý vystavuje ONV, po oprave nákladného vozňa. Uvedená správa o RTS je zároveň dokumentom v ktorom ONV deklaruje, že vozeň bol opravený podľa príslušných predpisov a je možné jeho nasadenie do prevádzky. V prípade spoločnosti RTIW, je tento dokument definovaný vo VPI 01, ako "Formulár 15 – uvoľnenie do prevádzky". Formulár je zobrazený na ***obr. 3***.

Minimálny súbor informácií, ktoré sa majú vymienať počas uvoľnenia do prevádzky sú:

a) Názov údržbárskej dielne
b) 12 číselný kód vozňa
c) Dátum prijatia
d) Dátum odovzdania
e) Dokumentácia údržby
f) Odchýlka od technických pokynov
g) Zoznam nedostatkov súvisiacich s bezpečnosťou pre stanovenie obmedzení



Uvolnění do provozu

Číslo vozu:	Číslo zakázky:	Zkratka dílny:	
Držitel / ECM:	Číslo zakázky zákazníka:	Vytvořeno dne:	

Datum vstupu:	Datum výstupu:	Provedený stupeň údržby:

Zátěžová tabulka:

										Hvězdičky
S										
SS										
120									☐ Ano	☐ Ne

Dodatečný rastr:

km/h		
km/h		

Rastr na dohodu pro vozy nezpůsobilé provozu dle RIV:

Staré číslo vozu:	Vlastní hmotnost:		Způsob:	Cyklus:	Datum:	Prodloužení:
	kg	Revize				
		Revize brzdy				
		Lhůta				

Údaje o cisterně/jímce (včetně zkoušky cisterny/jímky):

☐ RID ☐ ne RID ☐ bez tlaku ☐ P ☐ L ☐ A

Datum zkoušky:	Datum příští zkoušky:	Č. cisterny/jímky:	Registrační č.:	Kód cisterny:

Typ konstrukce podvozku:	1.	2.	3.

Označení ložného zboží

☐ Označení jednotlivého ložného zboží: ☐ Označení sběrného ložného zboží ☐ Listovnice ☐ Žádný nebezpečný náklad podle RID

Nosná pružina (klíčové číslo podle VPI):

Brzda

Typ brzdy:	Typ konstrukce brzdového rozvaděče:	Brzdový válec:	Stavěč odlehlosti zdrží:

Brzdové hmotnosti:	Přestavovací hmotnost: t	Prázdný: t	Ložený: t	Autom. brzdění podle zatížení: max. t

Jiné specifikace (podle zadání ECM):

Výše uvedené údaje souhlasí s vlastnostmi vozu a nápisy, umístěnými na voze. Veškeré práce byly provedeny řádně. Provozní bezpečnost je daná.
Tímto potvrzujeme, že tento vůz opustí náš závod podle příslušných zákonů a nařízení, v souladu s příslušnými předpisy držitele a RID (pokud se hodí).

E-mail:	Telefonní číslo:	Číslo faxu:	Jméno (odpovědného pracovníka):

VPI-EMG 01-4.11 Příloha 15-1 | Stav: 15.07.2022
Překlad: 29.07.2022

VPI EUROPEAN RAIL SERVICE GMBH

Obr. 3 *Formulár 15 – uvoľnenie do prevádzky [2]*
Fig. 3 *Form 15 – release for operation [2]*

3.2 Návrat do prevádzky (RTO) - charakteristika

Potvrdenie o návrate do prevádzky predstavuje dokument, ktorým ECM – subjekt zodpovedný za údržbu potvrdzuje zákazníkovi, že opravený vozeň je možné opätovne používať v prevádzke bez ohrozenia bezpečnosti. Dokument zasiela zodpovedný zamestnanec zastrešujúci ECM-F3 na základe kontroly správnosti vyplnenia údajov v správe o RTS, prípadne fyzickej prebierky vozňa. Niektoré spoločnosti majú RTO generované softvérovo. V RTIW je informácia potvrdzujúca RTO nájomcovi doručená jednoduchou mailovou komunikáciou. Vykonávacie nariadenie 2019/779 nedefinuje formu RTO, avšak zodpovednosťou jednotlivých ECM subjektov je nastaviť proces zasielania RTO a popísať ho v jeho internej dokumentácii.

4 PROBLÉMY PRI APLIKÁCIÍ RTS A RTO PODĽA VYKONÁVACIEHO NARIADENIA 2019/779

Tak, ako pri všetkých implementáciách noviniek, sa problémy nevyhýbajú ani aplikácií RTS a RTO podľa nariadenia 2019/779. V nižšie uvedených podkapitolách sú uvedené popísané problémy, s ktorými sa jednotlivé ECM subjekty stretávajú v praxi.

4.1 Nesprávne vyplnené údaje v Správe o RTS

Prvým z radu problémov, ktorý sa vyskytuje pri aplikácií RTS a RTO, je nesprávne vyplnene vyplnenie údajov v RTS. V praxi to znamená, že RTS neobsahuje údaje spomenuté v kapitole 3.1. V prípade nesprávne vyplneného RTS, nie je možnosť správne vyhodnotiť údaje, a teda ani možnosť vystavenia RTO.

4.2 Omeškané doručenie RTS

Ďalší problém, ktorý sa veľmi často objavuje, je oneskorené vystavenie Správy o RTS, resp. jej vystavenie až po vyžiadaní od príslušnej ONV. V princípe platí, že ONV by mala uvedenú Správu vystaviť ihneď po oprave vozňa. Po jej vystavení musí ONV zaslať Správu o RTS držiteľovi (ECM subjektu), ideálne v deň opravy vozňa. Avšak najneskôr na druhý deň po oprave vozňa. Tento ideálny stav je pri niektorých domácich aj zahraničných ONV veľmi ťažké dosiahnuť. Vo všeobecnosti platí, pokiaľ nie je vystavená Správa o RTS a RTO, nie je možné vozeň používať v prevádzke.

4.3 Nedodanie informácií o poškodení/oprave

Najzávažnejší problém pri vyradení vozňa, s ktorým sa v prevádzke ECM subjekty stretávajú stále častejšie, je neinformovanie o poškodení a prípadnej oprave vozňa. Nedodaním týchto informácií k ECM subjektom, je priamo ohrozovaná bezpečnosť prevádzky. Jedná sa najmä o to, že vozne sa prakticky vyradzujú prípadne opravujú bez vedomia držiteľa (ECM subjektu). Opäť platí zásada, pokiaľ nie je pre vozeň vydaná Správa o RTS a RTO, nemal by byť zaradený do prevádzky.

5 ZÁVER

Vykonávacie nariadenie 2019/779 má za cieľ zvyšovať bezpečnosť pri procese údržby nákladných vozňov. Vykonávacie nariadenie 2019/779 prinieslo viacero zmien oproti jeho predchodcovi – nariadeniu 445/2011. Avšak toto nové nariadenie prináša viacero otázok, nejasností a problémov pri jeho implementácii.

Postupom času, keď budú tieto počiatočné problémy odstránené, sa z vykonávacieho nariadenia 2019/779 stane efektívny nástroj na nastavovanie procesov údržby vrátane vydávania Správ RTS a RTO.

Literatúra

[1] ZVKV – Sprievodca implementácie požiadaviek vykonávacieho nariadenia 2019/779, ZVKV 2021. **[2] Údržbársky predpis VPI –** Všeobecná časť VPI 01 – Formulár 15.

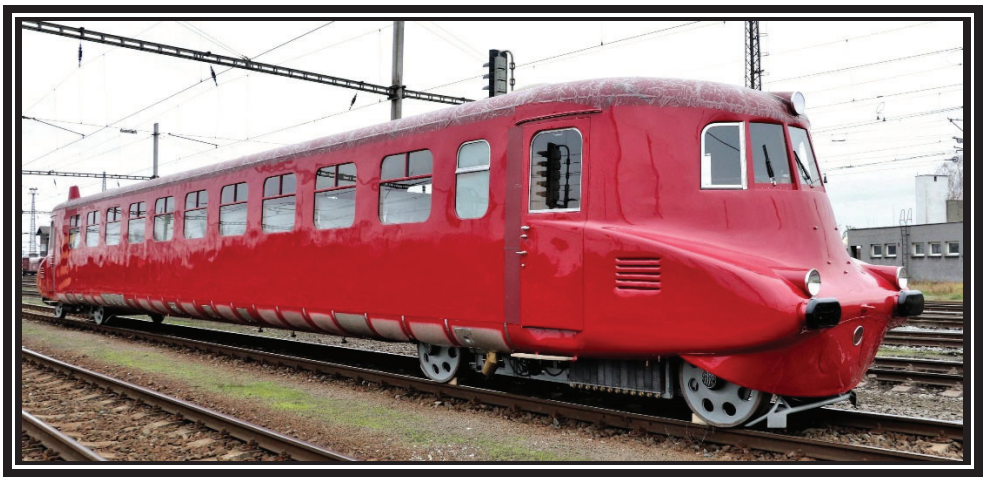
♠ ♠ ♠

Resumé

V roku 2019 vošlo do platnosti nové vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 2019/779, ktorým sa stanovujú podrobné ustanovenia o systéme certifikácie subjektov zodpovedných za údržbu vozidiel podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2016/798 a ktorým sa zrušuje nariadenie Komisie (EÚ) č. 445/2011. Pri implementácii jeho ustanovení sa ukázali viaceré problémy a nezrovnalosti v praxi. Cieľom príspevku je poukázať na nejasnosti vo vzťahu k uvoľňovaniu vozidiel a ich návratu do prevádzky po vykonaní údržbárskych zásahov.

Summary

In 2019 was entered into force the Commission Implementing Regulation (EU) 2019/779 laying down detailed provisions on a system of certification of entities in charge of maintenance of vehicles pursuant to Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulation (EU) No 445/2011. Its implementation shows some problems and unclarity in practice. The main goal of this presentation is to focus on the clarification of the release to service and return to operation after the maintenance.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.07

TRENDY VO VÝVOJI NÁKLADNÝCH ŽELEZNIČNÝCH VOZIDIEL

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF FREIGHT RAILWAY VEHICLES

Marián MORAVČÍK[*)]

1 ÚVOD

Nákladná železničná doprava predstavuje už zo svojej podstaty nízkej energetickej náročnosti efektívny spôsob prepravy veľkého množstva tovarov na dlhé vzdialenosti. Vysoká intenzita prepravy v husto zastavaných oblastiach Európy ale znepríjemňuje život desiatkam milónov obyvateľov, čo vytvára negatívny obraz o železnici. Kovové koleso valiace sa po kovovej koľajnici spôsobuje nepríjemný hluk najmä v nočných hodinách. Nákladné železničné vozne sú vo svojej podstate dimenzované na priemernú životnosť 30-rokov. Veľké množstvo týchto vozňov je zastaralých a navyše sú prevádzkované aj po dobe ich projektovanej životnosti. Akékoľvek inovačné zásahy do modernizácie vozňov zaznamenáme globálne až v horizonte desiatok rokov. Aj napriek uvedenej skutočnosti si Európska komisia uvedomuje dôležitosť železničnej dopravy, jej ekologickosť a hádam aj preto vydala nariadenie Európskeho parlamentu a rady COM(2019) 640, známe tiež ako “Green Deal”. Tu sa v kap. 2.1.5., ktorá je venovaná doprave, uvádza, že do r. 2050 je potrebné presunúť 75 % prepravného výkonu z cestnej dopravy na železnicu. To je obrovský motor pre inovácie, avšak nesmieme zabúdať aj na ekonomickú stránku. Každá sebemenšia zmena musí mať za sebou ekonomiku, návratnosť, inak sa investor nerozhodne pre jej realizáciu. Preto sa až natíska myšlienka tzv. “šrotovného”, ktoré dobre poznáme z automobilového priemyslu, kedy sa podarilo dostať z cesty staré a neekologické vozidlá a nahradiť ich novými, úspornejšími a bezpečnejšími. Cestná doprava by mala byť pre nás v mnohom inšpiratívna aj napriek tomu, že s ňou v oblasti prepravy ťaháme za kratší koniec pomyselného lana.

2 OBLASTI ZMIEN NA POLI NÁKLADNÝCH VOZŇOV

Nákladný železničný vozeň navrhujeme za účelom prepravy čo najväčšieho množstva tovaru, pri potrebe čo najmenšej prepravnej práce. Inými slovami vozne majú byť podľa možnosti čo najľahšie a majú umožniť čo najvyššie užitočné zaťaženie.

Chápanie nákladnej prepravy a potrieb na železnici sa s rokmi menia. Iná situácia bola na železnici v povojnovom období v 50-tych a 60-tych rokoch minulého storočia, kedy bola potreba budovania zničenej Európy a iná je dnes, kedy prevláda požiadavka na prepravu prevažne hotových výrobkov.

Potreby sú teda jasné a ako ich železnica napĺňa? Deje sa to postupe, každý nový vozeň má isté vylepšenia, o ktorých si povieme v ďalších kapitolách.

[*)] **Ing. Marián MORAVČÍK, Ph.D.,** Tatravagónka a.s. Poprad, Štefánikova 887/53, 058 01 Poprad, Slovensko, Tel.: +421 52 711 28 21, e-mail: marian.moravcik@tatravagonka.sk, Hlavný konštruktér a.s.

2.1 Zvýšenie prepravnej kapacity

Zvýšenie prepravnej kapacity - teda vyššia efektivita vozňa dokáže staré vozne odsunúť na vedľajšiu koľaj. Môže sa jednať o optimalizované parametre vozňa, dĺžkové, šírkové, či optimalizáciu objemu a vlastnej hmotnosti. Vozne sa navrhujú tak, aby čo najlepšie využili konštrukčný obrys vozidla. Dá sa povedať, že sa šijú na mieru pre konkrétne požiadavky zákazníka na predpísaný účel použitia. Motto: “Povedzte nám, čo potrebujete prepraviť a my vám dáme riešenie.”

- Ak vezmeme do úvahy dnes štandardné nápravové zaťaženie 22,5 t tak staré vozne nemôžu konkurovať. Ale realita je taká, že konkurujú, a to cenou za prenájom, pretože už “nadsluhujú”. Povedzme si na rovinu, že takýto stav ale nebude trvať večne. Samozrejme, sú tu aj ďalšie obmedzenia na vlečkách, ktoré nedokážu takéto zaťaženie akomodovať, ale to je už iná téma.
- Pre novo vyrobené vozne sa používajú dvojkolesia so zvýšeným nápravovým zaťažením 25 ton. Podmienky VPI [1] v prípade preťaženia dvojkolesia sú veľmi prísne, a preto sa dopravcom oplatí cestou použitia takýchto dvojkolesí aj pre štandardné nápravové zaťaženie.

2.2 Zosilnené ťahadlové ústrojenstvo

Základnou funkciou ťahadlového ústrojenstva je prenos pozdĺžnych síl v súprave vozňov radených vo vlaku. Štandardom je mechanické spojenie prostredníctvom závitového spriahadla s hákom s pevnosťou 850/1000 kN, čo predstavuje maximálne zaťaženie, ktoré spriahadlo zaručene prenesie. Novým štandardom sa stáva tzv. “ťažké” ťahadlové ústrojenstvo s pevnosťou 1350/1500 kN. Jedná sa o prípravu vozňov na možnosť prepravovať viac vozňov vo vlakovej súprave až do dĺžky 740 m. To má priamy dopad na hmotnosť vlakovej súpravy, čo si okrem iného vyžaduje zvýšenú pevnosť medzivozňového spojenia.

2.3 Zvyšovanie rýchlosti

Táto téma sa objavuje veľmi často a je v protiklade so zvyšovaním nápravového zaťaženia. Niet pochýb, že si nájdu na oboch brehoch barikády svojich zástupcov. V tomto prípade hovoríme ale o špecifických prepravách. Jedná sa o potrebu prepravy poštových zásielok, balíčkov a rýchlo sa kaziaceho tovaru. Cieľom je preprava ľahkého tovaru, ale rýchlo. Požadované sú rýchlosti 140 km/h, 160 km/h pri nápravovom zaťažení 18 t či 16 t, ale aj 180 či 200km/h. Tu treba dať do pozornosti, že TSI WAG [2] je platené do rýchlosti 160 km/h a vyššie rýchlosti sa už musia riešiť cez TSI LOC&PAS [3]. Tovar sa obyčajne prepravuje na vysokorýchlostných tratiach, ktoré majú špecifické požiadavky na brzdu. Použitie klátikovej brzdy, ktorá pôsobí na obežnú plochu kolesa v tomto prípade nie je možná kvôli nedostatočnému brzdovému výkonu.

2.4 Brzdová výstroj

Ako je uvedené v kapitole vyššie, pre špecifické prípady je kotúčová brzda jediným riešením. Nie je to najlacnejšie riešenie, často však je pre konkrétne použitie nevyhnutné. Medzi nevýhody kotúčovej brzdy, okrem ceny, môžeme započítať aj vyššiu hmotnosť, ktorá predstavuje cca. 1 t na vozeň, čím priamo znižuje užitočné zaťaženie vozňa. Často sú to len politické ciele, ktoré smerujú rozhodnutia o jej použití. Pozitívne výpočty nákladov životného cyklu tzv. LCC nijako tento stav nezlepšujú.

Limitujúcimi nákladmi sú však požiadavky na brzdovú výstroj, ktoré musí prevádzkovateľ vozňov vynaložiť počas používania vozňa. Do popredia sa dostávajú preto kompaktné brzdy. Sú ľahké, ekonomické a relatívne jednoduché. Trendom posledných mesiacov je záujem aj o brzdu SS-režimu pri použití jednostranného brzdenia. Schválenie pre tento typ brzdenia už obdržal brzdový klátik C333 a J822 je v procese schvaľovania. Ak

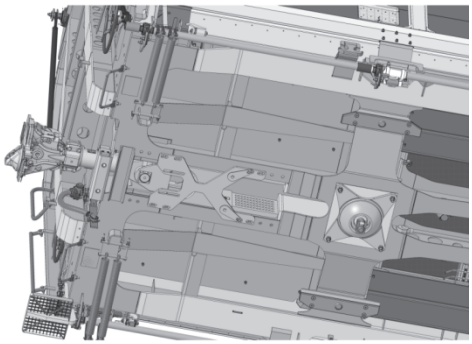
sa prevádzka ukáže v pozitívnom svetle, je tu perspektíva na ďalšiu optimalizáciu hmotnosti vozňov.

V súvislosti so snahami o budúce zavedenie automatizovaného spriahania vozňov a digitalizáciu v nákladnej doprave, je do brzdy novo vyrábaných vozňov zabudovaný rozvádzač s označením KEf od f. KNORR, ktorý je pripravený na digitalizáciu. Ďalšie snahy o digitalizáciu, či už je to elektro-pneumatická brzda alebo dokonca elektro-mechanická brzda úzko súvisí s elektrifikáciou vozňa. Zdá sa to ako hudba budúcnosti, ale je to veľká príležitosť pre brzdu, v prípade zavedenia digitálneho automatického spriahadla (DAC) typu 3 a vyššieho, už nie až tak nereálna.

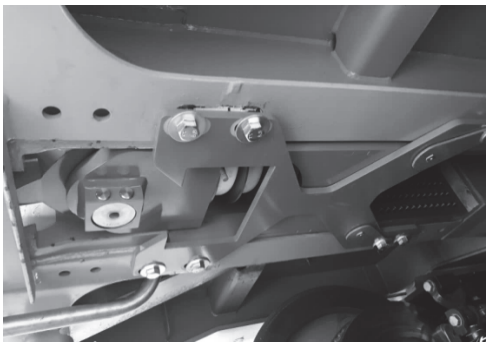
2.5 Príprava na digitalizáciu, DAC

Motto: ”Od inovatívneho nákladného vozňa ku inteligentnému nákladnému vlaku”. Za posledných 10 rokov bolo len v Tatravagónke vyrobených niekoľko tisíc vozňov bez prípravy pre zabudovanie automatického spriahadla. Ide o intermodálne, cisternové vozne. Treba poznamenať, že na 80 % prípadov existuje už dnes riešenie. Aplikácia DAC do už vyrobených vozňov bude predstavovať výzvu, ktorá bude bez finančnej podpory len ťažko zvládnuteľná v podmienkach našich podvyživených železníc.

Nedostatok personálu na železnici v pozíciách spriahača, zvýšenie bezpečnosti ako aj zvýšené požiadavky na údržbu vozňov vybavených nárazníkmi sú iba niekoľkými výhodami, ktoré hovoria za použitie DAC. Okrem mechanického spojenia je nutné uvažovať aj s elektrifikáciou vozňa a so zavedením dátových káblov. Elekrifikácia vozňov otvorí cestu pre nebývalý rozmach konštrukčných riešení. Už dnes poznáme riešenia pre elektrifikáciu vozňov pre napájanie chladiarenských kontajnerov, vozne, ktoré sú klasifikované ako pracovné stroje už elektrovýzbroj tiež obsahujú. Tatravagónka, ako výrobca nových nákladných vozňov, je na tento prechod pripravená, avšak rozhrania pre zabudovanie DAC sú ešte v stave špecifikácie. Na nasledujúcich obrázkoch je príklad zabudovania DAC jednak v 3D modeli (***obr. 1***) a na ďalšom obrázku je pre porovnanie zabudovanie DAC už priamo vo vozni (***obr. 2***).



Obr. 1 *DAC v 3D modeli*
Fig. 1 *DAC in 3D model*



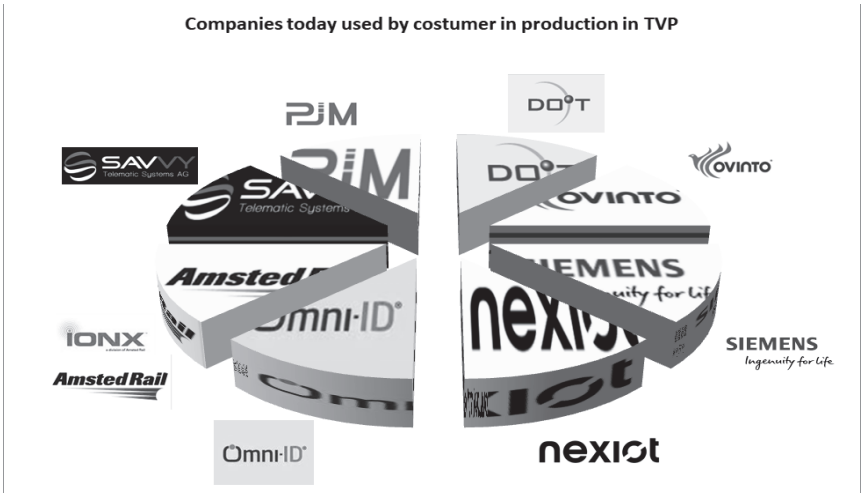
Obr. 2 *DAC na prototypovom vozni*
Fig. 2 *DAC on prototype wagon*

2.6 Telematika a senzorika

Telematický systém zabezpečuje monitorovanie a analýzu nákladných vozňov, pričom je možné sledovať jednotlivé stavy vozňa cez webové rozhranie alebo súčasne cez mobilnú aplikáciu. Najbežnejšou funkcionalitou je sledovanie polohy prostredníctvom GPS jednotky, ktorá je pevne pripevnená na vozni. Rozvoj telematických systémov umožňuje celú radu funkcionalít, pričom za najpokročilejšie môžeme považovať tie, ktoré uľahčujú a presne identifikujú čas odchodu vozňa na technické prehliadky, údržbu. Zaznamenaním a spracovaním dát zo senzorov sú systémy schopné určiť, kedy je potrebná údržba vozňa.

Ďalšou úlohou systému je presné monitorovanie vozňa pre potreby majiteľa vozňa, z hľadiska dodržiavania stanovených podmienok na prácu s vozňom (preťažovanie, maximálna rýchlosť a podobne) a tiež prevádzkovateľa vozňa, pre zjednodušenie dodržiavania stanovených podmienok (loženie vozňa, prekračovanie limitov a podobne).

Vnímame silný nástup telematiky a senzoriky. Každý zákazník už dnes požaduje mať vozne vybavené istým druhom telematiky a senzoriky. Na nasledujúcom obrázku (***Obr. 3***) je zobrazený prehľad spoločností, ktoré využívajú zákazníci Tatravagónky na svojich vozňoch. Môžeme zjednodušene povedať, že sa jedná o najsilnejších dodávateľov týchto systémov používaných na nákladných vozňoch.



Obr. 3 *Spoločnosti využívané zákazníkmi pri výrobe v TVP*
Fig. 3 *Companies used by customer in production in TVP*

2.7 Znižovanie hluku

Požiadavky, ktoré musia nové nákladné vozne plniť sú predpísané v príslušnej legislative TSI Noise [4]. Dnes maximálne dovolená normovaná hodnota predstavuje 83dB(A). To je základ, ktorý je nevyhnutne potrebný pre schválenie nového vozňa do prevádzky. Požiadavky niektorých zákazníkov idú hlboko pod túto dovolenú hodnotu. Známe technické riešenia ako použitie kompozitných klátikov, kotúčová brzda, tlmiče hluku sú už aplikované. Ďalšie znižovanie hluku predstavuje technickú výzvu a bude si vyžadovať veľmi vysoké finančné náklady. Niektoré z týchto riešení už dnes poznáme, signifikantne ovplyvňujú nadobúdaciu cenu a tiež komplikujú údržbu vozňov. Treba podotknúť, že riešenia na úrovni vozňa budú fungovať iba do istej úrovne očakávaného zníženia hlukových emisií [5]. Ďalšie znižovanie už bude môcť byť riešené len na úrovni infraštruktúry.

2.8 Znižovanie energetickej náročnosti

Najrozšírenejším podvozkom v podmienkach Európy je štandardizovaný podvozok Y25 a jeho odvodeniny. V tomto priestore existujú v prevádzke aj špeciálne podvozky s vylepšenými vlastnosťami ako TF25 rozšírený vo Veľkej Británii označovaný ako “track friendly” podvozok. Potom sú to podvozky od f. ELH typu RC25NT alebo od f. WBN Niesky typu DRRS či podvozky od Tatravagónky s radiálne nastaviteľnými dvojkolesiami TVP2007, TVP NG a TVP NG2. Podvozky s radiálne nastaviteľnými dvojkolesiami preukázateľne znižujú na tratiach s malými polomermi oblúkov úsporu energie na úrovni 10,6 % v porovnaní so štandardným podvozkom Y25. To je v dnešnej dobe energetickej krízy veľmi dôležité zistenie.

3 NOVÉ NÁKLADNÉ VOZNE

Nové nákladné vozne, nové typy, vychádzajú z požiadaviek trhu na nové prepravy, ktoré sa doposiaľ štandardnými vozňami, tak ako sme ich poznali v minulosti z UIC nedajú realizovať. Jedná sa o špecifické prepravy automobilov, ktoré majú vyššiu hmotnosť kvôli e-mobilite, prepravy ťahačov, zdvíhateľných a nezdvíhateľných návesov, prepravy autobusov, dodávok a ľahkých komerčných vozidiel, prepravy "žltej" techniky (bagre, buldozéry a pod.). Samozrejme tak, aby boli ekonomicky efektívne, energeticky úsporné, tiché a čo možno najlacnejšie. Splniť všetky požiadavky sa vždy nedá a tlak na cenu je v dnešnej dobe enormný.

3.1 Vozne na prepravu návesov

Rozdelenie európskej nákladnej dopravy je vo vysokom nepomere pre železnicu približne 19 % vo vzťahu ku približne 75 % na ceste. Čo sa týka počtov kusov návesov na cestách, predstavuje viac ako 1 milión nákladných vozidiel na európskych cestách. V okolí veľkomiest je už dnes situácia kritická. Jedná sa nielen o nedostatočnú kapacitu ciest, ale začínajú chýbať aj vodiči. To vytvára zvýšené požiadavky na prepravu návesov po železnici.

Preprava zdvíhateľných návesov je realizovaná prostredníctvom dvojčlánkových kapsových vozňov Sdggmrss typ T3000e, viď nasledujúci obrázok ***(obr. 4***). Vozeň je kĺbovej konštrukcie s 3 podvozkami typu Y25Ls(s)i1(f), a okrem prepravy sedlových návesov je určený aj na prepravu normovaných výmenných nadstavieb a kontajnerov.



Obr. 4 *Vozeň Sdggmrss, typ T3000e*
Fig. 4 *Wagon Sdggmrss type T3000e*

Oveľa viac sa na ceste stretávame s návesmi, ktoré nie je možné manipulovať prostredníctvom žeriavu, tých je viac ako 85 %. Tieto nezdvíhateľné návesy je možné taktiež prepraviť prostredníctvom kapsového vozňa T3000e s využitím pomocných prostriedkov, nakladacích rámov od rôznych dodávateľov (Vega, ISU, Nikrasa a pod.). Tieto riešenia majú isté nevýhody, ktoré odstraňuje nový dvojčlánkový košový vozeň Sdggmrss, viď nasledujúci obrázok (***obr. 5***). Vozeň je kĺbovej konštrukcie s 3 podvozkami typu Y25Ls(s)i1(f) a okrem prepravy sedlových zdvíhateľných aj nezdvíhateľných návesov je určený aj na prepravu normovaných výmenných nadstavieb a kontajnerov. Výhodou je, že optimalizovaný kôš je súčasťou vozňa a pri preprave kontajnerov sa nemusí vyberať z vozňa a taktiež odpadá jeho skladovanie. Vozeň spĺňa ložný priestor "e" pre návesy podľa IRS 50596-5 a je možné ho prestavať z Pyrenejského rozchodu na štandardný rozchod 1435 mm. Disponuje optimalizovaným sedlom pre fixáciu kráľovského čapu. Samozrejmosťou je príprava pre zabudovanie DAC.



Obr. 5 *Košový vozeň Sdggmrss na prepravu návesov a kontajnerov*

Fig. 5 *Basket wagon Sdggmrss for transport of trailers and container*

3.2 Vozne na prepravu ťahačov

Ťahače kvôli svojim rozmerom, hlavne výške, nie je možné na existujúcich vozňoch prepraviť. Príliš vysoká výška vozňov znemožňuje naloženie vysokých ťahačov, čo vedie ku prekročeniu dovoleného obrysu. Vozeň Laados z produkcie Tatravagónky, viď nasledujúci obrázok (***obr. 6***), má optimalizovanú hmotnosť, je určený na prepravu ťažkých ťahačov do hmotnosti 9,5 t pri minimalizovanej ložnej výške vozňa od temena koľajnice. Disponuje optimalizovaným prejazdným profilom pre lepšiu prechodnosť ťahačov cez vozeň počas nakládky a s možnosťou použitia rôznych typov kolesových zarážok. Samozrejmosťou je príprava vozňa na zabudovanie DAC.



Obr. 6 *Vozeň na prepravu ťahačov a ľahkých úžitkových vozidiel*

Fig. 6 *Wagon for transportation of truck tractors and light utility vehicles*

3.3 Vozne na prepravu automobilov

Preprava osobných automobilov po železnici má svoje nezastupiteľné miesto. Jednak je vysoko efektívna a taktiež má pozitívny vplyv na znižovanie emisií skleníkových plynov. Nárast dopytu po tomto druhu prepravy je v poslednom období motivovaný elektromobilitou. Jednou z výhod je tiež plánovaná možnosť nabíjania elektromobilov počas prepravy z výrobného závodu. Príklad takéhoto vozňa je na nasledujúcom obrázku (***obr. 7***).



Obr. 7 *Vozeň na prepravu osobných automobilov, SUV, malých úžitkových vozidiel*
Fig. 7 *Wagon for transportation of passenger cars, SUVs, small utility vehicles*

Vozeň je dvojposchodový, otvorený a je určený ku preprave osobných automobilov, SUV a malých obsluhy počas nakládky. Samozrejmosťou je príprava vozňa pre zabudovanie DAC.

4 ZÁVER

Na záver môžeme konštatovať, že nákladná železničná doprava neupadá do zabudnutia, ale napreduje míľovými krokmi. Stále je to druh dopravy, ktorý je v efektivite prepravy tovarov na dlhé vzdialenosti neporaziteľný, navyše je ekologický. Môžeme dokonca povedať, že nás čakajú roky zaujímavých inovácií a technických riešení, ktoré pôjdu ruka v ruke so zavedením elektrifikácie, digitalizácie a automatizácie do železničnej nákladnej dopravy. Železnicu tvoria historicky ľudia zanietený, ktorý majú chuť posúvať hranice možností dopredu a pokúšajú sa hľadať riešenia ako sa veci dajú robiť lepšie a ekonomicky atraktívnejšie. Držte nám palce, aby sa nám to darilo realizovať ku spokojnosti všetkých zainteresovaných strán.

Literatúra

[1] VPI – European Rail Service Gmbh., Moduly VPI-EMG 01-11, 2022-2023. **[2]** Commission Regulation (EU) No 321/2013 of 13 March 2013 concerning the technical specification for interoperability relating to the subsystem **'rolling stock — freight wagons'** of the rail system in the European Union and repealing Decision 2006/861/EC **[3]** Commission Regulation (EU) No 1302/2014 of 18 November 2014 concerning a technical specification for interoperability relating to the **'rolling stock — locomotives and passenger rolling stock'** subsystem of the rail system in the European Union **[4]** Commission Regulation (EU) No 1304/2014 of 26 November 2014 on the technical specification for interoperability relating to the subsystem **'rolling stock — noise'** amending Decision 2008/232/EC and repealing Decision 2011/229/EU **[5] Búry, M., Mačák, L., Moravčík, M.**: Hluk v nákladnej koľajovej deprave, odložený problem? In: *XXIV. medzinár. konferencia Súčasné problémy v koľajových vozidlách – PRORAIL 2019, Zborník prednášok, Diel I*, 55–61, ISBN 978-80-89276-58-5.

♠ ♠ ♠

Resumé

Príspevok sa zaoberá aktuálnymi trendami vo vývoji nákladných železničných vozňov. V úvode podrobnejšie rozoberá aktuálny stav a dianie na trhu nákladných vozidiel. Zameriava sa na oblasti, ktoré prechádzajú rôznym stupňom vylepšení ako sú oblasti zvyšovania efektivity prepravy, energetickej úspornosti, prípravy na digitalizáciu súvisiace s prechodom na DAC. Tu sa otvárajú možnosti elektrifikácie vozňov s kladným dopadom na brzdové vybavenie. Zavedenie DAC taktiež vytvára priestor pre zavedenie telematiky a senzoriky v doteraz nepoznanom rozsahu. Dotýka sa aj okrajovej oblasti zvyšovania rýchlosti, nemenej dôležitého znižovania hlukovej záťaže obyvateľstva spôsobenej prevádzkou v husto obývaných oblastiach Európy od ťažkej nákladnej dopravy. Záverom sa dotýka aj oblastí, ktoré sú dnes "IN". V súvislosti so snahou presunúť viac prepráv z cesty na železnicu tzv. Green Deal je to aj netradičná preprava hotových tovarov, ktoré sa prepravovali výhradne po ceste ako napríklad ťahače návesov.

Summary

The report deals with the current trends in the development of freight railway wagons. In the introduction, it analyses in more details the current condition and events at the freight wagon market. It focuses on areas that are undergoing various degrees of improvement, such as the areas of increasing transport efficiency, energy efficiency, preparations for digitization related to the transition to DAC. This opens up the possibilities of electrifying wagons with a positive impact on braking equipment. Introduction of DAC also creates space for introduction of telematics and sensors to a hitherto unknown scope. It also deals with the peripheral area of increasing speed, no less important reducing the noise burden of the population caused by heavy freight traffic operated in densely populated areas of Europe. At the end, it also deals with the areas that are "IN" today. In connection with the effort to move more transport from roads to railways, the so-called Green Deal includes also non-traditional transportation of finished goods that were transported exclusively by road, such as truck tractors.



26th INTERNATIONAL CONFERENCE
„CURRENT PROBLEMS IN RAIL VEHICLES - PRORAIL 2023“
September 20 – 22, 2023, Žilina, Slovakia

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.08

REDUCING THE WEAR ON THE WHEELS OF RAILWAY VEHICLES AND INCREASING THE SAFETY OF TRANSPORT THROUGH TARGETED RAIL MAINTENANCE

ZNÍŽENIE OPOTREBENIA KOLIES ŽELEZNIČNÝCH VOZIDIEL A ZVÝŠENIE BEZPEČNOSTI DOPRAVY PROSTREDNÍCTVOM CIELENEJ ÚDRŽBY KOĽAJNÍC

Peter MOSER[*)]

1 ÚVOD

Due to an increase in train frequency, axle loads and train speeds, wheels and rails are exposed to far more and more varied load situations in much shorter time intervals than ever before. To keep the wheel-rail system in a fully functional, safe, and optimal condition and to maximise service life, rails need to be maintained regularly. Today, infrastructure managers can choose between several established strategies and technologies to control the cyclical contact mechanical changes that occur in the rail. Contact mechanical changes include rolling contact fatigue as well as wear and plastic material deformation. Rail milling is the optimal solution to counteract these problems.

2 THE TECHNOLOGY OF RAIL MILLING

Due to the very high manufacturing accuracy and the excellent surface quality, the milling of metallic workpieces has been established in industry as a proper manufacturing process since the 19th century. Mobile rail milling is a relatively new technology, which was introduced 30 years ago by the Austrian company Linsinger Maschinenbau Gesellschaft m.b.H.. Rail milling is a dry and rotating cutting process in which the driven cutter head, equipped with a large number of carbide tips, moves over the rails and maintains them during in the process. The removed material is collected in the form of chips on the machine moving along the track and stored in a bunker, so that it can be recycled later. The required rail profile (e.g.: UIC60 E2 1:40) for restoring the optimal contact mechanical conditions between wheel and rail is defined by the profile of the cutter head. Any rail profile can be realised.

Rail milling is a non-sparking and dust-free process, which makes it possible to work in environmentally sensitive areas such as tunnels, stations, or areas with special fire protection restrictions, without having to take special precautions. The resulting process heat is dissipated via the carbide cutting tips into the cutter head and via the removed chips [1]. In contrast to other machining technologies, there is no heat input to the rail at all. The heat input could lead to a structural transformation in the material in the machined rail, the so-called "white etching layers", which can have a martensitic microstructure [1-3].

[*)] **Peter MOSER, DI(FH),** LINSINGER Maschinenbau GmbH, Steyrermühl, AT. Tel. +43 7613 8840-163, Fax +43 7613 8840-951. p.moser@linsinger.com. International Sales Manager

The milling of the rails creates a periodic surface structure characteristic of the process, also called milling facets, which can lead to a temporary, purely acoustic effect. Depending on the axle loads of the moving trains, this effect disappears after a short time. In order to eliminate this effect immediately, rail milling machines are equipped with a polishing unit. This is used for a subsequent polishing process.

2.1 Sequence and machining states during rail milling

Fig. 1 shows the sequence of rail machining by milling. A cutter head and a polishing wheel are shown with the various machining states on the rail (from left to right). The first condition, marked in red, shows the unmachined rail with any defects and wear conditions. Both the profile deviations and the defect depths are measured in advance in order to adjust the material removal in such a way that a defect-free and true-to-profile rail can be guaranteed after machining. The second condition, marked in yellow, shows the rail surface after the milling process. The defects and were removed without residue and the rail profile was completely restored. Thus, the contact mechanical condition of the rail was already optimized after the first process step and a better condition was achieved than with a new rail, as shown below. One can speak of a better condition because the processed rail has a higher profile accuracy on the track than a rail coming directly from production. In addition, the processed rail no longer has a "rolled skin". The third condition, marked in green, shows the finished rail after the polishing process. A uniform and homogeneous surface structure can be seen on the rail, which is left on the track after the entire milling process. Subsequently, machine-integrated measurements of the transverse profile and longitudinal profile confirm the improved and functional condition of the rails.

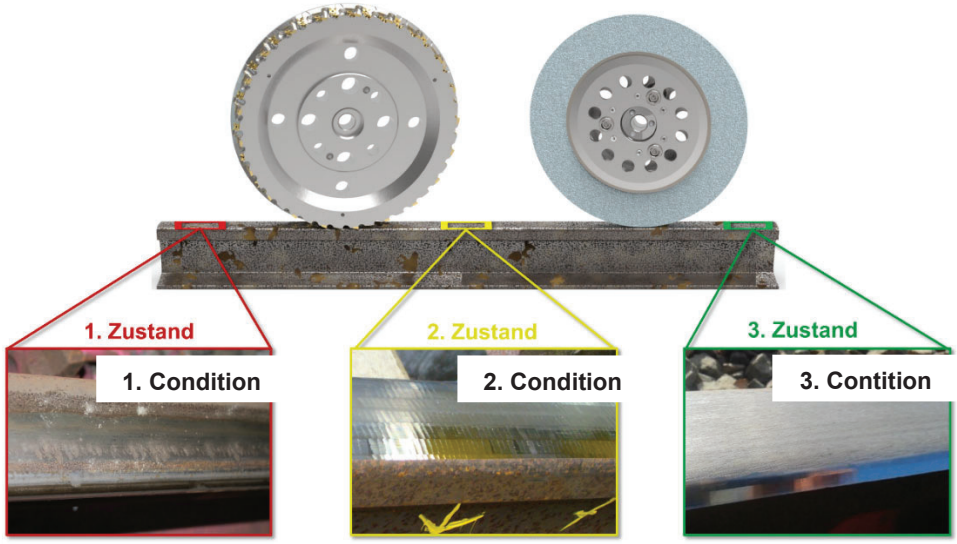


Fig. 1 *The schematic sequence of the rail milling process with the various successive machining conditions*

Obr. 1 *Schematický postup procesu frézovania koľajníc s rôznymi po sebe nasledujúcimi podmienkami obrábania*

2.2 Contact mechanical improvement of a machined rail

In order to be able to optimize the contact mechanical condition of an unmachined and worn rail, it is necessary to know exactly how the interaction between wheel and rail works.

A crucial point for this is the conformity of the transverse profiles of wheel and rail, so that it can be ensured that the contact surface results in an uniform surface. This can only be achieved if the required rail profile is restored as accurately as possible. The maintainer must ensure that the required and prescribed rail profile is restored as accurately as possible. ***Fig. 2*** shows on the left an unworked and worn rail, shown in a slightly transparent green colour in the background, and the worked rail in a grey colour in the foreground. In the case shown, it can be observed that a material removal of 4 mm was needed to restore a rail according to the target profile and free of defects. The profile deviation of the worn rail can be recognised by the fact that the material removal is not constant over the entire transverse profile. The right-hand side of ***fig. 2*** shows a typical re-measurement of the transverse profile. This displays the exact deviation of the actual profile after machining (blue) from the target profile (red). The maximum deviation is 0.14 mm, which is below the permitted tolerances according to standard EN 13231-3.

In this way, milling can be used to ensure that the transverse profile of a rail achieves the optimum contact mechanical condition and contributes the best possible to the conformity between wheel and rail. This reduces the contact mechanical load on the rail and the wheels and extends their service life enormously.

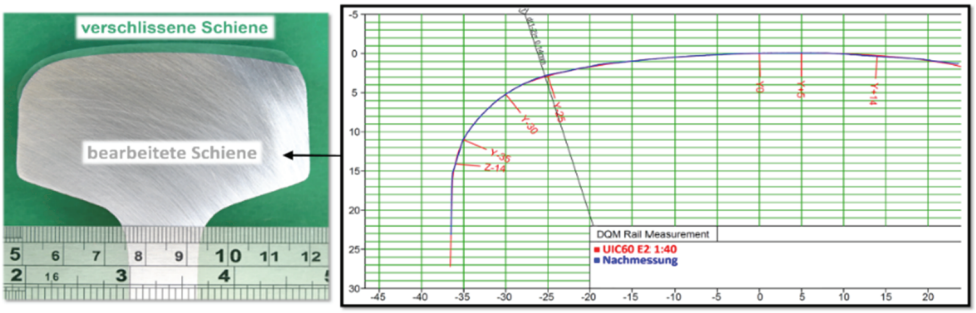


Fig. 2 *An unmachined and worn rail (in light green transparent in the background) and the machined rail (in grey in the foreground) with a comparative measurement between the nominal and actual transverse profile after machining*

Obr. 2 *Neopracovaná a opotrebovaná koľajnica (svetlozelená priehľadná v pozadí) a opracovaná koľajnica (sivá v popredí) s porovnávacím meraním medzi nominálnym a skutočným priečnym profilom po opracovaní*

Another important point for optimising the contact and extending the service life of a rail is the surface quality in the longitudinal direction. The more uniform the surface finish of a rail, the longer defects resulting from dynamic forces can be avoided. ***fig. 3*** shows a roughness measurement of a worn rail (in red) and a machined rail (in green). The roughness depth Ra is reduced from 4.95 µm (worn rail) to 2.12 µm (machined rail). With milling, a Ra value of less than 5 µm can be achieved easily and continuously, which, according to the EN 13231-3 standard, corresponds to half of the permitted roughness depth Ra of 10 µm.

Not only the conformity of the transverse profiles in the wheel-rail system and the surface condition in the longitudinal direction of the rail are decisive for optimising contact and extending the service life of the rail, but also the microstructural structure of the rail is decisive and must therefore be taken into account.

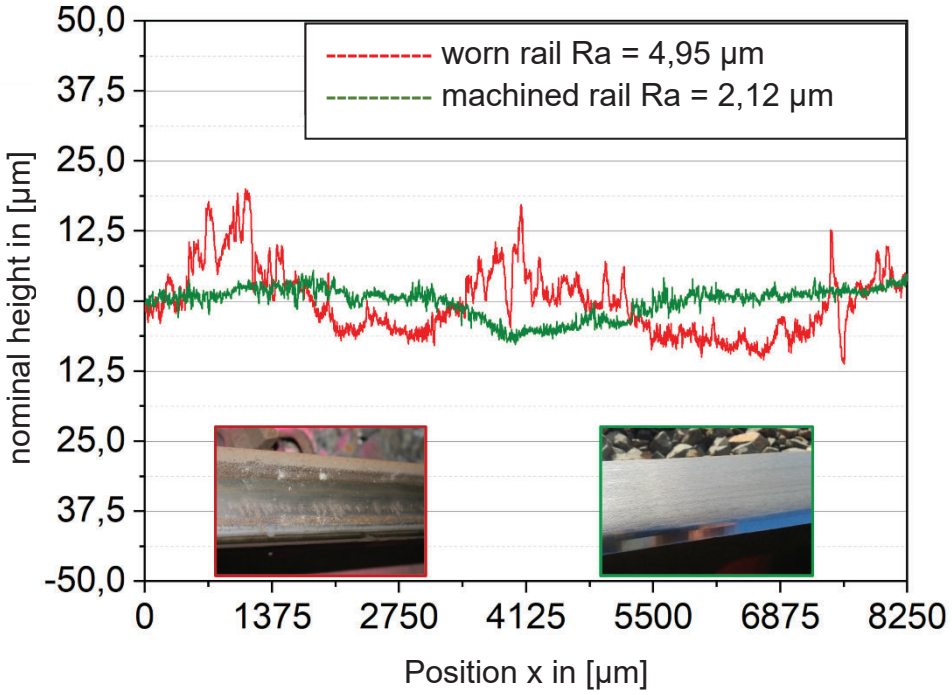


Fig. 3 *Roughness measurements of a worn rail and a rail machined by milling with the corresponding Ra values.*

Obr. 3 *Merania drsnosti opotrebovanej koľajnice a koľajnice opracovanej frézovaním so zodpovedajúcimi hodnotami Ra*

A worn rail normally has a deformed microstructure on the surface the trains are travelling on, which includes both cracks and changes in the microstructure. This damaged microstructural material must be completely removed so that the rail's service life can be extended. The infrastructure manager must be confident that after proper maintenance, an unaffected microstructural material will be left on the track. In order to know what remains on the track after milling, structured tests and precise metallographic examinations were carried out and evaluated in cooperation between the University of Leoben, the Materials Center Leoben and the company Linsinger [4]. A rail of steel grade R260 was machined, which has a purely pearlitic structure.

Fig. 4 shows a piece of rail that has been finished by milling, from which both transverse and longitudinal sections were taken and analysed. The machined rail shows an unaffected and purely pearlitic structure in the longitudinal and transverse directions, i.e., the deformed and damaged material was removed thoroughly and without residue during machining. Thus, the rail can also be considered better than new. The absence of any influence on the microstructure also proves that there is no heat input whatsoever during and after the complete milling process and thus, no structural transformation in the material. The unaffected and as good as new rail structure in combination with the conformity of the transverse profiles and the surface condition in longitudinal direction contribute to the fact that the contact pressures are optimally distributed over the contact surface and, consequently, considerably improve the contact mechanical condition of the rail lying on the track.

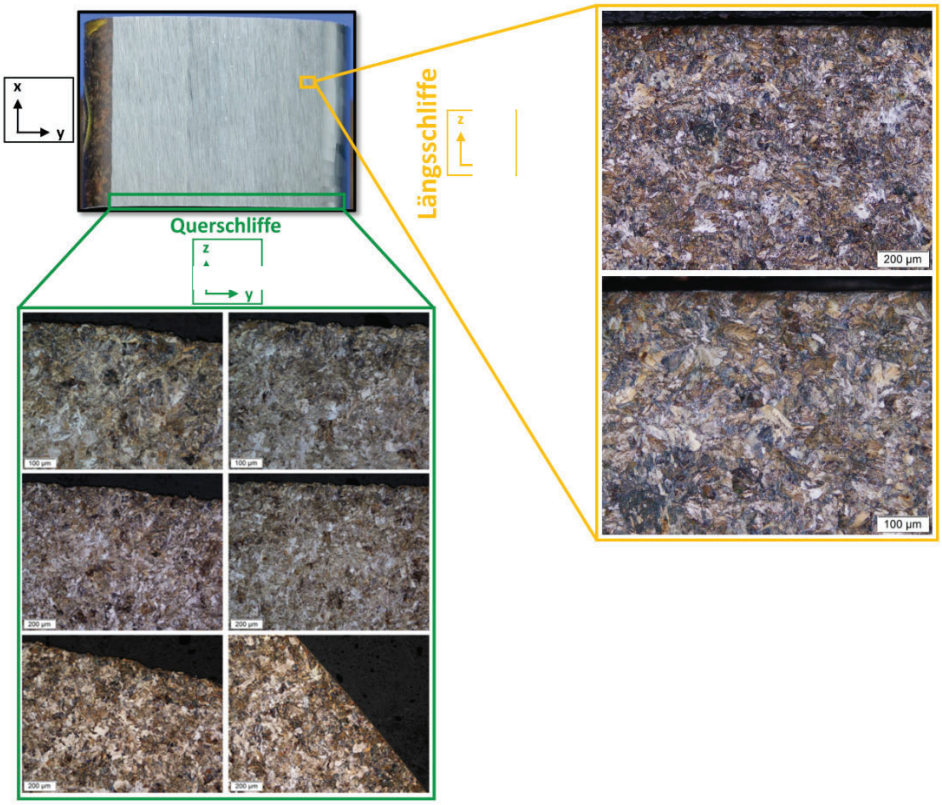


Fig. 4 *Transverse and longitudinal sections of a rail machined by milling. An unaffected pearlitic material structure is shown*

Obr. 4 *Priečne a pozdĺžne rezy koľajnice opracované frézovaním. Je zobrazená nedotknutá perlitická štruktúra materiálu*

5 CONCLUSION

Mobile rail milling is now an established maintenance technology that offers significant advantages for improving and optimising the contact mechanical condition of a rail lying on the track. Reliable and continuous reprofiling takes place based on the profile defined by the cutter head. Both the transverse profile and the roughness of the machined rails are restored very precisely and in accordance with the standards, so that the contact mechanical load is again distributed more evenly over the optimised contact surface. This also results in a reduction of the maximum contact pressure, which helps to delay various signs of wear. Due to the complete and residual removal of the deformed and damaged material from the rail surface and the introduction of compressive stresses close to the surface, the machined rail can even be considered better than new. There is no heat input into the machined rail and thus it can be guaranteed that no structural transformation takes place. Thus, rail milling leads to a significant extension of the service life of a rail on the track as well as to a massive cost saving compared to rail replacement. In addition, a fully functional and safe condition of the rail can be guaranteed after mobile milling, which is a crucial point for every infrastructure manager and network owner.

References

[1] Stock, R.; Schwarzenberger, R.; Kubin, W.: Rail milling as an integrated strategy for modern asset management, Proceedings von der CORE 2018 Konferenz (2018), Sydney, 10p. **[2] Zhang, ZY.; Shang, W.; Ding, HH.; Guo, J.; Wang, HY.; Liu, QY.; Wang, WJ**.: Thermal model and temperature field in rail grinding process based on a moving heat source, Appl Therm Eng, Vol. 106 (2016), S. 855 – 864. **[3] Steenbergen**, **M**.: Rolling contact fatigue in relation to rail grinding, Wear Vol 256-357 (2016), S. 110-121.

♠ ♠ ♠

Summary

Increasing freight volumes, rising passenger numbers, shorter train intervals and higher speeds in passenger traffic lead to deformations at the wheel/rail contact area. Resulting rail defects that are accompanied by the following negative aspects:

Safety risk

Unplanned reduction of line speeds – increased delays

Downtime – high failure costsg increased carbon footprint

Rail and wheel wear

Formation of fatigue rail defects, corrugations, rail breaks and other rail defects

Reduced track quality and driving comfort

These aspects require a modern, flexible and reliable technology which sustainably extend the service life of rails.

Milling technology makes it possible, with regular treatment of the rails, to extend the service life of the track and thus reduce costs and carbon footprint.

Resumé

Zvyšujúce sa objemy nákladu, rastúci počet cestujúcich, kratšie vlakové intervaly a vyššie rýchlosti osobnej doprave vedú k deformáciám v oblasti kontaktu kolesa a koľajnice. Výsledné poruchy koľajníc, ktoré sú sprevádzané nesledujúcimi negatívnymi aspektmi:

Bezpečnostné riziko,

Neplánované zníženie traťových rýchlostí – zvýšené meškania,

Prestoje – vysoké náklady na poruchu,

Znečistenie hlukom znížená životnosť koľajníc a zvýšená uhlíkova stopa,

Opotrebenie koľajníc a kolies,

Tvorba únavových defektov koľajníc, zvlnenia, zlomov koľajníc a iných defektov koľajníc,

Znížená kvalita koľaje a jazdný komfort.

Tieto aspekty si vyžadujú modernú, flexibilnú a spoľahlivú technológiu, ktorá trvalo predlžuje životnosť koľajníc.

Technológia frézovania umožňuje pri pravidelnom ošetrovaní koľajníc predĺžiť životnosť koľaje a tým výrazne znížiť náklady a uhlíkovu stopu.

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.09

RENOVACE ŠROUBOVÝCH PRUŽIN

REFURBISHMENT OF COIL SPRINGS

Pavel NEKOKSA, Jaroslav SVOZILÍK[*)]

1 ÚVOD

Šroubové tlačné pružiny tvářené za tepla jsou jedním z nejrozšířenějších prvků primárního a sekundárního vypružení kolejových vozidel. Jejich výhodami jsou dlouhá životnost, která je často navrhována na celou dobu provozu kolejového vozidla, malá změna silové charakteristiky v průběhu provozování, odolnost vůči klimatickým vlivům a poměrně nízké náklady na jejich údržbu.

V rámci životního cyklu pružiny je ve stanovených intervalech nutné provádět pravidelnou údržbu. V případě, že je šroubová pružina vyřazena v rámci údržby, tak je nutné ji nahradit pružinou novou. To s sebou nese vysoké náklady na pořízení z důvodu malosériové výroby, problémy s chybějící výkresovou dokumentací a dlouhou dobu dodání. Dalším neméně důležitým aspektem je nehospodárnost z hlediska životního prostředí. V současné době neexistuje žádný standardizovaný postup pro opravy šroubových pružin, tak jako je stanoven například u oprav listových pružin [1]. V případě úspěšného nalezení postupu opravy by došlo k významnému snížení emisí skleníkových plynů, efektivnějšímu využívání energií a zlepšení odpadové politiky v porovnání s nově vyrobenou pružinou. Již v blízké budoucnosti v souvislosti s přicházející evropskou legislativou, především pak zaváděním ESG politiky (Environmental, Social, and Governance) a CSRD reportingu (Corporate Sustainability Reporting Directive) od roku 2025 [2], bude zvýšen tlak na dlouhodobou udržitelnost. To se postupně začne aplikovat i do údržby kolejových vozidel.

Cílem tohoto příspěvku je rozšířit povědomí o nejčastějších příčinách vedoucích k vyřazení šroubových pružin z provozu a předcházení tomuto negativnímu jevu již na úrovni zadávací dokumentace od výrobců vozidel nebo podvozků. Dále příspěvek popisuje výsledky interního výzkumu ze společnosti HŽP a.s., který byl zaměřen na renovaci šroubových pružin a probíhal v letech 2022 až 2023. Výsledkem je stanovený technologický postup renovace vyřazených šroubových pružin v rámci pravidelné údržby vozidla a prvotní vyhodnocení nasazených renovovaných pružin do provozu.

2 VYŘAZENÍ PRUŽIN Z PROVOZU

Šroubové pružiny jsou konstruovány nejčastěji na neomezenou životnost dle EN13906-1, tak aby nebylo nutné v průběhu jejich životnosti provádět zásadní servisní úkony. Nejčastěji se požadavek na životnost pohybuje v rozsahu 30 až 40 let v závislosti na délce provozu celého kolejového vozidla. Výjimku tvoří vypružení jednotek metra, kde jsou pružiny často přetěžovány v ranních a odpoledních špičkách, a tak je jejich životnost

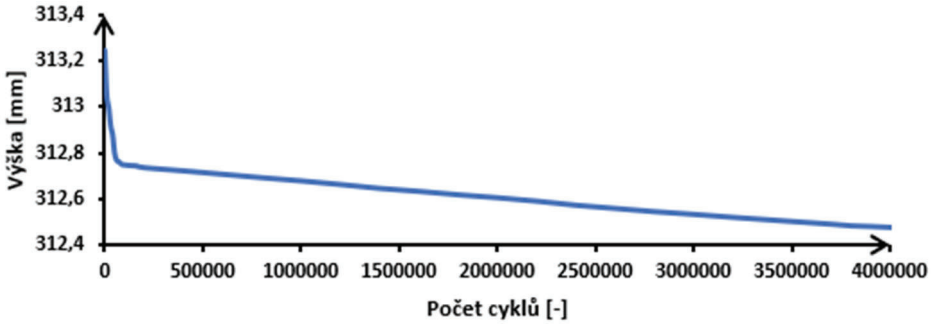
[*)] **Ing. Pavel NEKOKSA,** HŽP a.s., Dolní 3137/100, 796 01 Prostějov, Česká republika, +420 739 732 739, pavel.nekoksa@hzp.cz, Vedoucí vývoje.

Ing. Jaroslav SVOZILÍK, HŽP a.s., Dolní 3137/100, 796 01 Prostějov, Česká republika, +420 739 732 739, jaroslav.svozilik@hzp.cz, Technik vývoje.

nejčastěji omezena na rozmezí 10 až 15 let. V rámci pravidelné údržby se provádí několik předepsaných úkonů: vizuální kontrola, oprava povrchové ochrany, kontrola výšky, přidání kompenzačních podložek pro dosažení požadované výšky, výměna pružin. Intervaly jednotlivých úkonů jsou stanoveny na základě doporučení výrobců kolejových vozidel. Nejčastější důvody pro vyřazení pružin z provozu na základě diskusí s výrobci kolejových vozidel a s opravárenskými podniky jsou uvedeny v podkapitolách níže.

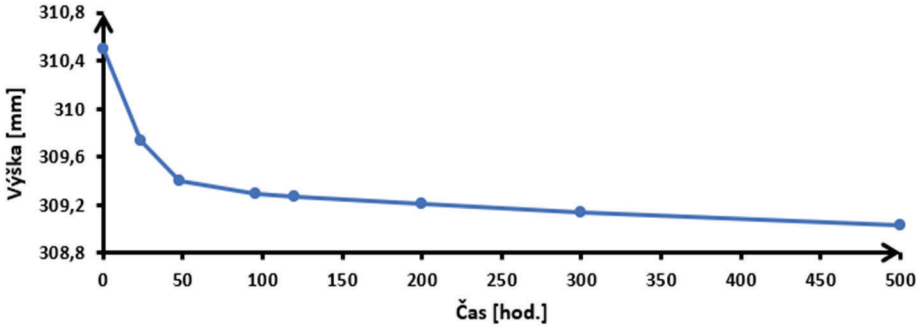
2.1 Pokles výšky

Jedním z nejčastějších důvodů pro vyřazení pružin z provozu je jejich nevyhovující výška. V některých případech je možno ještě před vyřazením pružin použít kalibrační podložku, čímž dojde k nárůstu výšky. Pokles výšky je přirozeným jevem a nelze ho úplně eliminovat. Závisí především na velikosti síly, době působení a technologii výroby. Dovolený pokles výšky pro nově vyráběné pružiny je dle EN13298 jedno procento z výšky během 96 hodin [3]. V některých případech je tak přípustný pokles vyšší, než je šířka tolerančního pole.



Obr. 1 *Změna výšky primárního vypružení příměstského vlaku během životnostní zkoušky*

Fig. 1 *Change of height during fatigue test of primary suspension for suburban train*



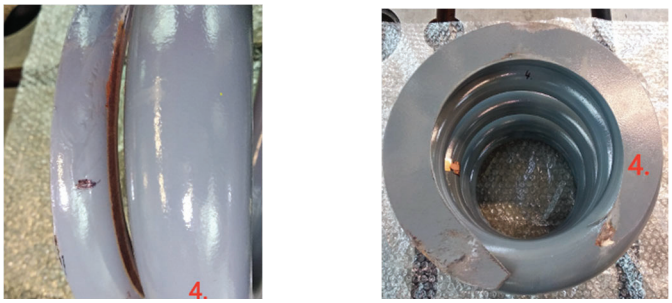
Obr. 2 *Změna výšky při creepové zkoušce dle EN13298*

Fig. 2 *Change of height during creep test acc. to EN13298*

Na ***obr. 1*** lze sledovat pokles výšky v průběhu životnostní zkoušky pružin primárního vypružení příměstského vlaku. Nejvyšší smykové napětí během zkoušky bylo 611 MPa dle EN13906-1. Největší změnu lze pozorovat během prvních 100 tisíců cyklů. Následně se pokles výšky výrazně snižuje. Tyto změny lze velmi dobře předpovídat i pomocí creepové zkoušky dle EN13298. Výsledky této zkoušky u stejné pružiny lze sledovat na ***obr. 2***. Pružina byla při této zkoušce zatížena na napětí 658 MPa. Největší pokles je patrný během prvních 48 hodin, což odpovídá v případě kmitání prvním 100 tisícům cyklů.

2.2 Mechanické opotřebení

V průběhu provozu dochází ke vzájemnému kontaktu mezi závěrným a prvním činným závitem pružiny. Tento požadavek je normativně podložen v EN13298, kdy pružina musí při stanovené síle dosahovat délku kontaktu alespoň jedné třetiny středního průměru pružiny [3]. Dále dochází ke vzájemnému kontaktu mezi dosedací plochou pružiny a částí podvozku. Mechanické opotřebení po 2 mil. cyklů během životnostní zkoušky lze sledovat na ***obr. 3.***

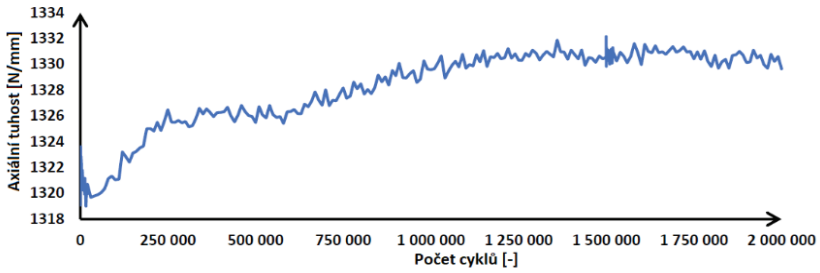


Obr. 3 *Opotřebení mezi závity nalevo a dosedací ploše pružiny napravo*

Fig. 3 *Wearing between coils on the left and top surface on the on the right*

Vlivem mechanického opotřebení mezi závity dochází k postupné změně průřezu. Při zahájení provozu mají oba závity kruhový průřez (výjimku tvoří pružiny, jejichž závěrný závit je před navíjením vykován do obdélníkového průřezu). Vlivem dynamického zatěžování dochází k postupné deformaci kruhového průřezu, čímž se z liniového kontaktu stává plošný kontakt. V závislosti na průměru materiálu, délce kontaktu a zatížení může být tato deformace i několik milimetrů. Deformace průřezu se postupem provozu ustaluje se snižujícím se kontaktním tlakem. Kromě změny průřezu dochází i k postupnému prodlužování kontaktní linie mezi závity. Prodlužující se kontaktní linie způsobuje nárust osové tuhosti a částečně i snížení výšky [4].

Postupnou změnu osové tuhosti v průběhu životnostní zkoušky u primárního vypružení lokomotivy lze sledovat na ***obr. 4.*** V prvotní fázi zkoušky dochází k nárůstu osové tuhosti a následně k jejímu ustálení.



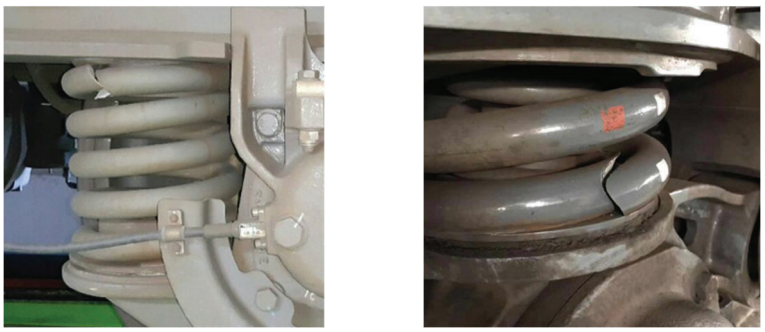
Obr. 4 *Změna axiální tuhosti primárního vypružení lokomotivy během životnostní zkoušky*

Fig. 4 *Change of axial stiffness during fatigue test of primary suspension for locomotive*

Tento trend ve zvyšování tuhosti lze sledovat na všech pružinách, které se v rámci zavádělí do sériové výroby podrobují životnostním zkouškám. Jedná se o změny v řádu až několika jednotek procent (standardní tolerance osové tuhosti je +/- 5% [3]). Náchylnější na tuto změnu jsou především pružiny s větším průměrem a menším počtem závitů (typické pro vnější pružiny primárního vypružení). Naopak nejmenší vliv lze pozorovat u pružit typu flexi coil.

2.3 Lom pružiny

Méně častým, ale o to závažnější důvodem pro výměnu pružiny je její lom. Lomem pružiny dochází ke změně v rozložení sil u ostatních pružin v podvozku, které jsou zatěžovány vyšším zatížením. Proto je potřeba prasklou pružinu vyměnit co nejdříve, aby nedošlo k lomu dalších pružin. Lom pružiny může být zapříčiněn několika důvody.



Obr. 5 *Prasklé pružiny*

Fig. 5 *Broken springs*

V případě, že je pružina vyrobena s výrobní vadou nebo vstupní materiál obsahuje nepovolené vměstky, pak lom pružiny nastává relativně brzy po uvedení do provozu. Dalším častým důvodem, který vede k lomu pružiny je její dlouhodobé přetěžování. To může být způsobeno špatným designem pružiny, nebo podvozku, anebo překračování dovoleného zatížení bez absence dorazů. Tento typ vady se typicky objevuje až po několika letech provozu.

2.4 Koroze

Jak již bylo zmíněno v bodě 2.2, tak v některých místech se není možno vyhnout poškození laku. Tato místa se pak stávají iniciací pro šíření koroze. Nebezpečí nastává především pokud je vozidlo dlouho mimo provoz a je vystaveno zvýšené vlhkosti. V těchto případech může povrchová koroze přejít do podpovrchové. U takto napadených pružin již hrozí reálné riziko snížení životnosti.



Obr. 6 *Pružiny napadené korozí*

Fig. 6 *Corroded spring*

V případě pravidelné údržby stačí pružiny vizuálně kontrolovat a případně lokálně ošetřit napadená místa. V případě aplikace kompletně nové povrchové ochrany je třeba dbát zvýšenou pozornost na poškození povrchové kuličkované vrstvy, která výrazným způsobem ovlivňuje životnost. Proto je nežádoucí, aby byla původní barva odstraněna při působení vyšších teplot, otryskána nevhodným abrazivem, nebo byl povrch vybrušován. Vždy je

vhodné kontaktovat výrobce pružin, aby stanovil nejvhodnější způsob opravy, který negativně neovlivní životnost pružiny.

2.5 Nevhodná údržba

Zanedbaná nebo nevhodně provedená údržba může taktéž vést ke snížení životnosti pružin. Především jde o zanedbání v oblasti šíření koroze. Taktéž použití nevhodných saponátů nebo vysokotlaké techniky pro čištění může vést k oslabení povrchové ochrany, což má za následek rozvíjející se korozi. Při opravě na voze či podvozku je třeba dbát zvýšené obezřetnosti při svařování, aby kapky odlétajícího kovu nezasáhly pružinu. V případě zásahu hrozí riziko lomu, jelikož v místě došlo ke změně struktury a odstranění předpětí získaného při kuličkování a předsedání.

3 RENOVACE PRUŽIN

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2, tak se v provozu nelze opotřebení vyhnout. To může vést v některých případech k požadavku na náhradu opotřebené pružiny za novou. U vad uvedených v bodech 2.1 a 2.2 je však takovéto prosté nahrazení zbytečným plýtváním zdroji, jelikož by po opravě dokázaly dále plnit svoji funkci. V případě poklesu výšky je častým důvodem k vyřazení pružiny pouze fakt, že pružina byla vyrobena na spodní hranici tolerance a vlivem přirozeného tečení materiálu se dostala mimo toleranci. Kdežto pružina vyrobená na horní toleranci se vlivem tečení udržela v rámci tolerance a může být nadále využívána v provozu. Obě tyto pružiny jsou stejně kvalitní a jediným neshodným znakem kvality je nevyhovující výška.

V návaznosti na to byl ve společnosti HŽP a.s. vyvinut postup renovace pružin na základě mnohaletých zkušeností s výrobou nových pružin a jejich sledováním v provozu. Z těchto znalostí byl pak stanoven technologický postup opravy, který pružině navrátí požadované parametry dle výkresové dokumentace.

3.1 Technologický postup renovace

Prvotní operací po obdržení vymontovaných pružin z podvozku je vnější ohledání. Pružiny s viditelnými trhlinami nebo výraznou deformací jsou vyřazeny. Taktéž jsou vyřazeny pružiny s velkou důlkovou nebo bodovou korozí na vnitřní straně aktivních závitů. Nejčastěji jsou korozí napadeny spodní strany pružin, protože jsou dlouhodobě vystaveny klimatickým vlivům. Také je nutné sledovat poškození povrchu, které je způsobené kontaktem pružiny s jinou částí podvozku. Problematické jsou především ostré vrypy v aktivních závitech.



***Obr. 7** Povrchové vady po odstranění povrchové ochrany*

***Fig. 7** Surface defects after removal of surface treatment*

Následně dochází k odstranění původní povrchové ochrany pomocí pískování. Vzhledem k tomu, že v pozdější fázi opravy dojde k opětovnému kuličkování povrchu, tak

lze použít i technologii vypálení barvy za zvýšených teplot. Pružiny zbavené povrchové ochrany jsou podrobeny magnetoskopické kontrole trhlin. V případě odhalení trhliny je pružina vyřazena. Zde končí první fáze renovace, kde jsou pružiny roztřízeny na opravitelné a neopravitelné.

Na opravitelné pružiny je na čelo vyjiskřeno evidenční pořadové číslo a na pružinách jsou provedeny kontrolní měření rozměrů a silových charakteristik. Dále probíhá měření tvrdosti pro kontrolu, že pružina byla vyrobena správně v prvovýrobě. V další fázi bude změřená tvrdost sloužit pro stanovení teploty pro ustálení.

Následuje stěžejní část renovace pružin, a tou je zvýšení výšky. Interně je tato operace označena jako „rovnání“. Mezi jednotlivé aktivní závity je postupně vtlačován klín, který způsobí roztažení závitů. Tento postup je aplikován na několika místech pružiny, aby došlo k rovnoměrnému zvětšení mezer ve všech místech pružiny. V případě opravy vysoké tuhosti je klín vtlačován mezi závěrný závit a první činný závit. Klín je navržen tak, aby co nejvíce eliminoval poškození povrchu pružiny. Klín je nutno pravidelně mazat. Po dosažení požadované výšky (s přídavkem na předsedání) jsou stopy po klínu odstraněny zabroušením.



Obr. 8 *Rovnání pružin nalevo, stopy po klínu napravo*

Fig. 8 *Shaping of spring on the left and tool traces on the on the right*

Po operaci rovnání jsou pružiny ustáleny v popouštěcí peci, aby došlo k odstranění lokálního předpětí vzniklého při rovnání. Důležité je, aby při ustalování nedošlo ke změně mechanických vlastností (teplota při ustalování musí být nižší, než byla původní popouštěcí teplota). Po ustálení jsou pružiny předsedány za studena, nebo za tepla podle provozního napětí. Následuje operace kuličkování na parametry dle EN13298. Poté se aplikuje povrchová ochrana dle požadavku zákazníka. Poslední operací je výstupní kontrola, kde jsou změřeny požadované parametry, a vydáno osvědčení o těchto parametrech.

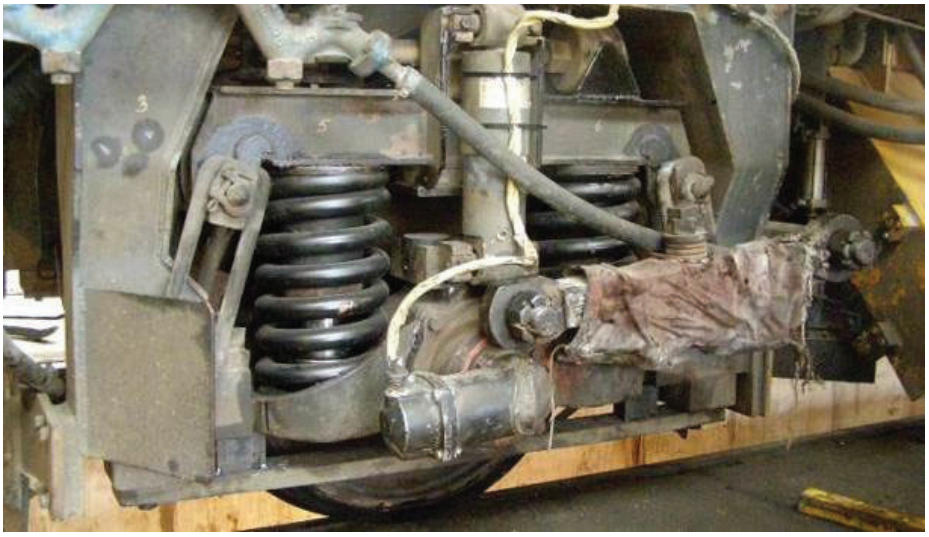
Pružiny je doporučeno do podvozku instalovat obráceně tak, aby spodní část pružin, které byly dříve vystaveny největšímu korozivnímu napadení, byly umístěny v horní části a tím byly maximálně chráněny, aby se tento špatný stav již dále nezhoršoval. Pružiny jsou na čele označeny, aby bylo zřejmé, v jaké poloze mají být do podvozku zamontovány.

3.2 Ověření postupu v provozu

První komerční renovace šroubových pružin byla provedena ve spolupráci se společností Traťová strojní společnost a.s. v první polovině roku 2022. Jednalo se o pružiny primárního vypružení v množství 8 kusů na dvounápravový kolejový pluh KP 900, který je určen pro úpravu štěrkového lože. Pružiny byly v rámci pravidelné údržby vyřazeny z důvodu nízké výšky pod zatížením. Výška byla po mnohaletém opotřebení nižší o cca 50 mm oproti původní výkresové dokumentaci. V rámci renovace provedené dle technologického postupu uvedeného v bodu 3.1 byla všem 8 pružinám navrácena původní

výška dle výkresové dokumentace. Následně byly pružiny úspěšně zamontovány zpět do podvozku. Kromě samotné renovace pružin bylo doporučeno zákazníkovi, aby do konstrukce primárního vypružení byl přidán pevný doraz, který bude bránit přetěžování pružin.

V roce 2023 byl v rámci pravidelné údržby kontrolován stav primárního vypružení. Po roce provozu nebyl evidován téměř žádný pokles výšky u renovovaných pružin. Pozitivně se taktéž projevila implementace pevného dorazu. Stav renovovaných pružin bude nadále sledován v rámci pravidelné údržby pro vyhodnocení dlouhodobého trendu.



Obr. 9 *Zamontované renovované pružiny na kolejovém pluhu KP900*
Fig. 9 *Installed refurbished springs on KP900 track plow*

4 PREVENCE

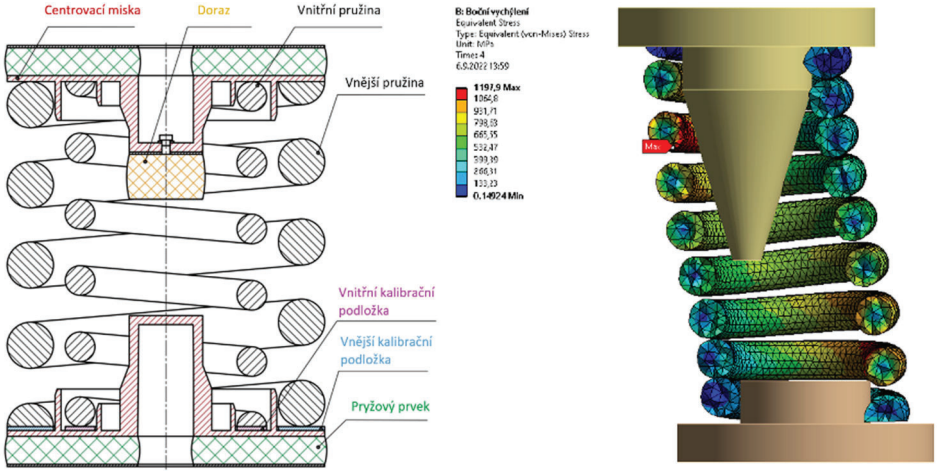
Výrobci podvozků a kolejových vozidel mají již v rámci návrhu a vývoje možnost předcházet negativním dopadům na budoucí opotřebení, a to především na pokles výšky a zvýšení životnosti. Tím je možné výrazně snížit náklady na budoucí údržbu.

4.1 Design vypružení

Konstrukce vypružení by měla být vždy opatřena pevným nebo gumovým dorazem, který brání dlouhodobému přetěžování pružin jak v osovém, tak příčném směru. Konstruktér podvozku by měl definovat v rámci specifikace veškeré zátěžné stavy, a to včetně příčného vychýlení, aby bylo možné provést korektní návrh pružin.

V případě sady dvou a více pružin je velmi důležité dbát na dostatečnou mezeru mezi pružinami. Nedostatečná mezera vede ke vzájemnému kontaktu pružin, čímž je postupně odstraňována kuličkovaná vrstva a tím může dojít k předčasnému lomu. Jako dostatečnou vůli lze považovat alespoň 10 mm. Je však potřeba brát v potaz faktor štíhlostního poměru pružiny. Vyšší štíhlostní poměr vede k většímu vyboulení pružiny a tím k většímu požadavku na mezeru mezi pružinami. Dalším důvodem k předčasnému lomu může být nevhodná konstrukce centrovacích misek a dorazu, jestliže bude docházet ke vzájemné interakci těchto dílů s vnitřní stranou aktivních závitů pružiny. Ve všech výše uvedených případech je vhodné posuzovat vzájemnou interakci již v rámci designu podvozku pomocí FEM analýzy.

Centrovací misky musí umožňovat odvod vody, aby pružina nebyla dlouhodobě ponořena ve vodě, čímž by docházelo k rychlému šíření koroze.



Obr. 10 *Kontrola vzájemné interakce komponent vypružení*

Fig. 10 *Checking the mutual interaction of suspension components*

4.2 Požadavky na šroubové pružiny

Současné normativní požadavky na šroubové pružiny (především EN13298) nekladou dostatečnou váhu na eliminaci nákladů na údržbu. Jedná se především o pokles výšky v průběhu provozu. Pokles se dá výrazným způsobem eliminovat zařazením výrobní operace předsedání pružin za zvýšených teplot okolo 200°C. Tato operace mírně navýší cenu pružiny, ale dojde k výraznému ušetření v rámci údržby. Rozdíl v poklesu výšky mezi pružinou předsedanou za studena (normativní požadavek) a za tepla je až 85 %. I v případě předsedání pružin za tepla se nelze úplně vyhnout poklesu výšky. Pokles je však výrazně nižší a nejčastěji se pohybuje do 0,5 mm.

Dále je nedostatečně popsán požadavek na kontakt mezi závity. Norma EN13298 popisuje pouze požadavek na délku kontaktu mezi závěrným závitem a prvním činným při síle 1,1*Fv (vyšší síla pro měření tuhosti). Stejně důležité je, aby ke kontaktu docházelo mnohem dříve. V optimálním případě by v žádném provozním stavu nemělo docházet ke ztrátě kontaktu mezi závity. Proto by první kontakt měl vznikat již v rozmezí 0,7 ÷ 0,8 * Fa (tárovací síla). V případě vzniku bodového kontaktu v průběhu zatěžování může být výrazně snížena životnost pružiny.

Pro dosažení optimální životnosti pružiny by intenzita kuličkování měla být v rozsahu ALMEN A 0,5 ÷ 0,7. Norma EN13298 však připouští pouze rozmezí ALMEN A 0,4 ÷ 0,6.

4.3 Údržba

Správným stanovením intervalů a úkonů prováděných v rámci údržby lze zvýšit životnost pružin. Důležitá je vzájemná kooperace mezi výrobcem pružin a provozovatelem, aby docházelo k neustálému zlepšování a eliminaci nákladů na údržbu. V případě poklesu výšky, lze velmi často užít kalibračních podložek, které dokážou zvýšit výšku až o několik milimetrů. Záleží především na minimální přípustné výšce pružiny, která omezuje maximální výšku podložky tak, aby nedošlo ke vzájemnému kontaktu závitů v aktivní části. Již při nákupu celých kolejových vozidel je doporučováno odebrat náhradní díly, které budou připraveny k okamžitému nasazení v případě závady, nebo vyřazení.

5 ZÁVĚR

Jedním z nejčastějších důvodů pro vyřazení pružiny z provozu je pokles výšky. Pokles je způsoben přirozeným chováním materiálu a nelze ho úplně eliminovat. Pro tento typ vady lze provést opravu a není nutno pružinu vyřazovat z provozu. Ve společnosti HŽP a.s. byl úspěšně vyvinut postup renovace pružin, kde je stěžejní pro nápravu výšky operace, rovnání. Tento postup je vhodný především pro menší množství kusů. Dochází k významné úspoře času, nákladů a dopadu na životní prostředí. V současné době probíhají testy v provozu, které jsou prozatím velmi povzbudivé pro dlouhodobé užití této metody opravy. Již v rámci vývoje lze eliminovat náklady na údržbu, a to především předsedáním pružin za tepla, pečlivou konstrukcí jednotlivých částí vypružení a vhodnou údržbou.

Literatura

[1] ČD V 22/1: Předpis pro údržbu a opravy vypružení železničních kolejových vozidel Část I. Pružnice nákladních vozů. Praha: ČD, a. s. GŘ Odbor kolejových vozidel, 2006. **[2]** Corporate sustainability reporting. European Commission [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en. **[3]** ČSN EN 13298. Železniční aplikace – Součásti vypružení – Ocelové vinuté pružiny. Praha: ÚNMZ, 2003. **[4]** NEKOKSA, P. Dosedy válcových šroubových tlačných pružin. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 89 s.

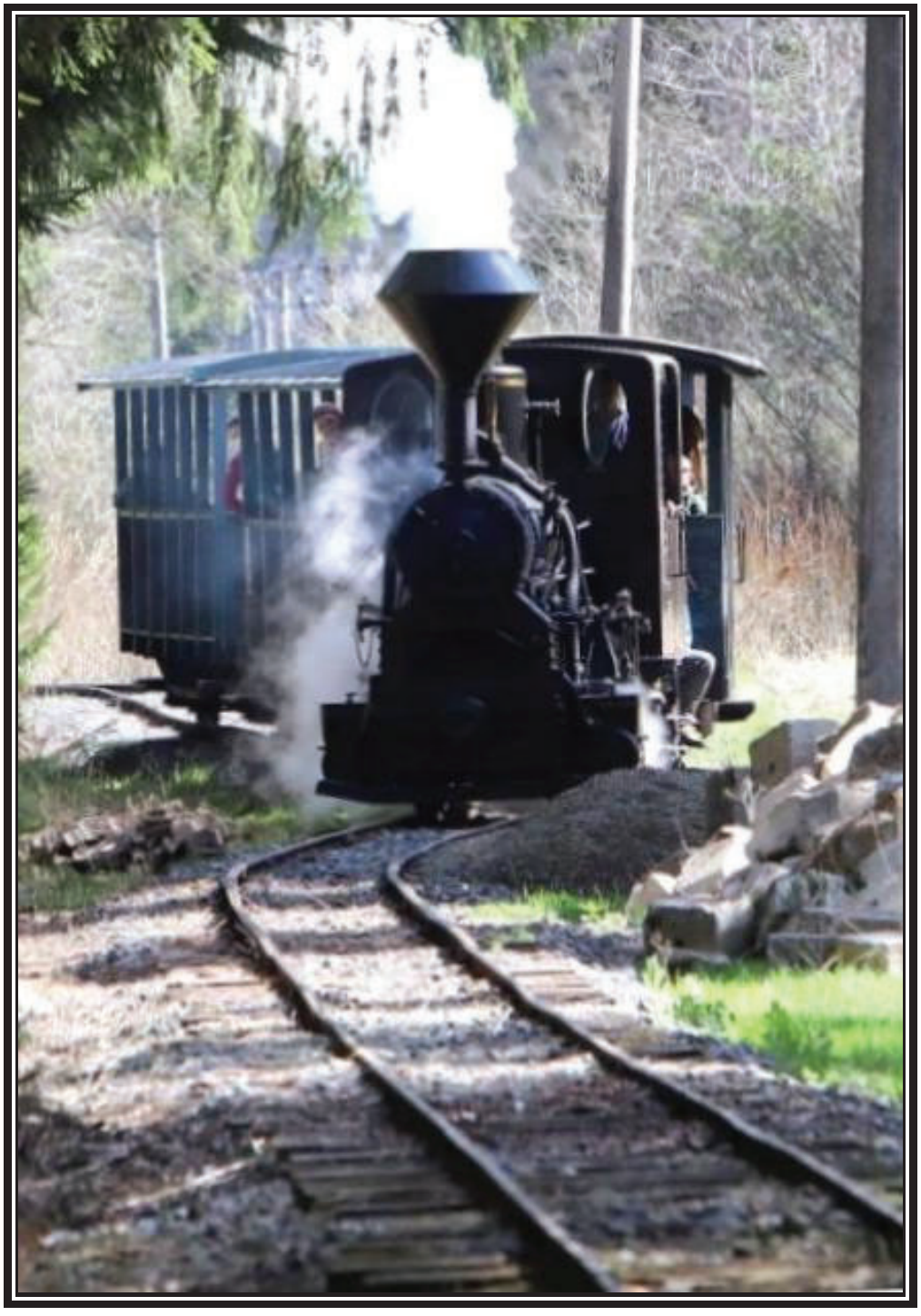
♠ ♠ ♠

Resumé

Příspěvek je zaměřen na renovaci šroubových pružin, které jsou vyřazeny z provozu v rámci pravidelné údržby kolejových vozidel. Výroba nových pružin je z hlediska nákladů, času a dopadu na životní prostředí velmi vysoká, a tak renovace pružin nabízí zajímavou alternativu. Příspěvek popisuje nejčastější důvody vyřazení pružin z provozu, technologický popis renovace a prvotní výsledky renovovaných pružin z provozu. Součástí jsou také doporučení, jak lze již v rámci návrhu a vývoje pružiny minimalizovat náklady na údržbu.

Summary

The article is focused on the refurbishment of coil springs, which are taken out of service as part of the regular maintenance of rolling stock. The production of new springs is very expensive, takes a long time and has great impact on the environment, so spring refurbishment offers an interesting alternative. The article describes the most common reasons for decommission, the technological description of refurbishment and the initial results of renovated springs from operation. It also includes recommendations to minimization of maintenance costs during design and development stage.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA „SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.10

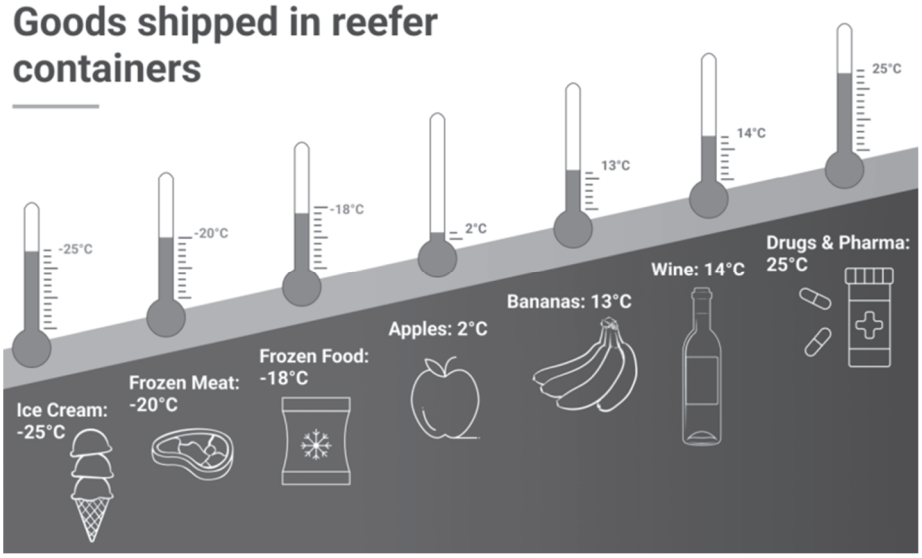
ELEKTRIFIKOVANÝ NÁKLADNÝ VŮZ

ELECTRIFIED FREIGHT WAGON

Libor NOGLÝ *)

1 ÚVOD

Globální trh přepravy chlazeného zboží a zboží s kontrolovanou teplotou (viz ***obr.1***) představuje pro železniční dopravu obrovský pote nciál rozvoje. Současná dopravní infrastruktura pro přepravu běžných chlazených kontejnerů však žádné ekonomické a ekologické řešení v železniční nákladní dopravě nenabízí. Přeprava je řešena především těžkými nákladními automobily a chlazení je zajišťováno nehospodárnými chladicími jednotkami na dieselový pohon.



Obr.1 *Příklady zboží přepravovaného v chladírenských kontejnerech [1]*

Fig.1 *Example of goods shipped in reefer containers [1]*

Dnešní klimatická diskuse o Evropské zelené dohodě podněcuje přechod k železnici. Proto je nutno nabídnout logistický koncept pro tyto přepravy po železnici a zároveň zohlednit ekologické aspekty a digitální technologie.

*)**Ing. Libor NOGLÝ, Ph.D,** VTG Rail Europe GmbH, Hinterbergstrasse 18, CH-6312 Steinhausen, Switzerland, tel. +41 41 727 5598, e-mail: libor.nogly@vtg.com, Technical Support for Intermodal Freight Wagons & Modular Solutions, zabývá se projekty oprav, přestaveb a modernizací nákladních železničních vozů.

2 MOŽNÁ ŘEŠENÍ PRO ELEKTRIFIKACI NÁKLADNÍHO VOZU

V současné době jsou k dispozici 3 řešení pro napájení chladících kontejnerů při železniční přepravě [2]:

- SWS-PowerBox®,
- Diesel generátor,
- napájení přes vlakovou sběrnici 1 – 1,5 – 3 kV ~/= (dle UIC 552).

3 POUŽITÉ ŘEŠENÍ ELEKTRIFIKACE VOZŮ VTG - SWS-POWERBOX®

Firma VTG má od loňského roku ve svém vozovém parku elektrifikované nákladní vozy a nabízí je zákazníkům k pronájmu. S cílem dosažení co nejlepšího poměru ceny a užitné hodnoty byly k montáži zvolené technologie vybrány článkové kloubové kontejnerové vozy řad Sgg(m)rs(s) a Sdggmrs(s).

Tyto vozy jsou osazeny 4 přípojnými místy a je na ně možno ložit 2 až 4 kontejnery nebo výměnné nástavby (v závislosti na jejich délce), příp. 2 silniční návěsy. Po naložení se jejich chladící zařízení připojí kabely do instalovaných zásuvek a zařízení je připraveno k provozu.

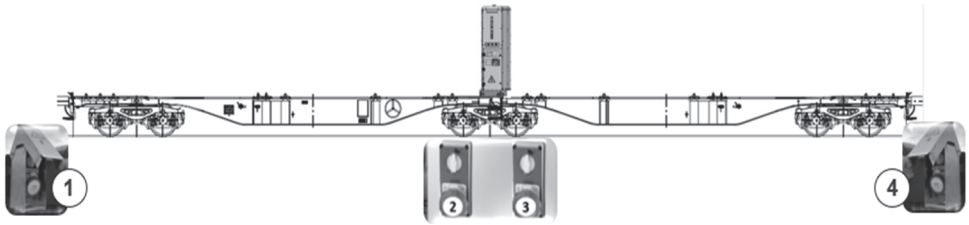
Před vyložením je nutno nezapomenout zařízení vypnout a kabely ze zásuvek vypojit. K tomu účelu je zařízení vybaveno světelnou signalizací, která upozorní na neprovedené odpojení [3].

Zařízení SWS-PowerBox® plně vyhovuje ekologickým požadavkům, není vybaveno spalovacím motorem a nezvyšuje hlukovou zátěž okolí. Charakteristika:

- určeno pro kloubové kontejnerové vozy 80‘, 90‘, 104‘ a kapsové vozy,
- modulární koncepce,
- nulové emise CO_2,
- hluk pod hranicí povolenou pro provoz nákladních vozů,
- jednoduchá instalace „plug & play“,
- možnost připojení všech běžných typů chladících kontejnerů, výměnných nástaveb a návěsů,
- nízké provozní náklady a nízké náklady na údržbu (v porovnání s diesel-generátorem).

3.1 Uspořádání zařízení na voze

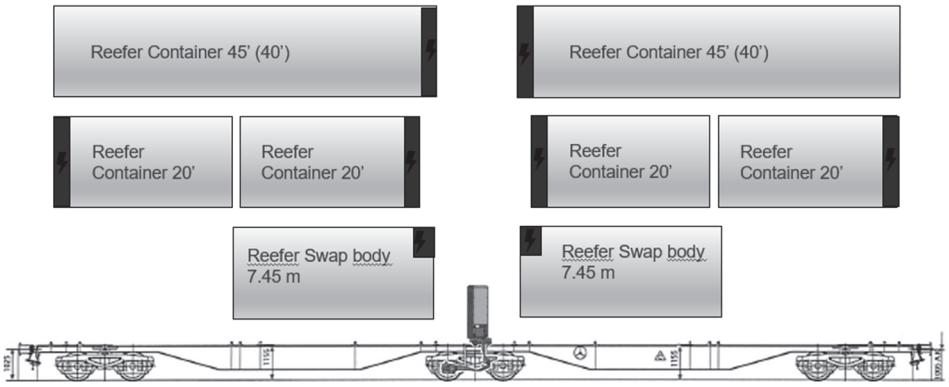
SWS-PowerBox® svými rozměry a uspořádáním umožňuje montáž přímo nad kloubové spojení článků vozu Talbot kloubem. Dvě přípojná místa (zásuvky) jsou přístupná z boční strany vozu, další 2 zásuvky jsou namontovány na čela vozu a propojeny kabely se zařízením uprostřed vozu (viz ***obr.2***).



Obr.2 *Schematické uspořádání zařízení na voze Sggmrs(s) [4]*

Fig.2 *Arrangement of the system elements on the wagon Sggmrs(s) [4]*

Zvolené uspořádání neomezuje ložné schéma vozu (viz ***obr.3***), pouze při výpočtu přípustné hmotnosti ložených kontejnerů je nutno zohlednit hmotnost zařízení SWS-PowerBox®.

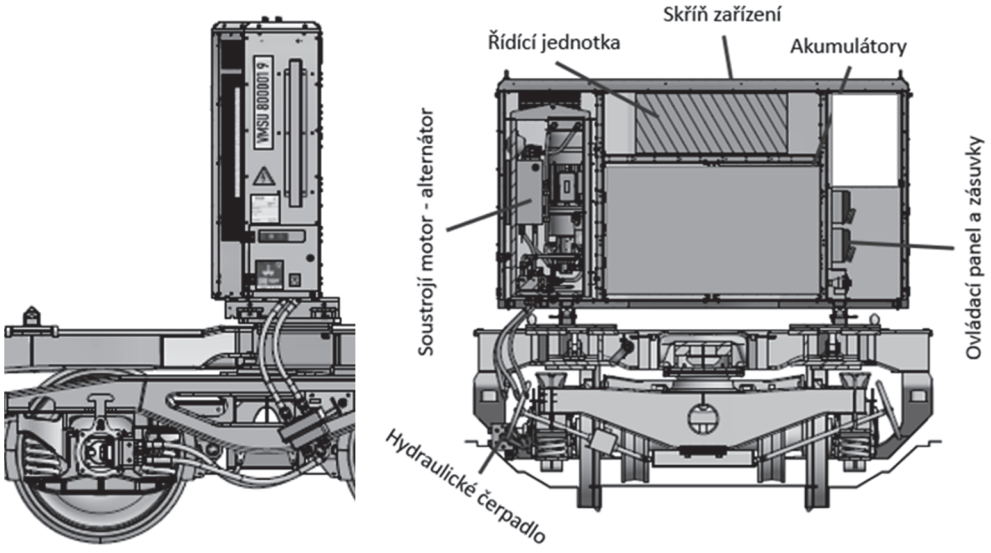


Obr.3 *Ložné schéma vozu Sggmrs(s) vybaveného zařízením SWS-PowerBox® [4]*

Fig.3 *Loading schema of the wagon Sggmrs(s) equipped with SWS-PowerBox® [4]*

3.2 Technická data

SWS-PowerBox® sestává (viz ***obr.4***) ze soustrojí hydrostatického motoru - alternátoru, akumulátorů a řídící jednotky v samostatné skříni umístěné nad kloubovým spojením článků vozu. Na upravenou ložiskovou skříň jednoho dvojkolí je namontováno hydrostatické čerpadlo pro pohon hydrostatického motoru. Se soustrojím ve skříni je propojeno hydraulickými hadicemi [3].



Obr.4 *Schéma uspořádání SWS-PowerBox® [3]*

Fig.4 *Layout of the unit SWS-PowerBox® [3]*

***TAB.1** Technická data SWS-PowerBox® [3]*

***TABLE 1** Technical data of SWS-PowerBox® [3]*

Konstrukční uspořádání	ocelový rám, krycí plechy vybaveny otvory pro přístup vzduchu
Typ akumulátorových baterií	LiFePO4 (Lithium-železo fosfát)
Kapacita akumulátorových baterií	18 až 72 kWh v závislosti na konfiguraci
Výstup	3 x 400 V (až 30 kW)
Elektrické zásuvky	4 x CEE 32 A 4-pólové 3h IP67
Zásuvky pro dobíjení v terminálu	2x CEE 32A typ2, 5-pólové 6h
Rekuperace za jízdy vozu	od 30 do 120 km.h^{-1}, výkon alternátoru až 17,5 kW
Množství oleje v systému	cca 20 litrů longlife oleje
Celková hmotnost	1300 až 1800 kg
Vnější rozměry	2888 x 1650 x 586 mm, nezasahuje do průjezdného průřezu G1

***TAB.2** Hodnoty rekuperace za jízdy vozu [2]*

***TABLE 2** Recuperation values while the wagon is runing [2]*

Rychlost jízdy [km.h^{-1}]	Otáčky dvojkolí [min^{-1}]	Tlak v hydraulickém okruhu, [bar]	Výkon alternátoru [kW]
30	173	189	4,0
60	346	204	8,2
80	461	214	14,5
100	577	217	16,0
120	692	224	17,5

3.3 Datová podpora

Každý vůz je vybaven zařízením VTG-Connect®, které hlásí polohu vozu. SWS-PowerBox® je navíc vybaven vlastním přenosem dat o činnosti systému. Zobrazovaná data v reálném čase [4]:

- počet připojených kontejnerů a místa připojení,
- kapacita instalovaných akumulátorových baterií,
- zbývající kapacita akumulátorových baterií,
- okamžitý odebíraný výkon,
- výstupní napětí,
- odhadovaný čas napájení připojených spotřebičů do vyčerpání kapacity akumulá-torových baterií při stávajícím odběru,
- grafický výstup odebíraného výkonu a rekuperace za posledních 24 h.



***Obr.5** Příklad výstupu dat ze systému [3], [4*

***Fig.5** Example of the data output [3], [4]*

Stav systému napájení kontejnerů je možno si kdykoliv zobrazit (formou vzdáleného přístupu) – viz ***obr.5***.

Pro potřebu diagnostiky činnosti systému sleduje teplotu hydraulického oleje, výšku hladiny oleje v nádrži, teplotu alternátoru, stav spínání a přepínání napájení mezi připojenými kontejnery, vybití akumulátorové baterie pod stanovenou mez a použití nouzového vypínače.

3.4 Provozní nasazení

Při plánování provozního nasazení je potřeba prověřit očekávaný čas přepravy, plánované prostoje (výměna lokomotivy, změna směru, celní řízení, překládka v terminálu) a rychlost vlaku, příp. zjistit kde je možno zařízení dobíjet.

Zařízení může obsluhovat každý, kdo dosud obsluhoval chladírenské kontejnery. Prostřednictvím QR-kódu umístěného na zařízení lze zobrazit stručný návod k obsluze. Zařízení je polepeno nálepkami, které vysvětlují základní funkce, zapojení kontejnerů a významy signalizačních světel.

4 ZÁVĚR

Nabídka elektrifikovaného nákladního vozu představuje rozšíření nabídky ekologické přepravy zboží citlivého na teplotu na dlouhé vzdálenosti a další krok, jak přispět k převodu části nákladní přepravy ze silnice na železnici.

Představené řešení umožňuje určitou flexibilitu při plánování přeprav a vzhledem k digitální podpoře okamžitou informaci o stavu systému a možnost předejít znehodnocení přepravovaného zboží při mimořádnostech v dopravě.

Literatura

[1] xChange Solutions, What is a Reefer Container? Easy guide, www.container-xchange.com, Hamburg, Německo, 2022. **[2] SWS POWER SOLUTIONS,** firemní materiály a prezentace, www.sws-ps.com, Graz, Rakousko, 2023. **[3] SWS PowerBox®** für den Schienegüterverkehr, Handbuch V-4.1, SWS POWER SOLUTIONS, Graz, Rakousko, 2023. **[4] VTG Rail Europe,** firemní materiály a prezentace, Hamburg, Německo, 2023.

♠ ♠ ♠

Resumé

VTG představuje řešení pro „elektrifikovaný“ nákladní vůz: prostřednictvím SWS-PowerBoxu přináší VTG do nákladního vozu elektřinu a zaručuje nepřerušenou dodávku energie pro udržení požadované teploty zboží v kontejneru a/nebo silničním návěsu při přepravě po železnici.

VTG nabízí zákazníkům pronájem 6-nápravových kapsových a kontejnerových kloubových vozů vybavených SWS-PowerBoxem a tím elektrickou přípojkou. To umožní zákazníkům přepravu chladírenských návěsů, kontejnerů a výměnných nástaveb se zbožím citlivým na teplotu a jejich zásobování elektrickou energií vyrobenou a skladovanou ekologicky. Vzhledem k tomu, že přeprava těchto ložných jednotek je v současné době primárně silniční, je to další krok, jak přispět k přechodu nákladní přepravy ze silnice na železnici.

Summary

VTG presents a solution for the "electrified" freight wagon: With the SWS-PowerBox, VTG brings environmentally friendly electricity to the freight wagon and guarantees a gapless compliance of the cooling chain on the rail.

With the SWS-PowerBox VTG offers the customers the possibility to rent 6-axle pocket and container carrying wagons equipped with an electrical power connection. This allows reefer trailers and containers for temperature-sensitive cargo to be transported on the railways and their refrigeration units to be supplied with “green”electricity. Since the transport of these loading units is currently primarily by road, this is the next step to contribute to the shift from road to rail.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.11

VNITŘNÍ USPOŘÁDÁNÍ LOŽISEK NA NÁPRAVĚ – VÝHODNÉ ŘEŠENÍ PRO VÝROBCE VLAKU A VÝZVA PRO DODAVATELE LOŽISEK

INBOARD BEARING ARRANGEMENT – ADVANTAGEOUS SOLUTION FOR TRAIN BUILDER, CHALLENGE FOR BEARING SUPPLIER

Ondřej NOVOTNÝ[*)], Jan BABKA

1 ÚVOD

Tento příspěvěk se věnuje problematice vnitřního (inboard) a vnějšího (outboard) uspořádání nápravové skříně a ložisek na nápravě (***obr. 1***). V současné době se většina železničních podvozků navrhuje jako řešení s vnějším uspořádáním. Ale na základě zkušeností a dalšího vývoje lze předpokládat, že uspořádání s vnitřním rámem se bude stále více používat v konstrukci železničních aplikací.

Konstruktéři podvozků mají dobré důvody, proč volit vnitřní uspořádání ložisek. Přináší jim to několik významných výhod. V první řadě snížení neodpružených hmot, což se projeví ze

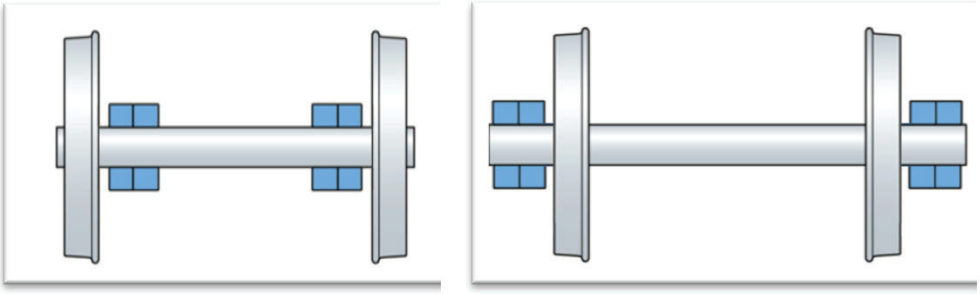
jména snížením celkové hmotnosti vlaku, ale také snížením opotřebení kol a kolejnic, zlepšením jízdních vlastností podvozku a pro nápravu příznivější křivkou ohybového momentu. U vozidel s vyšší rychlostí se také značně zlepší aerodynamické parametry. Vnitřní uspořádání rovněž umožňuje zjednodušení údržby kol. Celkově použití vnitřního uspořádání vede ke snížení LCC a snížení emisí CO2. To jsou důvody, proč železniční průmysl stále více směřuje k vnitřnímu uspořádání.

Princip vnitřního uložení ložisek dvojkolí byl přitom používán již v ranné historii železnice. Již parní lokomotivy byly vybaveny kluznými ložisky s vnitřním uspořádáním. Později začala být pomalejší železniční vozidla, jako například tramvaje, vybavována valivými ložisky s vnitřním uspořádáním. Použití vnitřního uspořádání v rychlejších kolejových aplikacích se začalo objevovat daleko později. První rychlejší aplikace se objevily ve Velké Británii v 80. letech minulého století. Právě tam došlo k postupnému mapování a řešení jednotlivých technických výzev provázející vnitřní uložení, zejména kontaktní koroze. Během let tyto britské podvozky prošly několika vývojovými generacemi a dnes je lze považovat za velmi úspěšné a spolehlivé konstrukce. Vnitřním uspořádáním jsou dnes vybaveny i další vysokorychlostní aplikace, jako například běžné podvozky dálkových vysokorychlostních vlaků Intercity-Express Německých drah.

Článek se zabývá několika technickými problémy způsobenými vnitřním uspořádáním ložisek kol a nastiňuje jejich možná řešení. Jednotlivé technické výzvy jsou rozděleny do dvou hlavních kapitol.

[*)] **Ing. Ondřej NOVOTNÝ, Ph.D.,** SKF CZ a.s., Dělnická 1628/9 Holešovice, 170 00 Praha 7, Tel.: +420 603 821 503, e-mail: ondrej.novotny@skf.com.

2 **Ing. Jan BABKA,** SKF CZ a.s., Dělnická 1628/9 Holešovice, 170 00 Praha 7, Tel.: +420 603 428 740, e-mail: jan.babka@skf.com.



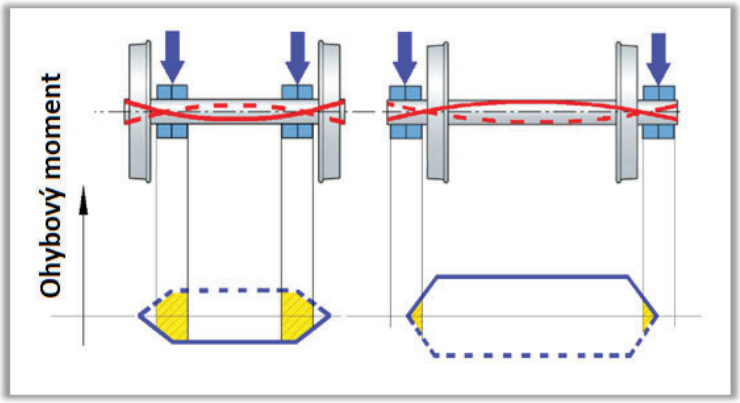
Obr. 1 *Vnitřní a vnější ložiskové uspořádání*

Fig. 1 *Inboard and Outboard bearing arrangement*

2 VÝZVA ČÍSLO JEDNA: UMÍSTĚNÍ NÁPRAVOVÉHO LOŽISKA V BODĚ MAXIMÁLNÍHO OHYBOVÉHO MOMENTU

V případě vnitřního uspořádání je průhyb nápravy menší než v případě klasického uspořádání. Při pohledu na průběh ohybového momentu vnitřního uspořádání (***obr. 2***) je zřejmé, že pokud chceme zajistit, aby ložisko nebylo namontováno v oblasti nejvyššího ohybového momentu, musí být umístěno co nejblíže ke kolu. To není vždy zcela možné. Proto je obvykle v případě vnitřního uspořádání ložisko umístěno na nápravě v oblasti blízké maximálnímu ohybovému momentu nápravy. Navíc moment mění svůj směr při každé půlotočce dvojkolí. Měnící se čára průhybu a průběh momentu jsou vyjádřeny na ***obr. 2*** plnými a přerušovanými čarami. K tomuto rotačnímu ohybu samozřejmě dochází i v případě vnějšího uspořádání. Tam je však ložisko namontováno na nápravě na mnohem klidnějším místě, pokud jde o rotační ohyb. Na ***obr. 2*** jsou žlutě (šrafovaně) vyznačeny pro ložiska kritické oblasti.

- Pokud jsou vnitřní kroužky ložiska namontovány na nápravě v oblasti s tak intenzivním rotačním ohybem, zvyšuje se riziko dvou škodlivých jevů:
- Postupné uvolňování a následné protáčení vnitřního kroužku na nápravě (creep).
- Styková koroze na čelech nosných dílů namontovaných na nápravě a jejich přilehlých součástech.



Obr. 2 *Průběh ohybového momentu železniční nápravy při čistě radiálním zatížení*

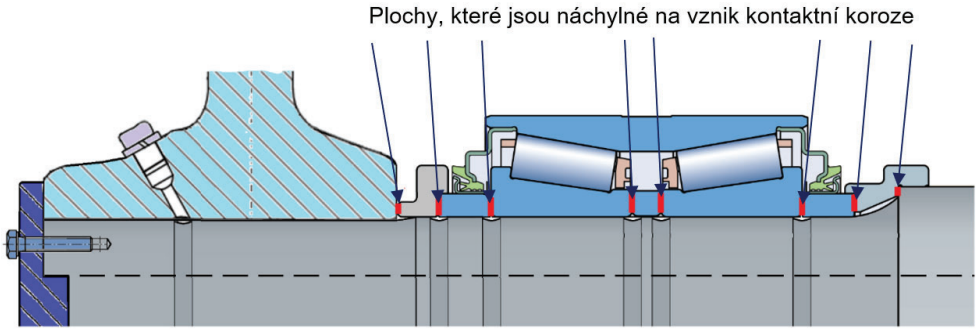
Fig. 2 *Course of the bending moment of the railway under purely radial loading*

Na první pohled by se zdálo, že první riziko, tedy nebezpečí protočení vntřního kroužku v jeho uložení na nápravě, by mohlo být eliminováno jednoduše zvýšením přesahu uložení. To by však bylo možné pouze tehdy, pokud by se spolu se zvýšením přesahu také zvětšil průřez vnitřního kroužku ložiska. Pouze za této podmínky nehrozí překročení mezní pevnosti vnitřního kroužku a nebezpečí prasknutí kroužku. Zvýšení proporcí ložiska ve vnitřním uspořádání však není možné z následujících důvodů:

- Díra vnitřního kroužku musí být větší než díra kola, jinak by nebylo možné namontovat ložiska mezi kola
- Pokud bychom chtěli aplikovat na ložisko s větším vnitřním průměrem stejné proporce, jaké jsou obvyklé pro vnější ložiska nebo i větší, vedlo by to k neúměrně velkému vnějšímu průměru ložiska, pro který není v této části podvozku dostatek místa

Z důvodu výše zmíněné problematiky se správná konstrukce vnitřního ložiskového systému stává předmětem pečlivého vzájmeného ladění několika parametrů: proporcí ložiska, uložení s přesahem, pevnosti materiálu ložiskových kroužků a také axiální polohy ložiska vzhledem ke kolu. Uložení vnitřního ložiska musí být na jedné straně dostatečně pevné, aby se zabránilo pootočení vnitřního kroužku, což by mohlo vést ke vzniku extenzivní kontaktní kororozi, k poškození sedla nápravy nebo dokonce k prasknutí kroužku. Na druhé straně nesmí být uložení s příliš velkým přesahem, protože by to mohlo ohrozit pevnost vnitřního kroužku.

Druhým škodlivým jevem, který je v případě vnitřních ložisek způsoben umístěním vnitřních kroužků v oblasti nápravy s intenzivním rotačním ohybem, jsou intenzivnější relativní mikropohyby čel částí ložisek namontovaných na nápravě vůči jejich přilehlým součástem (opěrný kroužek, centrální distanční kroužek a take distanční kroužky mezi kolem a ložiskem). Schematicky to je znázorněno na ***obr. 3***, kde jsou kritické oblasti vyznačeny červeně. Během otáčení dvojkolí se mění směr relativních mikropohybů červeně označených navzájem přiléhajících čelních ploch dílů. Tyto vzájmené mikropohyby vedou v průběhu času ke vzniku stykové koroze, což znamená ztrátu materiálu a snížení axiálního sevření sestavy ložiska kola. Snížení axiálního sevření vede k větší vůli dílů namontovaných na nápravě a tím k ještě většímu riziku vytváření stykové koroze.



Obr. 3 *Červeně vyznačené plochy jednotlivých dílů jsou zvlášť náchylné na vznik kontaktní koroze*

Fig. 3 *Faces of the parts highlighted in red are particulary susceptible to fretting corrosion in case of inboard arrangemen*

Z tohoto důvodu je nutné ve fázi návrhu vnitřního uspořádání věnovat velkou pozornost snížení počtu dílů v montážním řetězci, optimalizaci axiální svěrné síly a konstrukčním opatřením, která zabraňují předčasné a rozsáhlé tvorbě stykové koroze na čelech dílů.

Obě rizika (protočení vnitřních kroužků a styková koroze na čelech jednotlivých dílů) mohou být v případě vnitřního uspořádání silně podpořena dvěma factory:

- Velikost dutiny v nápravě, která snižuje tuhost nápravy, čímž se zvyšuje amplituda rotačního ohybu nápravy
- Rychlost vozidla. Čím vyšší je rychlost, tím větší je frekvence ohybu otáčení nápravy a tím je vyšší riziko vzniku stykové koroze v uložení díry vnitřního kroužku/sedla nápravy a na čelech dílů. A take to znamená vyšší riziko únavového poškození vnitřního kroužku.

3 VÝZVA ČÍSLO 2: SPRÁVNÁ MONTÁŽ KOLA

Princip montáže vnitřních ložisek kol se neliší od montáže vnějšího uložení ložisek. Podstatným rozdílem je však montáž kola. Kolo je přitlačeno k ložisku, je s ním v přímém fyzickém kontaktu. Proto musí konečná dosedací síla kola respektovat přípustnou svěrnou sílu působící na ložisko. Pokud je ložisko sevřeno příliš velkou silou, může to mít nepříznivý vliv na jeho výkonnost v aplikaci. Naopak, pokud je upnuto příliš malou silou, bude velmi náchylné na kontaktní korozi. Nastavení správného intervalu koncové dosedací síly kola proto představuje pro technologii montáže kola významnou výzvu.

Vnější ložiskové uspořádání nečelí těmto obtížím, protože nemají žádnou interakci s kolem.

4 ZÁVĚR

Návrh železničních ložisek s vnitřním uspořádáním je velmi složitý konstrukční úkol, zejména v případě vozidel s vyššími rychlostmi nebo vyšším zatížením. Proto jejich správná konstrukce vyžaduje včasnou a úzkou spolupráci mezi konstruktérem podvozku a aplikačním technikem výrobce ložiska. Vzájemnou spoluprací tak lze pečlivě optimalizovat veškeré spolu sousedící díly, přesah uložení ložiska a finální svěrnou sílu ložiska po montáži kola. Pokud bude tato optimalizace úspěšná, může vnitřní uspořádání významně přispět k celkovému výkonu ložiska, snížení LCC, šetrnému chování vozidla ke kolejnici a v konečném důsledku také ke snížení spotřeby energie a emisí CO2.

Literatura

[1] SKF Group,: SKF Railway technical handbook, volume 1, July 2011, strana 30 ISBN 978-91-978966-3-4. **[2] Heiko Mannsbarth,:** „Moderne innengelagerte Drehgestelle für den Vollbahnbereich“, Bombardier, 2014, strana 6, 9, 11, 12. **[3] Jan Babka,:** SKF Group, 19. Internationale Schienenfahrzeugtagung Dresden 2023 „Radsätze mit Innenlagerung – vorteilhafte Lösung für Zughersteller, Herausforderung für Lagerlieferanten“. **[4] Global Railway Review, 2013,** : „FLEXX Compact – the most successful platform for regional and commuter trains“**,** https://www.globalrailwayreview.com /article/19492/flexx-compact-the-most-successful-bogie-platform-for-regional-and-commuter-trains/. **[5] SKF Evolution, 2017**,: „Railway order for German Railways“ - https://evolution.skf.com/railway-order-for-german-railways/.

♠ ♠ ♠

Resumé

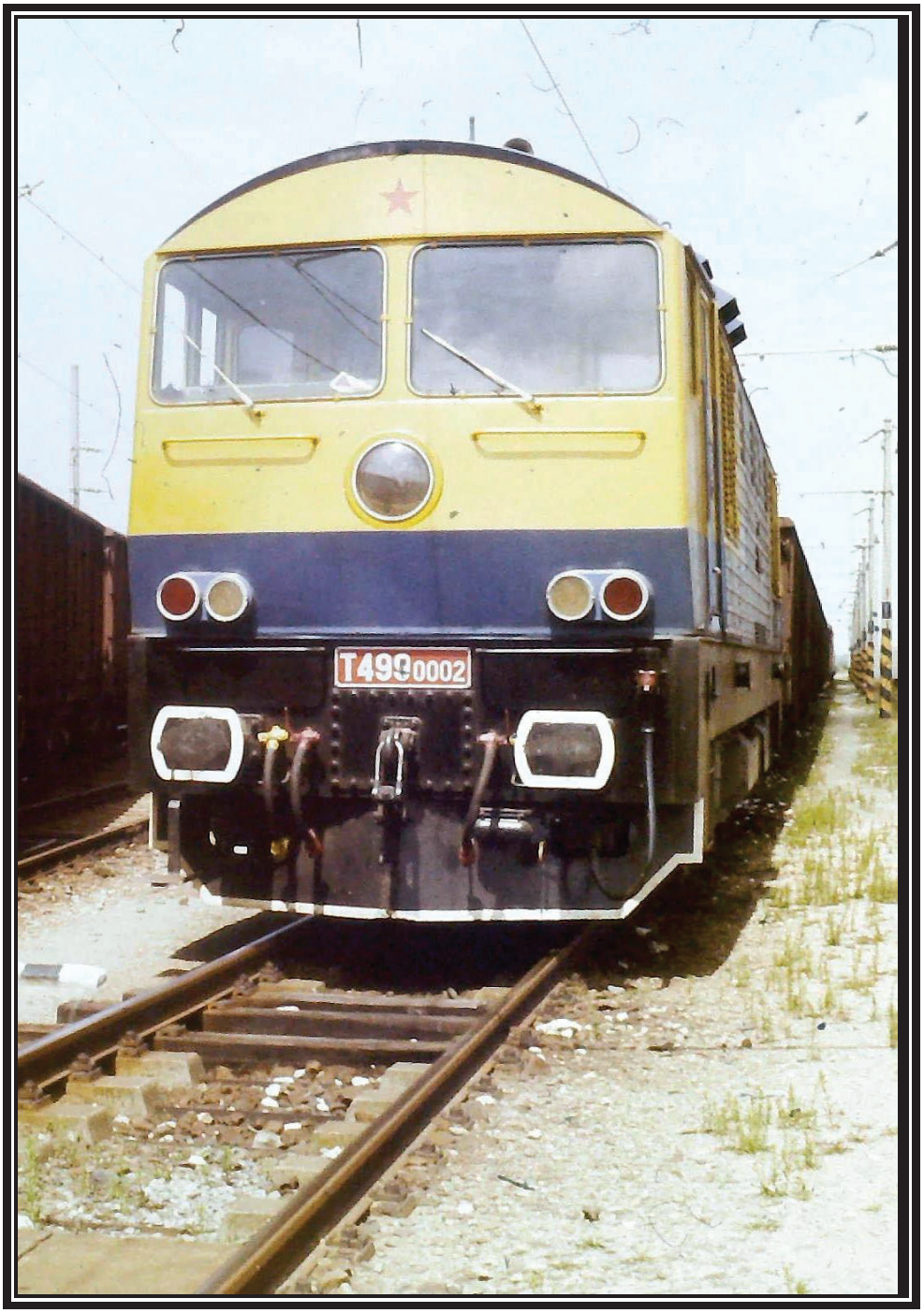
Ve většině případů železničních aplikací jsou nápravové skříně umístěny na koncích náprav. Tradičně mají některá vozidla, jako jsou tramvaje nebo lehká kolejová vozidla, často nápravová ložiska umístěna mezi koly, tzv. Inboard solution. Ovšem takové vnitřní uspořádání ložisek je velmi atraktivním řešením také pro vysokorychlostní vozidla hlavně díky redukci neodpružených hmot a dalším výhodám. Současně ovšem toto řešení přináší

vážné výzvy, jak pro konstruktéra podvozku, tak konstruktéra ložiska. Tento článek se zaměřuje na výzvy vnitřního řešení právě z hlediska ložiska.

Summary

In most rail applications, axleboxes are located at the ends of the axles. Tradidionally, some vehicles, such trams or light rail vehicles, often have the axle bearings placed between the wheels, the so-called Inboard solution. However, such an inboard bearing arrangement is also a very attractive solution for high-speed vehicles mainly due to the reduction of unsprung masses and other advantages. At the same time, however, this solution brings serious challenges for both the bogie designer and the bearing designer. This paper focuses on the challenges of the inboard solutions from the bearing point of view.




T499 0002

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA „SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“ 20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.12

NOVÁ VOZIDLA STADLER – VÝVOJ V ODVĚTVÍ KOL. VOZIDEL

NEW STADLER VEHICLES – DEVELOPMENTS IN THE ROLLING STOCK INDUSTRY

Tomáš OPPOLZER[*)]

1 ÚVOD

Článek popisuje vývoj v odvětví kolejových vozidel v Evropě pomocí dodávek nových vozidel Stadler. Poslední dobou probíhá v jednotlivých následujících zemích v Evropě intenzivní obnova vozidlového parku i díky dodávkám nových vozidel Stadler.

2 OBNOVA VOZIDLOVÉHO PARKU V EVROPĚ

2.1. Polsko

2.1.1. PKP IC

Tento polský národní dopravce v dálkové dopravě obdržel v roce 2014 a 2015 od firmy Stadler objednávku na 20 osmivozových jednopodlažních jednotek FLIRT. Specifikem tohoto projektu byla úprava nízkopodlažních regionálních jednotek FLIRT na vysokopodlažní jednotky (z důvodu požadavku zákazníka na stejnou výšku podlahy v prostoru pro cestující v celé délce jednotky) pro dálkovou dopravu se zástavbou kuchyně a vlakového bistra včetně oddílu pro přenocování personálu kuchyně se samostatným WC se sprchou a oddílu pro přepravu kusových zásilek.

Ty jednotky disponují 360 místy k sezení, z toho 60 míst k sezení je v 1. třídě a jednotky jsou nasazeny v dálkové dopravě napříč celým Polskem a vykazují vysokou provozní spolehlivost. Maximální rychlost těchto jednotek činí 160 km/h a délka vozidla je 153 metrů.

V roce 2021 si tento dopravce objednal dalších 12 osmivozových jednotek FLIRT.

[*)] **Ing. Tomáš OPPOLZER, PhD.,** Vedoucí oddělení Fachengineering, Stadler Praha s.r.o. Kutvirtova 339/5, 150 00 PRAHA 5, Česká republika. Tel.: +420 257 404 914, M.: +420 724 913 478, e-mail: tomas.oppolzer@stadlerrail.com 51 letý, zabývá se konstrukcí kolejových vozidel.



Obr. 1 (Fig. 1) *EMU FLIRT PKP IC*

2.1.2 Koleje Mazowieckie (KM)

Tento regionální dopravce uzavřel v lednu roku 2018 s firmou Stadler rámcový kontrakt na dodávku 71 regionálních nízkopodlažních jednotek EMU FLIRT (61 ks pětivozových a 10 ks dvouvozových jednotek). Dosud byly objednány a dodány všechny pětivozové jednotky. Délka pětivozové jednotky činí 98,2 metrů a jednotky disponují 279 sedadly ve 2. třídě.



Obr. 2 (Fig. 2) *EMU FLIRT KM*

Na požadavek zákazníka byl do těchto jednotek zabudován i defibrilátor.



Obr. 3 *Defibrilátor v jednotkách EMU FLIRT KM*

Fig. 3 *Defibrillator in units EMU FLIRT KM*

2.2. Maďarsko

V dubnu roku 2017 podepsal maďarský národní dopravce MÁV START s firmou Stadler rámcový kontrakt na dodávku 40 ks šestivozových patrových jednotek EMU KISS. Začátkem roku 2023 došlo k dodání poslední 40. jednotky. Délka jednotky činí 155 metrů a jednotky disponují 600 sedadly ve 2. třídě.



Obr. 4 (Fig. 4) *EMU KISS MÁV*

2.3. Slovinsko

V dubnu roku 2018 podepsal slovinský národní dopravce SŽ s firmou Stadler kontrakt na dodávku 26 ks jednotek (5 ks třívozových jednopodlažních jednotek DMU FLIRT, 11 ks čtyřvozových jednopodlažních jednotek EMU FLIRT a 10 ks třívozových patrových jednotek EMU KISS). V roce 2019 došlo k objednání dalších 26 ks jednotek (16 ks třívozových jednopodlažních jednotek DMU FLIRT a 10 ks čtyřvozových jednopodlažních jednotek EMU FLIRT).

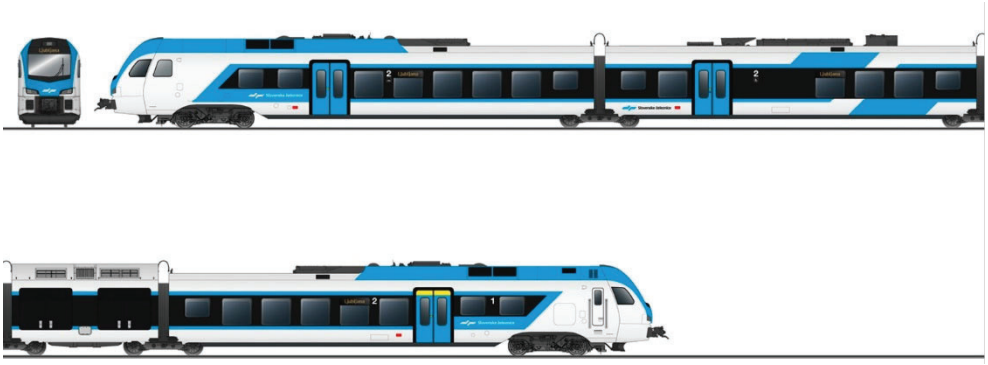
Všechny tyto jednotky jsou již dodány zákazníkovi a schváleny pro provoz ve Slovinsku. V době vzniku tohoto příspěvku probíhá schvalování obou jednotek FLIRT (DMU i EMU) pro provoz v Rakousku a Chorvatsku.



Obr. 5 *Jednotky DMU FLIRT, EMU FLIRT a EMU KISS SŽ*

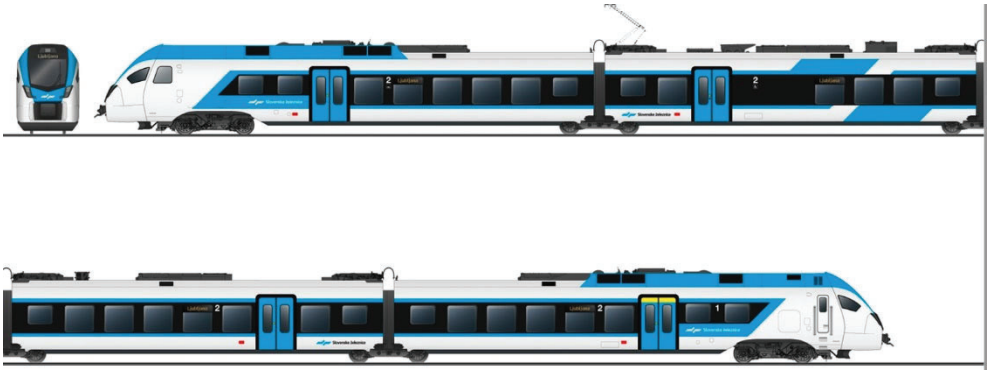
Fig. 5 *Units DMU FLIRT, EMU FLIRT and EMU KISS SŽ*

Třívozové jednopodlažní jednotky DMU FLIRT jsou jednotky, kde spalovací motory s generátory jsou zabudovány do hnacího článku tzv. Power packu a jednotky disponují max. výkonem 2x 520 kW. Maximální rychlost těchto jednotek činí 140 km/h a jednotky disponují 171 místy k sezení, z toho 12 místy k sezení v 1. třídě. V červnu 2023 podepsal slovinský národní dopravce s firmou Stadler kontrakt na dodávku dalších 20 kusů třívozových jednopodlažních jednotek DMU FLIRT.



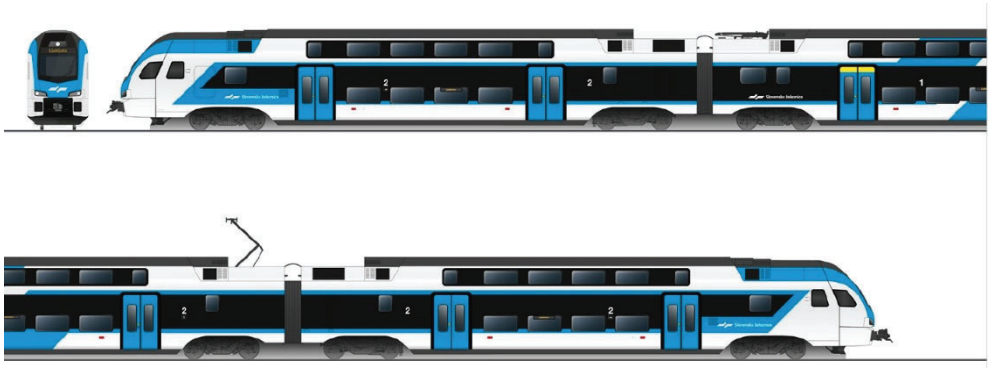
Obr. 6 (Fig. 6) *DMU FLIRT SŽ*

Čtyřvozové jednopodlažní jednotky EMU FLIRT jsou vzhledem k požadavku zákazníka na provoz ve Slovinsku (napájecí systém 3kV DC), v Rakousku (napájecí systém 15kV 16,7 Hz AC) a Chorvatsku (napájecí systém 25kV 50 Hz AC) konstruovány jako třísystémové jednotky. Maximální rychlost těchto jednotek činí 160 km/h, maximální trakční výkon 3000 kW a jednotky disponují 235 místy k sezení, z toho 12 místy k sezení v 1. třídě.



Obr. 7 (Fig. 7) *EMU FLIRT SŽ*

Třívozové patrové jednotky EMU KISS jsou vzhledem k požadavku zákazníka na provoz pouze ve Slovinsku (napájecí systém 3kV DC) konstruovány jako jednosystémové jednotky. Maximální rychlost těchto jednotek činí 160 km/h, maximální trakční výkon 3000 kW a jednotky disponují 292 místy k sezení, z toho 16 místy k sezení v 1. třídě.



Obr. 8 (Fig. 8) *EMU KISS SŽ*

2.4. Slovensko

V roce 2018 podepsal slovenský národní dopravce ŽSSK s firmou Stadler kontrakt na dodávku 5 ks ozubnicově adhezních úzkokolejných (1000 mm) dvouvozových jednotek EMU GTW pro ozubnicovou železnici OŽ a síť Tatranských elektrických železnic. Jednotky GTW jsou typické tím, že celá trakční výzbroj je umístěna v hnacím článku tzv. Power packu. Společně s těmito jednotkami byl podepsán kontrakt na 1 ks ozubnicově adhezní lokomotivu se samostatným sněžným pluhem pro údržbu výše uvedených tratí.

Všechny jednotky i lokomotiva jsou již dodány zákazníkovi a schváleny pro provoz na Slovensku. Maximální rychlost těchto jednotek v adhezním režimu činí 80 km/h, maximální trakční výkon 900 kW a jednotky disponují 91 místy k sezení.



Obr. 9 (Fig. 9) *EMU GTW ŽSSK*

V roce 2021 podepsal slovenský národní dopravce ŽSSK s firmou Stadler kontrakt na dodávku 4 ks šestivozových jednosystémových (pro napájecí systém 25 kV 50Hz) patrových jednotek EMU KISS. Maximální rychlost těchto jednotek činí 160 km/h, maximální trakční výkon 6000 kW, délka jednotky činí 156 metrů a jednotky disponují 611 místy k sezení, z toho 30 místy k sezení v 1. třídě.



Obr. 10 (Fig. 10) *EMU KISS ŽSSK*

2.5. Rakousko

Začátkem roku 2022 podepsal rakouský národní dopravce ÖBB s firmou Stadler rámcový kontrakt na dodávku až 186 ks patrových dvousystémových (15 kV 16,7 Hz AC a 25 kV 50Hz AC) jednotek EMU KISS. Jednotky jsou určeny pro příměstskou dopravu, dálkovou dopravu a pro transport na letiště.



Obr. 11 (Fig. 11) *EMU KISS ÖBB*



Obr. 12 *Vozidlové varianty jednotek EMU KISS ÖBB*

Fig. 12 *Vehicle variants of unit EMU KISS ÖBB*

V dubnu roku 2022 byla uskutečněna první objednávka na 41 ks jednotek (20 ks šestivozových a 20 ks čtyřvozových jednotek EMU KISS ÖBB) pro příměstskou dopravu. Maximální rychlost těchto jednotek činí 160 km/h a v šestivozové verzi nabízí 610 míst k sezení a ve čtyřvozové nabízí 380 míst k sezení.



Obr. 13 *Jednotka EMU KISS ÖBB pro příměstskou dopravu*

Fig. 13 *Unit EMU KISS ÖBB for suburban transport*

Začátkem dubna roku 2023 byla uskutečněna druhá objednávka na dalších 35 ks jednotek (14 ks šestivozových a 21 ks čtyřvozových jednotek EMU KISS ÖBB) tentokráte však pro dálkovou dopravu. Maximální rychlost těchto jednotek činí 200 km/h a v šestivozové verzi nabízí 514 míst k sezení, z toho 47 míst v 1. třídě a ve čtyřvozové nabízí 306 míst k sezení, z toho 43 míst v 1. třídě.



Obr. 14 *Jednotka EMU KISS ÖBB pro dálkovou dopravu*
Fig. 14 *Unit EMU KISS ÖBB for long distance transport*

3 ZÁVĚR

Jak z článku vyplývá, probíhá v jednotlivých zemích ve střední Evropě intenzivní obnova vozidlového parku a do provozu u jednotlivých dopravců přichází velké množství energeticky úsporných Stadler jednotek FLIRT a KISS. Jednotlivá vozidla poskytují velmi dobrý komfort cestování a přispívají k rozvoji železniční dopravy v jednotlivých výše uvedených zemích.

Literatúra

[1] Stadler: Typové listy jednotlivých vozidel.

♠ ♠ ♠

Resumé

Článek popisuje vývoj v odvětví kolejových vozidel – dodávky nových vozidel Stadler na Evropský trh. Specifikuje jednotlivá dodaná vozidla a jejich hlavní parametry a specifika každého vozidla. Příspěvek poskytuje celkový přehled o nově dodaných vozidlech Stadler do celé Evropy se zaměřením se na dodávky nových vozidel do zemí střední Evropy.

Summary

Article describes developments in the rolling stock industry – deliveries of new Stadler vehicles to the European market. It specifies the individual delivered vehicles and their main parameters and the specifies of each vehicle. Article provides an overall overview of the newly delivered Stadler vehicles to the whole of Europe, with a focus on the delivery of new vehicles to the countries of Central Europe.

26th INTERNATIONAL CONFERENCE „CURRENT PROBLEMS IN RAIL VEHICLES - PRORAIL 2023“ September 20 – 22, 2023, Žilina, Slovakia

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.13

SUBSTANTION OF THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF THE DEVICE FOR PARALLEL RETRACTION OF BRAKE SHOES FOR FREIGHT WAGONS

ODÔVODNENIE ENVIRONMENTÁLNEJ ÚČINNOSTI ZAVEDENIA ZARIADENIA NA ROVNOMERNÉ OPOTREBOVANIE KLÁTIKOV NÁKLADNÝCH VOZŇOV

Sergii PANCHENKO, Juraj GERLICI, Alyona LOVSKA, Vasyl RAVLYUK[*)]

1 INTRODUCTION

The lower transportation cost is of utmost importance for the railway infrastructure, where the technical condition and reliability of the rolling stock play a major role. The braking equipment is of primary importance for the traffic and environmental safety as well as for energy saving. However, at present there is a critical situation with over-normative wear of brake pads used for freight wagons.

When a freight train moves without braking, the upper edges of brake pads are inclined and pressed to the rolling surface of wheels, therefore, they suffer excessive wear. It causes additional specific resistance to the train movement and increases the consumption of diesel fuel for the train haulage that results in the increased emissions of harmful gases into the environment. Due to the dual wedge-shaped wear, the service life of brake pads does not reach 50 % of its potential. Therefore, they are frequently replaced with new ones due to a threat to the traffic safety despite large residues of the working body; and old pads are sent to landfills (***fig. 1***).

prof Ing. Sergii PANCHENKO, Dr.Sc.Tech., Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbakh sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050 Tel.: +380577301032, e-mail: panchenko074@ukr.net.

prof Ing. Juraj GERLICI, Dr.Ing, University of Žilina, Univerzitna 1, 010 26 ŽILINA, Slovakia. Tel.: +421(41)513 2550, e-mail: juraj.gerlici@fstroj.uniza.sk.

prof Ing. Alyona LOVSKA, Dr.Sc.Tech., University of Žilina, Univerzitna 1, 010 26 ŽILINA, Slovakia. Tel. +421(41)513 2668, e-mail: alyona.lovska@fstroj.uniza.sk.

[*)] **assoc. prof. Ing. Vasyl RAVLYUK, Ph.D.,** Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbakh sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +380954445974, e-mail: ravvg@ukr.net.

a) b)

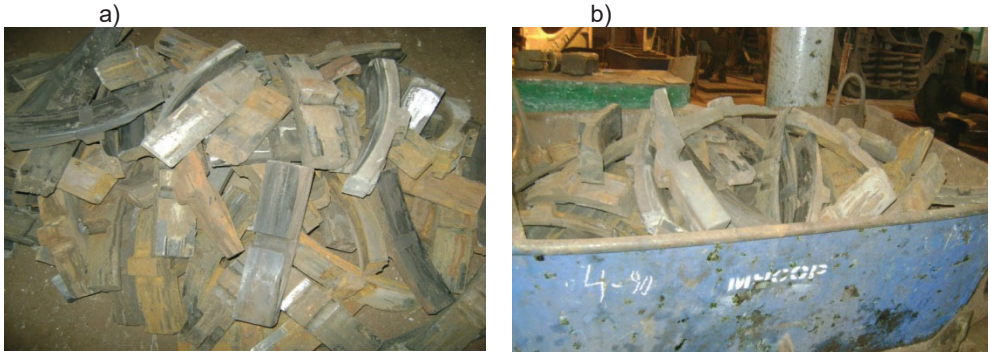


Fig. 1 *Composite brake pads with the dual wedge-shaped wear removed from wagons a) with large residues of the working body; b) prepared for disposal at municipal landfills*

Obr. 1 *Klinové dvojité opotrebované kompozitné brzdové doštičky odstránené z vozňov a) s veľkými zvyškami pracovnej karosérie; b) pripravené na odvoz na mestské skládky*

2 ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

Specialists and scientists from many countries including Ukraine have tried to change the difficult situation in the wagon industry regarding the excessive replacement of composite brake pads with the dual wedge-shaped wear by designing special devices to eliminate this wear. Some studies [1] were carried out on full-scale samples of rail vehicles, where the reliability of brake systems of bogies was tested and the values of wear and temperature were measured [2].

Study [3] presents an analysis of the performance indicators of cast-iron and composite brake pads used for various types of the rolling stock. Some negative features of composite brake pads, which can damage the rolling surfaces of wheels of the rolling stock, thus leading to increased costs of freight transportation, were analysed. Moreover, the authors described the negative environmental effect of using composite brake pads.

The research of the design features of innovative brake systems of modern rolling stock is given in [4]. The main factors affecting the braking efficiency were identified. The temperature load on the components of the tribotechnical pair “brake pad-wheel” during the braking of a rail vehicle was calculated. However, the research did not take into account the negative impact of the dual wedge-shaped wear of a composite pad, which frequently occurs in the brake leverage of wagon bogies, on the environment due to the harmful emissions.

Study [5] presents a review of publications and an analysis of the quality performance of cast-iron and composite pads. The authors also described the disadvantages of composite brake pads, such as low thermal conductivity on the rolling surfaces of wagon wheels, which can cause numerous thermal malfunctions. They can cause additional expenditures for the repair of wagon wheelsets. Another significant disadvantage is the environment pollution caused by the harmful substances emitted during the operation of composite brake pads. It worth noting that the authors did not give the operating costs resulting from the dual wedge-shaped wear and higher specific resistance to the train movement, which also negatively affects the environment.

The analysis of literature on the environmental protection has demonstrated that special attention is given to pollutants in the form of suspended particulate matter with various dispersions, which is emitted to the atmosphere by the railway infrastructure. This particulate matter (PM) is formed from brake pads of wagons during their wearing-out.

The most hazardous suspended particulate pollutants are fine particles with a size of 10 μm or less (PM10, PM2.5), which account for about 70% of the total suspended matter. Fine particles are a heterogeneous mixture of organic and inorganic substances. The PM10 is maintained in the air for a long time in the areas where trains run along individual sections with stations or stopping points, and their highest concentration is at an altitude of 1-1.5 m (in the breathing zone). Due to the microscopic sizes, such particles easily penetrate into the human lungs, accumulate there, and subsequently cause various respiratory, oncological and cardiovascular diseases.

The harmful molecular-mechanical wear in the high-temperature environment due to the application of the polymer composite brake pad 2TR-11 is accompanied by the formation of a poisoned environment near each moving train [6].

Unfortunately, the problem related to the dual wedge-shaped wear of composite brake pads for freight wagons cannot be solved when the pads are already in operation, because the design of the brake leverage is very complex and it may increase the weight and the number of parts, which will definitely require higher costs of scheduled repairs of freight wagons.

3 DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF THE DEVICE FOR PARALLEL RETRACTION OF BRAKE SHOE OF FREIGHT WAGONS

The traction rolling stock requires energy and material resources for operation, besides it interacts with the environment. The consumption of these resources and the impact on the environment depend on the technical characteristics of the traction equipment as well as many operational factors.

In recent years, some countries phase in the restrictions on harmful substances in the exhaust gases emitted by diesel locomotives. Thus, Directive 97/68/EC and Standard UIC-624 (E) of the International Union of Railways provide for the tightening of norms of harmful emissions from railway diesel engines. As far as Ukraine must adhere to these environmental standards, there are certain requirements for diesel locomotives regarding the emission of harmful substances (***TABLE. 1***).

TABLE 1 *Environmental requirements for diesel locomotives*

TAB. 1 *Environmentálne požiadavky na dieselové lokomotívy*

Document	Hazardous substances, g/kW·year			
	NOx (nitrogen oxides)	CO (carbon monoxide)	CH (carbohydrates)	PM (particulate matter)
UIC-624-0	9.9	3	0.8	0.25
Directive 97/68/EC	7.4	3.5	0.4	0.2

The environmental effect is determined as the difference between the environmental damage caused by harmful substances in the exhaust gases emitted by diesel locomotives M62 and 2TE116 when they are used for trains with the typical device M 1180.000 and the environmental damage caused by trains with the device for parallel retraction of brake shoes improved with the UkrSURT technology. This difference is the result of the reduced resistance to the train movement and, thus, lower fuel consumption for the train haulage.

Main harmful substances in the exhaust gases emitted by diesel engines are nitrogen oxides (NOx) and carbon monoxide (CO).

The amount of harmful substances emitted by a diesel locomotive to the atmosphere depends on the amount of fuel consumed and the specific consumption of each component formed in the exhaust gases. The research carried out in Germany demonstrated the averaged values (in grams) by harmful substances emitted by diesel

locomotives per 1 kg of the diesel fuel consumed [7, 8, 9]: CH – 1.4; CO – 10; NOx – 44; soot – 1.3.

The actual specific emission masses by mainline diesel locomotives according to [7, 8, 9] are: NOx – 52.34 kg/t; CO – 11.25 kg/t; CnHm – 8.78 kg/t; C – 2.83 kg/t.

The emission mass of the n-th component of a harmful substance per one turnover of a mainline diesel locomotive is determined by the formula:

$$m_n = m_{nat}^f \cdot G_f, \tag{1}$$

where m_{nat}^f is the actual specific emission mass of the *n*-th component of a harmful substance emitted by a mainline diesel locomotive, kg/ton of fuel; G_f is the fuel consumed by a mainline diesel locomotive per one turnover, t.

The specific emission mass of the *n*-th component of a harmful substance per one unit of operational work 10^4 gross tkm is determined by the formula:

$$M_{natn}^f = \frac{m_n}{\sum Ql_{gr}} \cdot 10^4 = \frac{m_{nat}^f \cdot G_f}{\sum Ql_{gr}} \cdot 10^4, \tag{2}$$

where $\sum Ql_{gr}$ is the freight turnover performed by a mainline diesel locomotive per one turnover, gross tkm.

Take the traction calculation for the mathematical modelling of the actual specific emission mass of the *n*-th component of a harmful substance emitted by a mainline diesel locomotive when it hauls a freight train along the section. The results of determining the specific emission of a harmful substance emitted by diesel locomotives M62 and 2TE116 by different freight wagons as part of the train are given in ***TABLE 2*** and ***3***.

TABLE 2 *Specific emission factors of a harmful substance emitted by a diesel locomotive M62 according to the traction calculation*

TAB. 2 *Špecifické faktory emisií škodlivých látok do ovzdušia dieselového rušňa M62 podľa výpočtu trakcie*

Factor	Freight wagon	
	Basic	New
1. Direction	Unpaired	
2. Specific emission of a harmful substance, kg/10^4 gross tkm:	-	-
NO	1.24	1.15
CO	0.27	0.25
3. Direction	Paired	
4. Specific emission of a harmful substance, kg/10^4 gross tkm:	-	-
NO	1.27	1.16
CO	0.27	0.25
5. Average per turnover		
6. Specific emission of a harmful substance, kg/10^4 gross tkm:	-	-
NO	1.26	1.15
CO	0.27	0.25

TABLE 3 *Specific emission factors of a harmful substance emitted by a diesel locomotive 2TE116 according to the traction calculation*

TAB. 3 *Špecifické faktory emisií škodlivých látok do ovzdušia dieselovým rušňom 2TE116 podľa výpočtu trakcie*

Factor	Freight wagon	
	Basic	New
1. Direction	Unpaired	
2. Specific emission for a harmful substance, kg/10^4 gross tkm:	-	-
NO	1.61	1.34
CO	0.35	0.29
3. Direction	Paired	
4. Specific emission of a harmful substance, kg/10^4 gross tkm:	-	-
NO	1.62	1.36
CO	0.35	0.29
5. Average per turnover		
6. Specific emission of a harmful substance, kg/10^4 gross tkm:	-	-
NO	1.62	1.35
CO	0.35	0.29

Based on the annual operation and the specific emission of a harmful substance per unit of work, the annual emission by the series of diesel locomotives were determined as follows:

– for M62:

$$M_{n_t}^{M62} = \frac{y_{M62} \cdot m_{nat_n}^{M62} \cdot \sum Ql_{gr}^{lt}}{10^4}, \tag{3}$$

- for 2TE116:

$$M_{n_t}^{2TE116} = \frac{y_{2TE116} \cdot m_{nat_n}^{2TE116} \cdot \sum Ql_{gr}^{lt}}{10^4}, \tag{4}$$

where y_{M62}, y_{2TE116} are part of the freight turnover performed by a diesel locomotives M62 and 2TE116, respectively; $m_{nat_n}^{M62}$, $m_{nat_n}^{2TE116}$ are the specific emission masses of the *n*-th component of a harmful substance per a unit of the work 10^4 gross tkm performed by a diesel locomotives M62 and 2TE116, respectively, kg; $\sum Ql_{gr}^{lt}$ is the annual operation turnover performed by a diesel locomotive, million gross tkm.

The economic evaluation of the damage from gaseous harmful substances emitted by a diesel locomotive per year *t* of the calculation period taking into account the relative aggressiveness of the *n*-th harmful substance is determined by the formula:

$$Y_t = y \cdot \sigma \cdot f \cdot \sum_{n=1}^{n=W} (A_n \cdot M_n), \tag{5}$$

where γ is the regulatory constant that translates the conditional estimate of the emissions into the monetary estimate, the numerical value is determined from the percentage calculated according to the cost of one ton of fuel, UAH; σ is the relative safety

of air pollution over the territories of various types, σ=4, it was determined according to [7, 8, 9]; *f* is the correction including the nature of dispersion of the impurities in the atmosphere; A_n is the relative aggressiveness of the *n*-th harmful substance, conditional tonne. According to [7, 8, 9], the following toxic components are taken into account: nitric oxide, carbon monoxide, formaldehyde, acrolein; their numerical values are A_{NO}=41.1 conditional t/t, A_{CO}=1.0 conditional t/t, $A_{form.}$=60 conditional t/t, $A_{acre.}$=20 conditional t/t.

The correction *f* can be determined according to [7, 8, 9] by calculating in advance the correction for the rise in the atmospheric plume according to the formula:

$$\varphi = 1 + \frac{\Delta T}{75}, \tag{6}$$

where ΔT is the average annual temperature difference between the source (diesel locomotive pipe) and the environment at the neck level and take ΔT = 300 ^{0}C.

Then, φ =5.

Under such conditions at the height of the locomotive pipe above the ground *h* = 5 m, then *f* = 0.834.

The initial data for the calculation of the environmental effect are given in ***TABLE 4***.

TABLE 4 *Initial data for the calculation of the environmental effect*

TAB. 4 *Vstupné údaje pre výpočet vplyvu na životné prostredie*

Factor	Value
1. Relative aggressiveness of the *n*-th harmful substance, conditional t/t	
NOx	41.1
CO	1
2. Regulatory constant that translates the conditional estimate of emissions into the monetary estimate (at the rate of 1 % out of the cost of one ton of fuel), UAH	584.3
3. Relative safety of air pollution over the territories of various types	4
4. Correction including the nature of dispersion of impurities in the atmosphere	0.834

The results of the calculation of the annual emissions of harmful substances and the annual damage from harmful substances emitted by diesel locomotives M62 and 2TE116 by freight wagons are given in ***TABLE 5*** and ***6***.

TABLE 5 *The annual emissions of harmful substances and the annual damage from harmful substances emitted by diesel locomotives M62*

TAB.5 *Ročné emisie škodlivých látok a ročné škody z emisií škodlivých látok dieselovými lokomotívami M62*

Factor	Freight wagon	
	Basic	New
1. Specific emission of a harmful substance, gross kg/10^4 tkm:		
NO	1.26	1.15
CO	0.27	0.25
2. Annual freight turnover of a diesel locomotive, million gross tkms	19759	19759
3. Annual emission of a harmful substance, t		
NO	2485	2282
CO	534	491
4. Annual damage from harmful substances, thousand UAH	200085	183784

***TABLE 6** The annual emissions of harmful substances and the annual damage from harmful substances emitted by diesel locomotives 2TE116*

***TAB. 6** Ročné emisie škodlivých látok a ročné škody z emisií škodlivých látok dieselovými lokomotívami 2TE116*

Factor	Freight wagon	
	Basic	New
1. Specific emission of a harmful substance, kg/10^4 gross tkm:		
NO	1.62	1.35
CO	0.35	0.29
2. Annual freight turnover of a diesel locomotive, million gross tkm	19759	19759
3. Annual emission of a harmful substance, t		
NO	3192	2666
CO	686	573
4. Annual damage from harmful substances, thousand UAH	257055	214696

The annual environmental effect is determined as the difference between the annual damage from gaseous pollutants into the atmosphere by a diesel locomotive per year *t* over the calculation period when transporting freight trains with the typical (basic) Y_t^b and the upgraded (new) Y_t^n device for parallel retraction of brake shoes are determined by the formula:

$$\Delta Y_t = Y_t^b - Y_t^n. \tag{7}$$

The annual environmental effect per one freight wagon of the wagon fleet working on the diesel traction is determined by the formula:

$$\Delta y_t = \frac{y_t^{M62} + y_t^{2TE116}}{n_w^{gr}}, \tag{8}$$

where y_t^{M62}, y_t^{2TE116} are the annual environmental effect per the freight wagon fleet serviced by diesel locomotives M62 and 2TE116, respectively, UAH; n_w^{gr} is the wagon fleet working on the diesel traction.

The results of the calculation of the annual environmental effect per one freight wagon of the working fleet by diesel locomotive series are given in ***TABLE 7***.

***TABLE 7** The annual environmental effect per one freight wagon of the working diesel locomotive fleet by series*

***TAB. 7** Ročný vplyv na životné prostredie na jeden nákladný vagón prevádzkového parku dieselových lokomotív podľa série*

Factor	Diesel locomotive series	
	M62	2TE116
1. Annual environmental effect by the diesel locomotive series, thousand UAH	16301	42358
2. Annual environmental effect by the diesel traction, thousand UAH	58659	58659
3. Wagon fleet working on the diesel traction	14118	14118
4. Annual environmental effect per one freight wagon of the wagon fleet working on the diesel traction, UAH	4154.84	4154.84

The discounted environmental effect by means of reducing the damage from gaseous harmful substances into the atmosphere emitted by the diesel locomotive fleet over the calculation period is determined by the formula:

$$\Delta Y_t = \sum_{t_n}^{t_{n+T}} (\Delta y_t \cdot n_w^{gr} \cdot \alpha_t), \tag{9}$$

where α_t is the discount factor; t_n is the year of putting into operation the wagon fleet with upgraded brake systems of bogies using the UkrSURT technology [10, 11]; T is the operating period of the working wagon fleet with upgraded brake systems of bogies using the UkrSURT technology, years.

The results of the calculation of the environmental effect for the working wagon fleet and for one wagon out of the working wagon fleet are shown in Figures 2 and 3 by years of the calculation period.

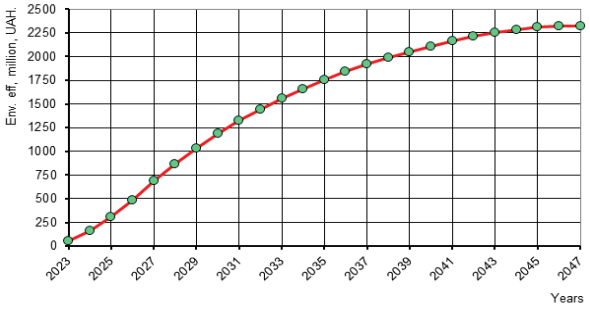


Fig. 2 *The environmental effect for the working freight wagon fleet by years of the calculation period after the introduction of the upgraded device for parallel retraction of brake shoes*

Obr. 2 *Environmentálny vplyv na prevádzkový park nákladných vozňov podľa rokov výpočtového obdobia od zavedenia modernizovaného zariadenia na rovnomerné opotrebovanie brzdových doštičiek*

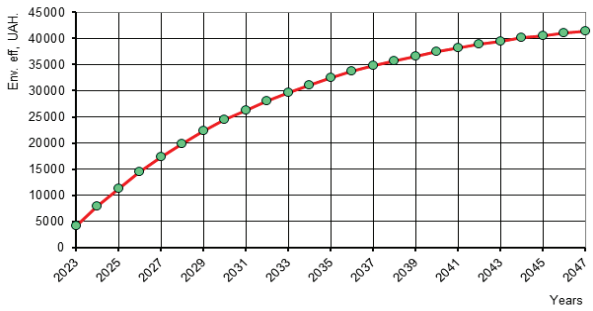


Fig. 3 *The environmental effect for one freight wagon of the working freightwagon fleet by years of the calculation period after the introduction of theupgraded device for parallel retraction of brake shoes*

Obr. 3 *Environmentálny vplyv na nákladný vagón pracovného vozového parku podľa rokov výpočtového obdobia od zavedenia modernizovaného zariadenia*

The calculations carried out allow us to conclude that, unlike the typical device for parallel retraction of brake shoes M 1180.000, the device developed by UkrDUZT provides environmental efficiency.

4 CONCLUSION

1. A methodology for determining the environmental effect of the device for parallel retraction of brake shoes upgraded with the technology developed by UkrSURT over the calculation period for the operating conditions of freight wagons belonging to UZ, which takes into account different types of diesel and electric traction, has been developed.

2. The annual environmental effect of the diesel locomotives M62 and 2TE116 per one freight wagon of the wagon fleet working on the diesel traction with the device for parallel retraction of brake shoes upgraded using the UkrSURT technology is 4155 UAH.

3. The environmental effect of the use of the device for parallel retraction of brake shoes upgraded with the UkrSURT technology over the calculation period (22 years) is: per one freight wagon of the working fleet it amounts to 41,485 UAH and for the working freight wagon fleet it amounts to 2,327,000,000 UAH.

Acknowledgment

This publication was issued thanks to support from the Cultural and Educational Grant Agency of the Ministry of Education of the Slovak Republic in the project “Implementation of modern methods of computer and experimental analysis of properties of vehicle components in the education of future vehicle designers” (Project No. KEGA 036ŽU-4/2021). This research was also supported by the Slovak Research and Development Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic in Educational Grant Agency of the Ministry of Education of the Slovak Republic in the project and VEGA 1/0513/22 “Investigation of the properties of railway brake components in simulated operating conditions on a flywheel brake stand. Funded by the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the project No. 09I03-03-V01-XXXXX” and project “Scholarships for Excellent Researchers Threatened by the Military Conflict in Ukraine”, code 09I03-03-V01.

References

[1] Sarma, K. VS., Vardhan, R. V. Multivariate Statistics Made Simple. A Practical Approach. New York: Chapman and Hall/CRC, 2018. https://doi.org/10.1201/9780429465185 **[2] Sharma, R. C.; Dhingra, M.; Pathak, R. K:** Braking systems in railway vehicles. International Journal of Engineering Research & Technology. 2015. **[3] Мазур, В. Л.; Найдек, В. Л.; Попов, Є. С.:** Порівняння чавунних і композиційних з чавунними вставками гальмових колодок для рухомого складу залізниці. Журнал. «Метал та лиття України». 2021. 2 (29). **[4] Gupta, V.; Saini, K.; Garg, A. K.; Krishan, G.; Parkash, O.:** Comparative Analysis of Disc Brake Model for Different Materials Investigated Under Tragic Situations. Asian Review of Mechanical Engineering. 2016. 5(1). **[5] Мазур, В. Л.; Сіренко, К. А.:** Економічні та екологічні аспекти використання гальмових колодок з чавуну чи композиційного матеріалу для залізничного транспорту. Журнал. «Процеси лиття». 2022. №3 (149). https://doi.org/10.15407/plit2022.03.054 **[6] Равлюк, В. Г.; Равлюк, М. Г.:** Екологічні збитки довкіллю від застосування композиційних гальмівних колодок у вагонах/ Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика : IV Всеукраїнська наук.–прак. конф. Маріуполь. 2018. **[7] Калабухін, Ю. Є.:** Методологія оцінки екологічних показників функціонування магістральних тепловозів протягом життєвого циклу. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. 2009. №4 (134). Ч. 2. **[8] Калабухін, Ю. Є.:** Удосконалення методології визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу: дис д-ра техн. наук : 05.22.07. Харків, 2010. **[9] Калабухін, Ю. Є.; Рудковський, О. В.:** Результати дослідження впливу експлуатаційних факторів на екологічні показники використання тепловозної тяги у вантажному русі. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного

транспорту. 2012. Вип. 129. **[10] Равлюк, В. Г.; Афанасенко, І. М.; Равлюк, М. Г.:** Дослідження геометричних параметрів гальмових колодок вантажних вагонів за шкідливого зносу. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2020. 1 (85). https://doi.org/10.15802/stp2020/199515 **[11] Ловська, А. О.; Равлюк, В. Г.:** Дослідження ненормативного зносу гальмових колодок і його вплив на ефективність гальмування вантажних поїздів. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2022. № 25. С. 30–50. https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-25-30-50

♠ ♠ ♠

Summary

When a freight train moves, the harmful friction between the brake pad and the wheel of the wagon occurs and this creates additional specific resistance to the train movement. This may cause the environmental damage because of higher amount of harmful substances in the exhaust gases emitted by the diesel locomotive that transports a train with typical M 1180.000 devices. Moreover, there is a need for unscheduled replacement of composite brake pads as well as their disposal at municipal landfills.

In order to eliminate the harmful friction between the pad and the wheel in motion, it has been proposed to use the device for parallel retraction of brake shoes improved with the technology developed by Ukrainian State University of Railway Transport (UkrSURT). The upgraded device can be estimated with the methodology for determining the environmental effect over the calculation period developed on the example of freight wagons belonging to Ukrzaliznytsia (UZ) according to various types of the diesel traction.

The results of the calculation of the environmental effect, when using the device upgraded by means of the UkrSURT technology over the calculation period, have allowed us to conclude that the improvement proposed has been feasible.

Resumé

Pri pohybe nákladného vlaku dochádza ku škodlivému treniu medzi brzdovým obložením a kolesom vozňa, čo vytvára dodatočný špecifický odpor pohybu vlaku. To môže spôsobiť škody na životnom prostredí z dôvodu vyššieho množstva škodlivých látok vo výfukových plynoch vypúšťaných dieselovou lokomotívou, ktorá prepravuje vlak s typickými zariadeniami M 1180.000. Okrem toho existuje potreba neplánovanej výmeny kompozitných brzdových doštičiek, ako aj ich likvidácie na komunálnych skládkach.

Aby sa eliminovalo škodlivé trenie medzi doštičkou a kolesom pri pohybe, bolo navrhnuté použiť zariadenie na paralelné zaťahovanie brzdových čeľustí vylepšené technológiou vyvinutou Ukrajinskou štátnou univerzitou železničnej dopravy (UkrSURT). Modernizované zariadenie je možné odhadnúť pomocou metodiky stanovenia vplyvu na životné prostredie počas výpočtového obdobia vyvinutej na príklade nákladných vozňov patriacich do Ukrzaliznytsia (UZ) podľa rôznych typov dieselovej trakcie.

Výsledky výpočtu vplyvu na životné prostredie pri použití zariadenia modernizovaného pomocou technológie UkrSURT počas výpočtového obdobia nám umožnili dospieť k záveru, že navrhované zlepšenie bolo realizovateľné.

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.14

SIMULACE VYKOLEJENÍ NÁKLADNÍHO VOZU

SIMULATION OF FREIGHT WAGON DERAILMENT

Jan PEJŠA[*)]

1 ÚVOD

Příspěvek se týká simulací vykolejení nákladního vozu. Simulace byly založeny na datech skutečné nehody. Pro účely příspěvku byly některé údaje o nehodě anonymizovány. Provedené simulace měly pomoci dopravci objasnit příčiny nehody. Došlo totiž ohledně příčiny nehody ke sporu mezi dopravcem a firmou, která náklad nakládala. Firma svojí vinu na nehodě popírala a vinu za nehodu svalovala na dopravce. Argumentovala zjištěním vyšetřovací komise, že vykolejený vůz měl opotřebené jízdní profily kol více než dovoluje norma [1]. Ale také bylo zjištěno, že velká část vozů vlakové soupravy byla podle normy [4] nesprávně ložena a existovalo podezření, že vykolejený vůz byl také nesprávně ložen.

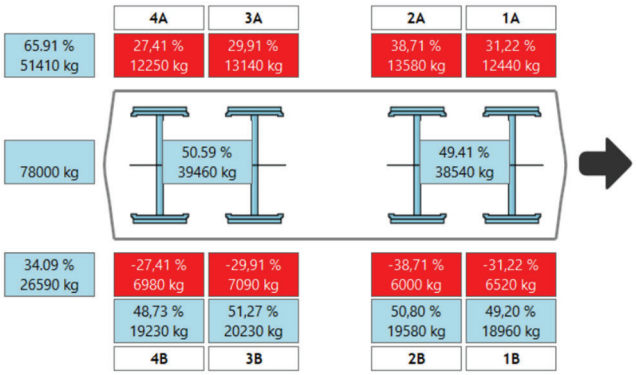
2 POPIS NEHODY

Vlak byl složen z vozů typu Eas, které byly loženy sypkým materiálem. Vykolejení nastalo v levém oblouku o poloměru 340 m na traťovém km 0. K vykolejení došlo na prvním podvozku vyšetřovaného vozu (dále jen „vůz X“). Vlak pokračoval několik kilometrů s vykolejeným podvozkem v jízdě až do stanice, kde na výhybce vykolejil jeho druhý podvozek a první podvozek dalšího vozu. Následně došlo k roztržení vlaku a vlak zastavil. Po nehodě bylo zjištěno, že několik vozů vlaku bylo nesprávně loženo, levé strany vozů byly výrazně přitíženy. Největší jednostranné ložení bylo naměřeno na voze Y řazeném před vozem X, u nějž byla levá strana vůči pravé straně vozu ve smyslu kolových sil přitížena o cca 32 % (***obr. 1***). Norma EN 15654-2:2019 dovoluje přitížení jedné strany vozu maximálně 5 % [4]

U záznamu z vážení vozu X (***obr. 3***) po nehodě existovalo podezření, že rozložení kolových sil naměřených po nehodě neodpovídá stavu v okamžiku vykolejení. Byly pro to tyto důvody:

1. Stav ložení vozu X zaznamenaný po nehodě se zřetelně odlišoval od ložení ostatních vozů. Naložený sypký materiál byl vlivem otřesů způsobených dlouhou jízdou vykolejených dvojkolí po pražcích sklepán. Odlišný stav nákladu ve vykolejeném voze X a ve voze Y je patrný z fotografií pořízených po nehodě (***obr. 2*** a ***obr. 4***).
2. Výsledky vážení vozu X zároveň svědčí o výrazných rozdílech kolových sil v rámci jednoho podvozku, které byly pravděpodobně způsobené deformacemi podvozků při nehodě.

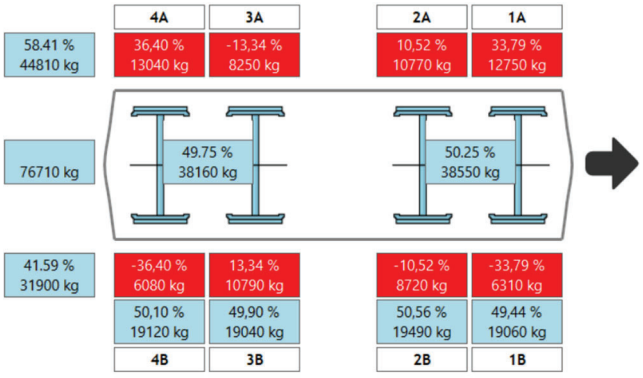
[*)] **Ing. Jan PEJŠA,** VÚKV, a.s., Bucharova 1314/8, Stodůlky, 158 00 Praha 5, pejsa@vukv.cz, Výzkumný a vývojový pracovník, zabývá se jízdními vlastnostmi a dynamikou vozidel.



Obr. 1 *Záznam z vážení vozu Y po nehodě*
Fig. 1 *Weighing record of the wagon Y after the accident*



Obr. 2 *Ložení vozu Y*
Fig. 2 *Load of the wagon Y*



Obr. 3 *Záznam z vážení vozu X po nehodě*
Fig. 3 *Weighing record of the wagon X after the accident*



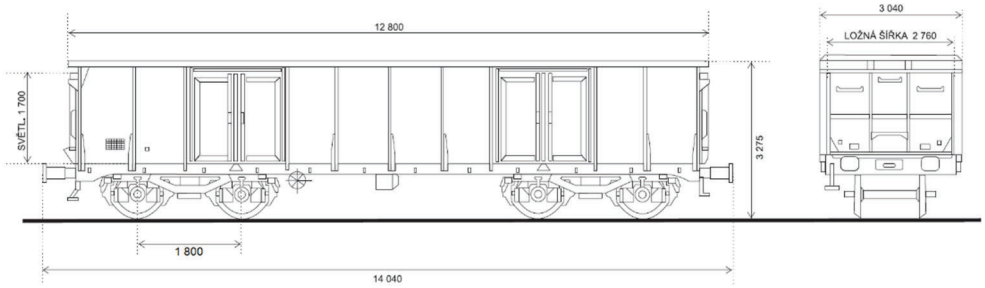
Obr. 4 *Ložení vozu X*
Fig. 4 *Load of the wagon X*

Po nehodě byla na levých kolech druhého podvozku vozu X naměřena strmost okolku – qR 6 mm. Kola prvního podvozku vozu X nebylo možné změřit, jelikož byla nehodou poškozena. Norma EN 15313:2017 dovoluje minimální strmost okolku 6,5 mm [1].

Po prozkoumání trati vyšetřovací komisí bylo v místě vykolejení zjištěno, že největší hodnota svislých nerovností koleje byla 37 mm na základně 5 m při měření bez zatížení a 35 mm na základně 5 m při měření pod zatížením. Norma EN 13848-5:2018 dovoluje pro toto místo (Křivka A) maximální hodnotu zborcení 7 mm/m. Naměřené hodnoty svislých nerovností pod zatížením jsou přesně na hranici tohoto limitu. Naměřené hodnoty svislých nerovností bez zatížení tuto limitní hodnotu přesahují [2].

3 POPIS VOZU

Vykolejený vůz X je řady Eas-z s podvozky Y25 Cs. Vzdálenost středů podvozků je 9 m. Typový výkres vozu je zobrazen na ***obr. 5***. Hmotnost vozu v prázdném stavu je 23,5 t z toho 2x4,5 t připadalo na podvozky. V době vykolejení měl vůz hmotnost 76,7 t.



Obr. 5 *Typový výkres vozu*

Fig. 5 *Type drawing of the wagon*

4 KONCEPT SIMULACÍ

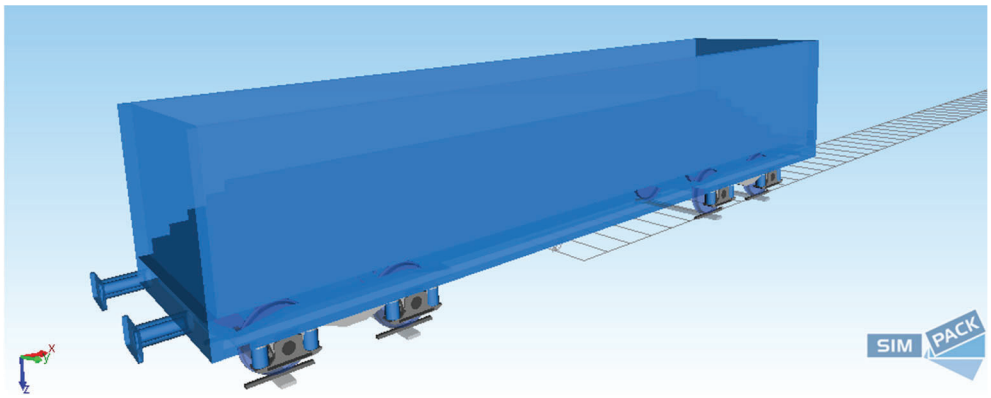
Protože nebylo možné přesně zjistit, jak byl vůz X před nehodou ložen, byly simulace koncipovány jako citlivostní analýza na relativní přitížení levé strany vozu. Na základě výsledků vážení vozů vykolejeného vlaku bylo zvoleno rozmezí od 0 % do 40 %. Aby bylo možné posoudit, jaký vliv na vykolejení měly opotřebené profily kol, byly simulace provedeny se jmenovitými profily kol a s opotřebenými profily kol, které byly naměřeny po nehodě. Kvůli poškození jízdní plochy kol prvního podvozku, byly pro simulace použity profily kol naměřené na druhém podvozku vozu X. Seznam provedených simulací je uveden v ***TAB. 1***.

TAB. 1 *Seznam provedených simulací*
TABLE 1 *List of performed simulations*

Č. Simulace	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Profily kol	Jmenovité					Naměřené				
Přitížení levé strany vozu [%]	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40

5 VÝPOČTOVÝ MODEL VOZU

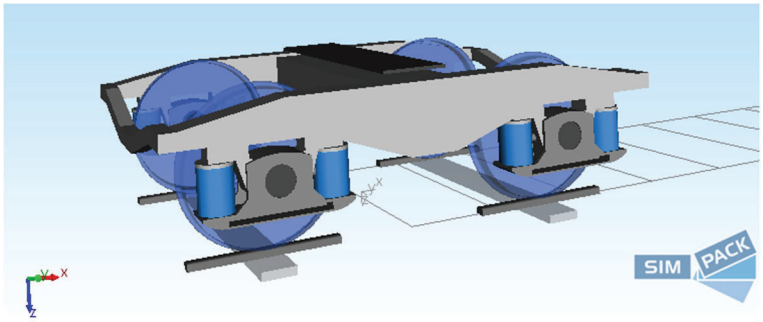
Výpočtový model vozu X (***obr. 6***) se skládá z tělesa vozové skříně s nákladem a z dvou podsestav podvozků. Těleso reprezentující vozovou skříň s nákladem je v modelu uvažováno jako tuhé hmotné těleso. Podsestavy podvozků jsou s tělesem vozové skříně spojeny pomocí vazeb a silových prvků, které reprezentují kulovou tornu a odpružené kluznice.



Obr. 6 *Grafické zobrazení modelu vozu*
Fig. 6 *Graphical representation of the wagon model*

5.1 Podvozek

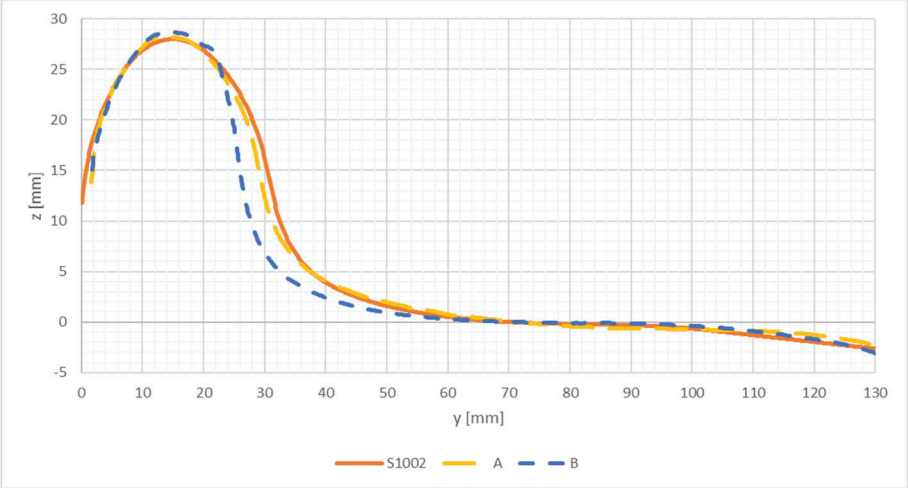
Model podvozku (***obr. 7***) se skládá z tuhých hmotných těles, která reprezentují dvojkolí, ložiskové skříně a rám podvozku. Tato tělesa jsou vzájemně propojena silovými prvky a vazbami tak, aby byla respektována konstrukce a parametry podvozku Y25 Cs.



Obr. 7 *Grafické zobrazení modelu podvozku*
Fig. 7 *Graphical representation of the bogie model*

5.2 Kontakt kolo – kolejnice

Kolejnice byly typu 60E1 v úklonu 1:40. Protože před nehodou nebyl zaznamenán žádný déšť, byla pro součinitel tření mezi kolem a kolejnicí použita běžná hodnota 0,36. Pro průměr kola byla použita hodnota 877 mm, která odpovídá průměrné hodnotě průměrů kol naměřených na voze X po nehodě. Pro jmenovité profily kol byl použit profil S1002 a pro opotřebené profily kol byly použity profily A a B, které byly pracovníky VÚKV po nehodě naměřeny na dvojkolí vozu X, viz ***Obr. 8***. Při průjezdu obloukem, kde došlo k vykolejení vozu X, byl profil A na vnějším kole a profil B na vnitřním kole.



Obr. 8 *Profily kol*

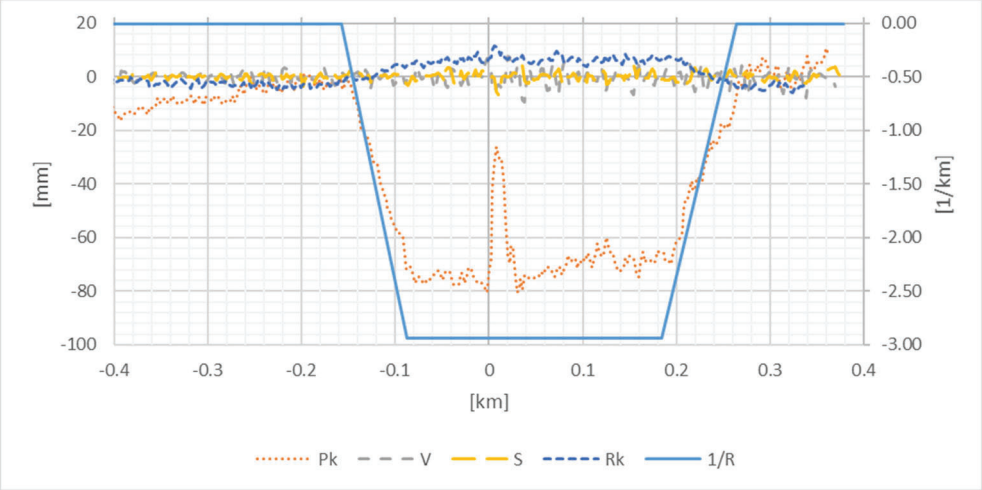
Fig. 8 *Wheel profiles*

6 SIMULACE JÍZDY VOZU

Simulace byly provedeny pro případy uvedené v ***TAB. 1***. Rychlost jízdy vozu byla 30 km/h, jenž odpovídá rychlosti jízdy vlaku v době vykolejení.

6.1 Popis tratě

Pro simulace byl zvolen úsek trati mezi km -0,4 až 0,4. Zvolený úsek se skládá z přímé trati a ze stavebně převýšeného levého oblouku o poloměru 340 m. Průběhy křivosti – 1/R, stavebního převýšení – Pk, výškových odchylek střednice koleje – V, směrových odchylek střednice koleje – S a odchylek rozchodu – Rk jsou zobrazeny na ***obr. 9***.



Obr. 9 *Parametry tratě*

Fig. 9 *Track parameters*

7 VYHODNOCOVANÉ VELIČINY

Ve výsledcích simulací byly sledovány zejména veličiny týkající se bezpečnosti proti vykolejení. Limitní hodnoty sledovaných veličin vycházely z limitních hodnot, které jsou uvedeny v normě EN 14363:2020. Vyhodnoceny byly tyto veličiny:

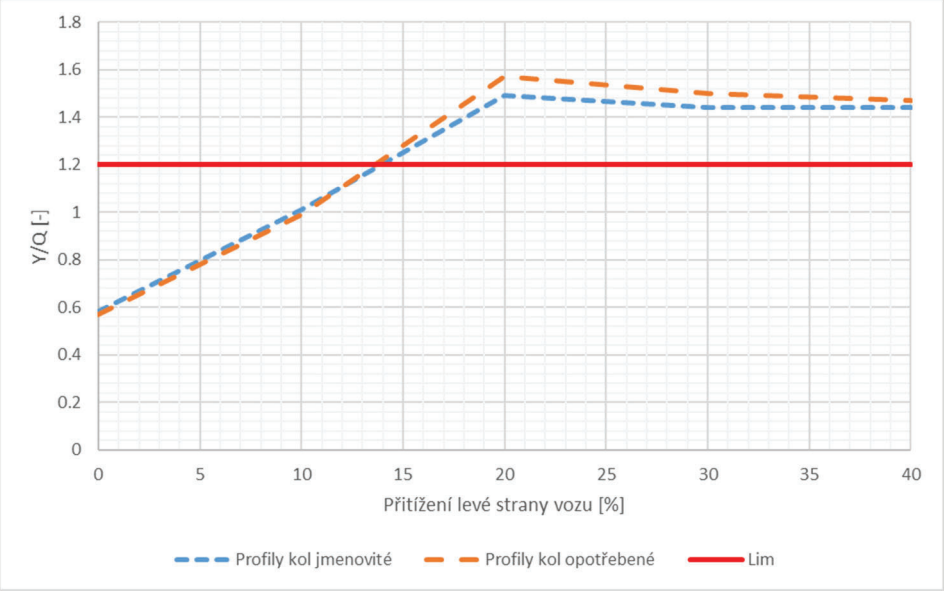
1 Koeficient vykolejení – Y/Q. Byla použita limitní hodnota 1,2, která vychází z požadavků na jízdní bezpečnost [3].
2 Šplhání okolku – Dz. Byla použita limitní hodnota 5 mm, která vychází z požadavků pro splnění kvazistatické bezpečnosti proti vykolejení metodou 1 [3].

Vyhodnocení sledovaných veličin bylo provedeno na nabíhajícím kole ve smyslu normy EN 14363:2020.

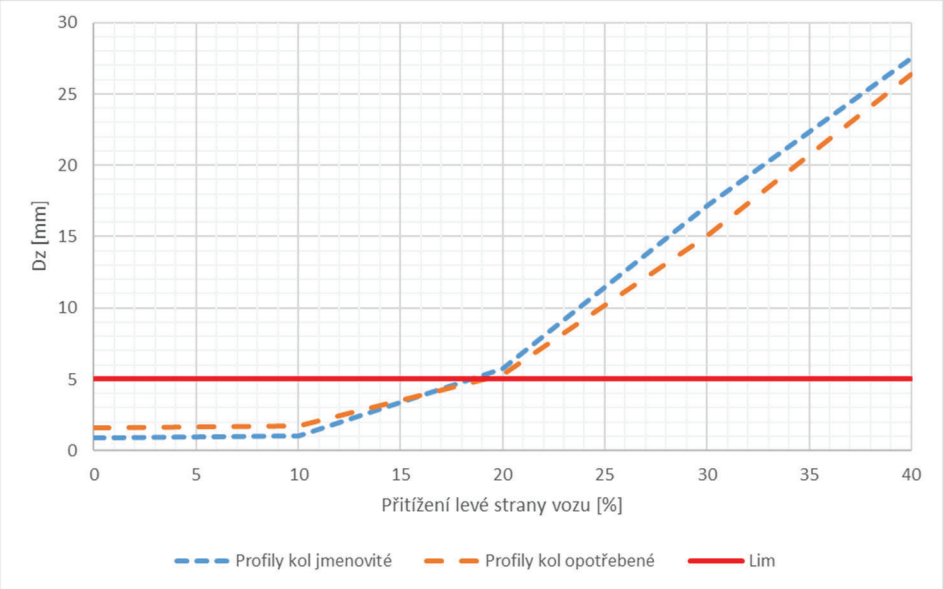
8 VYHODNOCENÍ SIMULACÍ

Vyhodnocované veličiny pro obě varianty profilů kol byly graficky vyjádřeny v závislosti na relativním přitížení levé strany vozu. Grafy koeficientu vykolejení a šplhání okolku na nabíhajícím kole jsou zobrazeny na ***obr. 10*** a ***obr. 11***. V uvedených grafech jsou červeně vyznačeny limitní hodnoty. Z uvedených grafů je patrné, že pro obě varianty profilů kol jsou sledované veličiny takřka shodné. Limitní hodnota koeficientu vykolejení byla dosažena v obou případech profilů kol při přitížení levé strany vozu o 14 %. Limitní hodnota šplhání okolku byla dosažena v obou případech profilů kol při přitížení levé strany vozu o 19 %.

Při přitížení levé strany vozu o 40 % pravý okolek v simulaci vyšplhal na hlavu kolejnice v obou případech opotřebení profilů kol, viz ***obr. 12***.

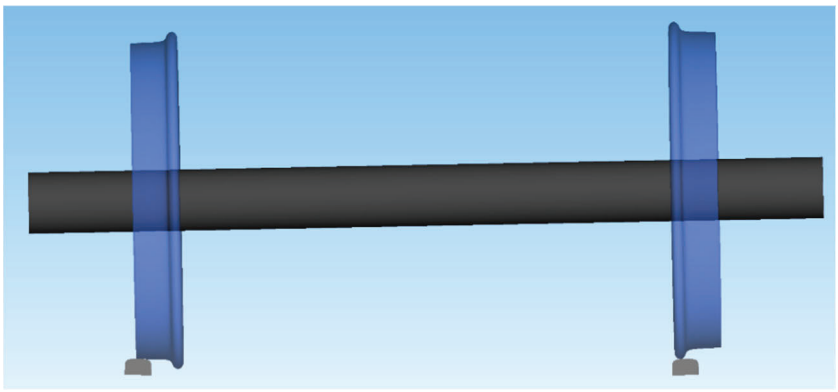


Obr. 10 *Koeficient vykolejení*
Fig. 10 *Derailment coefficient*



Obr. 11 *Šplhání okolku*

Fig. 11 *Wheel climbing*



Obr. 12 *Vyšplhání okolku na hlavu kolejnice*

Fig. 12 *Climbed wheel on the rail head*

9 ZÁVĚR

Na základě dat o nehodě byl vytvořen model vykolejeného vozu X a model trati odpovídající úseku trati, kde došlo k vykolejení. Model trati v sobě zahrnoval změřené kolejové nerovnosti včetně výrazného lokální zborcení (***obr. 9***), které se nacházelo v místě vykolejení.

Byl posouzen vliv opotřebených profilů kol a vliv jednostranného ložení nákladu na nehodu. Z provedených simulací bylo zjištěno, že s narůstajícím přitížením levé strany vozu významně narůstá riziko vykolejení. V případě sledování koeficientu vykolejení Y/Q je kritický stav vykolejení (Y/Q = 1,2) dosažen přibližně při přitížení levé strany vozu o 14 %.

Při přitížení levé strany vozu o 40 % již v simulaci okolek úplně vyšplhal na hlavu kolejnice (***obr. 12***).

Dále bylo zjištěno, že pro obě varianty opotřebení profilů kol (jmenovitý profil S1002 a naměřené opotřebené profily) jsou průběhy sledovaných bezpečnostně relevantních veličin takřka shodné, ***viz obr. 10*** a ***obr. 11***. Také dosažení kritického stavu vykolejení (Y/Q = 1,2) je pro obě varianty opotřebení profilů kol takřka totožné. Z těchto zjištění vyplývá, že opotřebené profily kol s překročenou dovolenou hodnotou strmostí okolku, neměly na nehodu vliv. Toto zjištění také podporuje tzv. Nadalův vztah, který vyjadřuje fyzikální podstatu šplhání okolku, a z něhož vyplývá, že strmější okolky by měly mít pozitivní vliv na bezpečnost proti vykolejení [3].

Literatura

[1] ČSN EN 15313. Železniční aplikace – Požadavky na dvojkolí v provozu – Údržba dvojkolí v provozu na vozidlech a po demontáži. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017. **[2] ČSN EN 13848-5.** Železniční aplikace – Kolej – Kvalita geometrie koleje – Část 5: Hladiny kvality geometrie koleje – Běžná kolej a kolejová rozvětvení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. **[3] ČSN EN 14363+A1.** Železniční aplikace – Zkoušení a simulace pro schvalování železničních vozidel z hlediska jízdních vlastností – Jízdní chování a stacionární zkoušky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020. **[4] ČSN EN 15654-2.** Železniční aplikace – Měření svislých sil na kolech a dvojkolích – Část 2: Dílenská zkouška nových, změněných a opravovaných vozidel. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.

♠ ♠ ♠

Resumé

Příspěvek se týká simulací vykolejení nákladního vozu. Simulace byly založeny na datech skutečné nehody. Vůz byl typu Eas s podvozky typu Y25 a byl ložený sypkým materiálem. Po nehodě bylo zjištěno, že jízdní profily kol byly opotřebené více než dovoluje norma EN 15313. Existovalo také podezření, že vykolejený vůz byl nesprávně ložen. Levá strana vozu byla pravděpodobně přitížena více než dovoluje norma EN 15654-2. Provedené simulace pomohly dopravní společnosti objasnit příčiny nehody.

Summary

This paper is about simulations of a freight wagon derailment. The simulations were based on real accident data. The wagon was Eas type with Y25 bogies and it was loaded with bulk material. After the accident it was found that running wheel profiles were worn more than the standard EN 15313 allows. Also, there was suspicion of an incorrect loading of the derailed wagon. The left side of the wagon was probably overloaded more than the standard EN 15654-2 allows. The performed simulations helped the transport company clarify the causes of the accident.

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA „SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“ 20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.15

ZKUŠENOSTI Z MĚŘENÍ HLUKU NÁKLADNÍCH VOZŮ PODLE TSI NOI

EXPERIENCE IN NOISE MEASUREMENT OF FREIGTH WAGONS IN COMPLIANCE WITH TSI NOI

Lucie PHAMOVÁ *)

1 ÚVOD

Nejen výrobci železničních nákladních vozů vyvíjejí nemalé úsilí, aby byly jejich vozy co nejtišší a aby splňovaly limitní hodnoty TSI NOI nebo ještě dokonce přísnější limity svých zákazníků. Toto úsilí může být velmi snadno znehodnoceno, pokud požadují provést zkoušku hluku pouze s jedním vozem, přestože bude vyroben více než jeden vůz. K tomu došlo v minulých dvou letech několikrát a logicky tak vyvstala otázka, jak moc je měření hluku jednoho vozu nevýhodné? Protože nevýhodné by mělo být, jinak by toho výrobci mohli „zneužívat“ a nepostihlo by skutečné chování vozu z hlediska hluku. Mělo by se podle mého názoru používat skutečně jen ve výjimečných případech, kdy je vyroben pouze a jen jeden vůz.

Tento krátký článek se proto zabývá především porovnáním vyhodnocení hluku při měření dvou a jednoho železničního nákladního vozu.

2 HLUK PRŮJEZDU JEDNOHO NÁKLADNÍHO VOZU

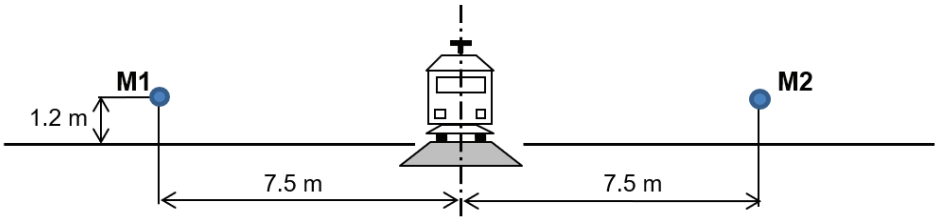
Pro porovnání byly vybrány tři různé nákladní vozy dvou výrobců: jeden velkokapacitní vůz s posuvnou stěnou a dva kontejnerové vozy. Počet zkoušených vozů byl vždy dva a zkoušené vozy byly umístěny na konci soupravy. Vyhodnocení bylo provedeno třemi způsoby: jedním způsobem pro vyhodnocení dvou vozů a dvěma způsoby pro vyhodnocení jednoho vozu.

2.1 Měření

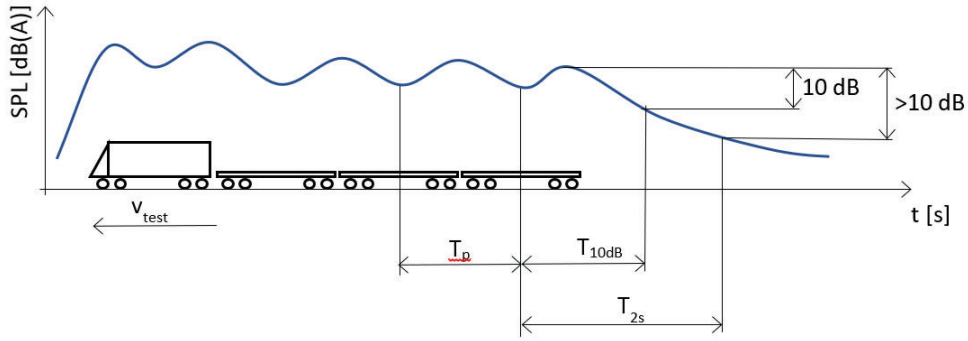
Měření hluku za konstantní rychlosti bylo provedeno podle normy ČSN EN ISO3095:2013. Mikrofony byly umístěny 7,5 m od osy koleje ve výšce 1,2 m nad temenem kolejnice na obou stranách koleje, viz ***obr. 1***. Souprava se skládala z lokomotivy, jednoho oddělovacího vozu a dvou zkoušených vozů. Pro identifikaci polohy soupravy vůči mikrofonům byly použity optické závory zaznamenávající průjezd kol.

Měření byla provedena pro rychlosti 80 a 120 km/h.

*) **Ing. Lucie PHAMOVÁ, Ph.D.,** VÚKV a.s., Bucharova 1314/8, 158 00 Praha, M.: +420 736 519 965, e-mail: phamova@vukv.cz.



Obr. 1 *Umístění mikrofonů*
Fig. 1 *Microphone positioning*



Obr. 2 *Délky vyhodnocovaných intervalů*
Fig. 2 *Lengths of intervals evaluated*

2.2 Způsoby vyhodnocení

Způsob vyhodnocení pro dva zkoušené vozy

Tento způsob je definován v normě ČSN EN ISO 3095:2013, kap. 6. Vyhodnocovaný interval T_p začíná v okamžiku průjezdu středu prvního vozu osou mikrofonů a končí v okamžiku průjezdu středu druhého vozu tím samým místem, viz ***obr. 2***.

Výsledná ekvivalentní hladina akustického tlaku A jednoho průjezdu je spočítána podle rovnice (1):

$$L_{pAeq,Tp} = 10log\left(\frac{1}{T_p}\int_0^{Tp}\frac{p_A^2(t)}{p_0^2}dt\right) \quad (1)$$

kde je:

$L_{pAeq,Tp}$ … ekvivalentní hladina akustického tlaku A [dB(A)];

T_p … vyhodnocovaný interval [s];

$p_A(t)$ … okamžitý vážený akustický tlak [Pa];

p_0 … referenční akustický tlak p_0 = 20 μPa.

Způsoby vyhodnocení pro jeden zkoušený vůz

Vyhodnocení se provádí podle přílohy B.4 normy ČSN EN ISO 3095:2013. Vyhodnocovaný interval začíná v okamžiku průjezdu středu vozu osou mikrofonů a končí v okamžiku, kdy hladina akustické tlaku poklesne alespoň o 10 dB. Konec vyhodnocovaného intervalu není stanoven přesně a je tím umožněno zvolit i delší interval. Vyhodnocení bylo pro porovnání provedeno dvěma způsoby, pro účely tohoto článku označené jako metoda „2s“ a metoda „10 dB“, viz dále.

Výsledná ekvivalentní hladina akustického tlaku A jednoho průjezdu je vypočítána následovně:

$$L_{pAeq,Tp} = 10log\left(\frac{1}{T_p}\int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2}dt\right) \quad (2)$$

$$T_p = \frac{1}{2}\frac{l}{v} \quad (3)$$

kde je:

T … vyhodnocovaný interval [s];

l … délka vozu [m];

v … rychlost soupravy [m/s].

Vyhodnocovaný interval T je při metodě „2s“ roven T_{2s} a při použití metody „10dB“ roven T_{10dB}.

Metoda „2s“

Vyhodnocovaný interval T_{2s} byl dlouhý 2 s a začínal v okamžiku průjezdu středu vozu osou mikrofonů. Dvě sekundy jsou dostatečně dlouhé na to, aby byl zajištěn pokles hladiny akustického tlaku o více než 10 dB. Tato je metoda je velmi rychlá na vyhodnocení.

Metoda „10dB“

Vyhodnocovaný interval označovaný jako T_{10dB} začíná v okamžiku průjezdu středu vozu a končí v okamžiku, kdy jsou všechny následující hodnoty hladiny akustického tlaku menší než maximální hodnota hladina akustického tlaku snížená o 10 dB. Maximální hodnota hladiny akustického tlaku je maximum od průjezdu středu vozu až do konce měřeného záznamu.

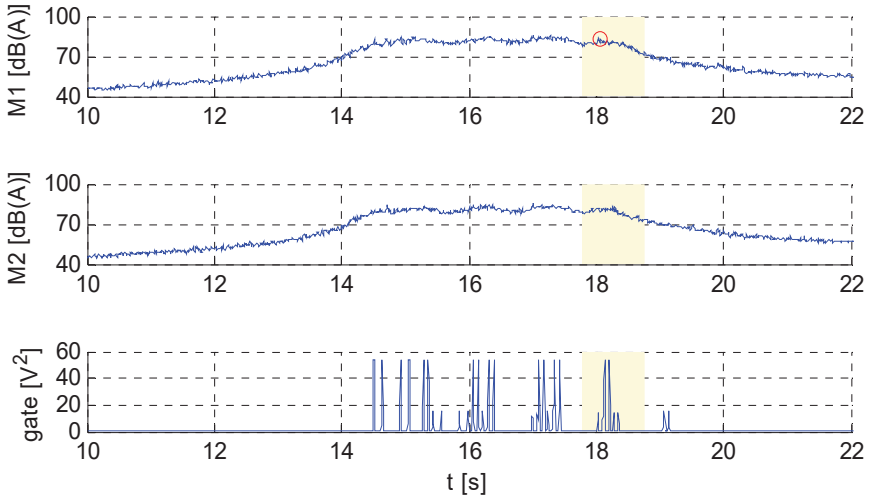
2.3 Výsledky a zhodnocení

Na ***obr. 3*** je na prvních dvou grafech zobrazen časový průběh hladin akustického tlaku ze dvou mikrofonů M1 a M2. Ve třetím grafu je znázorněn průběh signálu z optických závor. Podbarveně je vyznačena vyhodnocovaná oblast. Kolečko v grafu signálu M1 zdůrazňuje maximální hodnotu hladiny akustického tlaku ve vyhodnocované oblasti.

Na ***obr. 4*** jsou vykresleny časové průběhy jednoho záznamu pro všechny vozy.

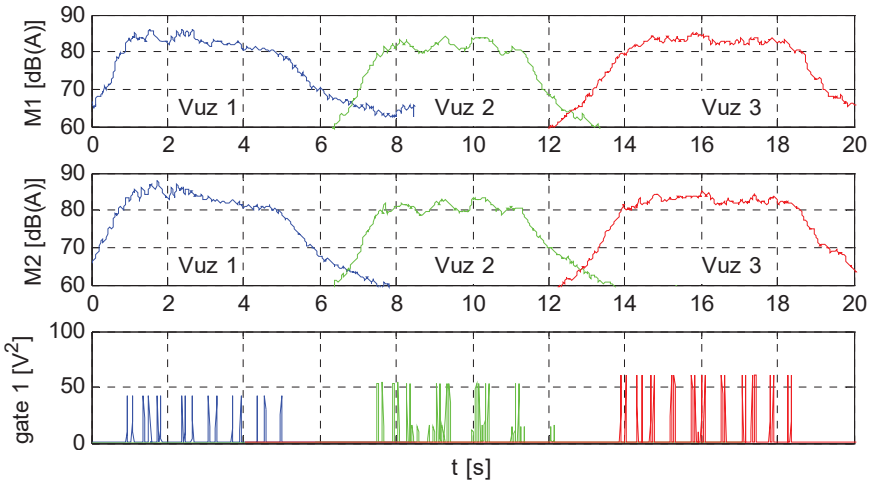
V ***TAB. 1*** jsou vyčísleny zaokrouhlené aritmetické průměry z ekvivalentní hladin akustického tlaku L_{pAeqTp} vypočítaných podle (1) a (2) a přepočítaných na referenční rychlost 80 km/h. Korekce na tzv. *APL* (axle per length) nebyla použita. Tučně je zvýrazněn případný výsledek zkoušky bez korekce na APL.

Z porovnání aritmetických hodnot je patrné, že vyhodnocení podle metody „2s“ je nejméně výhodné. Hodnoty jsou oproti klasickému způsobu vyhodnocení a měření (tj. dva vozy) u první vozu stejné, ale u druhého a třetí vozu o 1 až 2 dB vyšší. U prvního vozu je překvapivě nejvyšší a zároveň nejnižší hodnota L_{pAeqTp} při použití metody „10dB“. Tento vůz byl z uvažovaných vozů nejdelší a poměr délek intervalů (T_{10dB} / T_p) a (T_{2s} / T_p) byl nejnižší. U druhého a třetího vozu vychází výsledky spočítané metodou „10dB“ zpravidla o 1 dB nižší než výsledky spočítané metodou „2s“ a zároveň o 1 dB vyšší než u standardního provedení zkoušky, tj. vyhodnocení dvou vozů.



Obr. 3 *Časový průběh hladin akustického tlaku a napětí z optických závor, rychlost 80 km/h, vůz č. 2*

Fig. 3 *Time history of sound pressure levels and voltage from optical sensors, speed of 80 km/h, wagon no. 2*



Obr. 4 *Časový průběh hladin akustického tlaku a napětí z optických závor, rychlost 80 km/h, všechny vozy*

Fig. 4 *Time history of sound pressure levels and voltage from optical sensors, speed of 80 km/h, all wagons*

***TAB. 1** Aritmetické průměry $L_{pAeqTp,80}$*
***TABLE 1** Mean values $L_{pAeqTp,80}$*

Vůz [-]	Jmenovitá rychlost [km/h]	Vyhodnocení přes interval		
		T_p	T_{2s}	T_{10dB}
1	80	**82**	**82**	**83**
	120	82	82	81
2	80	**80**	**82**	**81**
	120	80	82	81
3	80	83	84	84
	120	**84**	**86**	**85**

3 MĚŘENÍ HLUKU PRŮJEZDU DVOU PODOBNÝCH NÁKLADNÍCH VOZŮ

Jednalo se o měření jednoho nákladního vozu s odsuvnou střechou. Zákazník dodal jeden nový zkoušený vůz a druhý podobný vůz půjčený z provozu. Byla provedena měření se dvěma konfiguracemi soupravy. Souprava A byla složena z lokomotivy, jednoho oddělovacího kontejnerového vozu, jeden vůz z provozu a jeden zkoušený vůz. V soupravě B byl za lokomotivou zapojen jeden kontejnerový vůz a hned za ním jeden zkoušený vůz. Vůz z provozu nebyl tedy do této soupravy zařazen.

Vyhodnocení naměřených dat v případě soupravy A bylo provedeno standardním způsobem, tj. od poloviny prvního vozu do poloviny druhého vozu. Pro soupravu B byla použita metoda „2s“.

Výsledné aritmetické průměry z obou vyhodnocení byly kupodivu víceméně shodné. Rozdíl byl přibližně 0,2 dB. Nicméně, z výsledků předchozí kapitoly se lze domnívat, že kdyby bylo měření provedeno se dvěma zkoušenými vozy, výsledná hladina L_{pAeqTp} by byla nižší.

4 POČET ZKOUŠENÝCH VOZŮ

Domnívám se, že v případě kontejnerových a podobných vozů je ideální počet zkoušených vozů 3. Je to z důvodu dodržení podmínky tzv. akustické neutrality, která zajišťuje, aby vůz mezi lokomotivou a zkoušenými vozy svým vyzářeným akustickým výkonem negativně nepřispíval k vyzářenému akustickému výkonu zkoušených vozů. V poslední době se stává, že oddělovací vůz, ač podobného typu, je hlučnější než zkoušené vozy a to zejména v případech, kdy výrobce vylepší podvozek hluk snižujícím opatřením. Toto opatření už ale není uplatněno na oddělovacím voze a podmínka akustické neutrality pak nebývá splněna.

5 ZÁVĚR

Bylo provedeno vyhodnocení zkoušky hluku tří různých nákladních vozů a to třemi různými způsoby. Standardním způsobem pro vyhodnocení hluku dvou nákladních vozů a dvěma způsoby pro vyhodnocení hluku jednoho vozu. Porovnání ukázalo, že zkouška hluku jednoho vozu na velkém železničním okruhu v Cerhenicích v České republice může být nevýhodná a to až o 2 dB.

Literatura

[1] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1304/2014 ze dne 26. listopadu 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému „kolejová vozidla – hluk“. 2014. **[2]** ČSN EN ISO 3095:2014. *Akustika – Železniční aplikace – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly*. 2014.

♠ ♠ ♠

Resumé

Článek sdílí zkušenosti z měření hluku nákladních vozidel, zejména pro případy, kdy je výrobcem dodán jen jeden vůz. Uvádí nevýhody měření hluku pouze jednoho vozu namísto dvou. Uvádí výhody měření hluku tří vozů.

Summary

The article shares experiences from freight wagon noise measurements, especially in cases where only one freight wagon is supplied by the manufacturer. It points out the disadvantages of noise measurement of only one freight wagon instead of two. It gives the advantages of noise measurement of the three freight wagons.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.16

OJÍŽDĚNÍ KOLEJNIC V OBLOUCÍCH MALÝCH POLOMĚRŮ

RAIL WEAR IN CURVES OF SMALL RADII

Otto PLÁŠEK, Ludmila CHUDĚJOVÁ, Martin SCHNEIDER, Petr SZABÓ[*)]

1 ÚVOD

Jednotky vlaků osobní přepravy RailJet obsluhují 1. tranzitní koridor mezi stanicemi Praha hl.n. – Pardubice hl.n. – Česká Třebová – Brno hl.n. – Břeclav na území České republiky, soupravy dále pokračují až do stanice Graz Hbf. Soupravy RailJet jsou tvořeny zpravidla sedmi vozy, včetně řídícího vozu, a jednou lokomotivou. Na trase z Grazu přes Brno do Prahy jedou soupravy v režimu sunutí, při jízdě zpět jsou tažené. Jeden z důvodů, proč jsou soupravy právě z Grazu do Prahy sunuty, je ten, že je výhodnější, aby soupravy na části trati přes stanici Semmering ve směru z Vídně byly tažené z důvodu malých poloměrů tratě na stoupací rampě ze stanice Glognitz.

Před nasazením souprav RailJet bylo ojetí ve směrových obloucích koleje č. 2 v úseku Brno – Svitavy (jezdily zde pouze tažené soupravy) diametrálně nižší než v koleji č. 1, kde byly soupravy brzděny pomocí rekuperace, převážně bez brždění vozů soupravy. Po nasazení souprav RailJet se na koleji číslo 2 (kolej s převažujícím provozem směrem z Brna do Prahy) se v určitých obdobích jevilo zvýšené boční ojetí kolejnic. Toto ojetí bylo přisuzováno právě soupravám RailJet, které jsou na této koleji sunuty. V rámci výzkumných prací bylo analyzováno tvrzení o možném vlivu jednotek RailJet na zvýšení ojíždění kolejnic.

Nejprve byly shromážděny informace o vybraných úsecích železniční trati mezi Brnem a Svitavami. Tyto údaje byly nezbytné pro další zkoumání vlivu nadměrného ojíždění. Dále byly pro výpočetní analýzu a porovnání použity Vogelova a Heumannova metoda pro stanovení velikosti příčných sil, s kterými souvisí boční ojetí kolejnic. Poté byly

[*)] **doc. Ing. Otto PLÁŠEK, Ph.D.,** Ústav železničních konstrukcí a staveb, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 BRNO. Tel.: +420 541 147 320, e-mail: otto.plasek@vut.cz. Zabývá se konstrukcí železničního svršku a spodku, statickými a dynamickými analýzami, diagnostikou konstrukcí.

Ing. Ludmila CHUDĚJOVÁ, Ústav železničních konstrukcí a staveb, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 BRNO. Tel.: +420 541 147 295, e-mail: ludmila.chudejova@vutbr.cz. Studentka doktorského studijního programu, zabývá se konstrukcí železničního svršku, zejména bezstykovou kolejí. Zpracovala diplomovou práci na uvedené téma.

Ing. Martin SCHNEIDER, Ústav železničních konstrukcí a staveb, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 BRNO. E-mail: 188756@vutbr.cz. Zpracoval diplomovou práci na uvedené téma.

Ing. Petr SZABÓ, Správa železnic, státní organizace Generální ředitelství, Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1. Tel.: +420 972 325 155, e-mail: szabo@spravazeleznic.cz Systémový specialista skupiny konstrukce koleje, úsek provozuschopnosti, odbor traťového hospodářství, oddělení železničního svršku.

získané informace aplikovány přímo na jednotlivé úseky a výsledky výpočtů a vyhodnocení ojetí kolejnic získané měřicím vozem byly porovnávány [1], [2].

2 POPIS ANALYZOVANÉHO ÚSEKU ŽELEZNIČNÍ TRATI

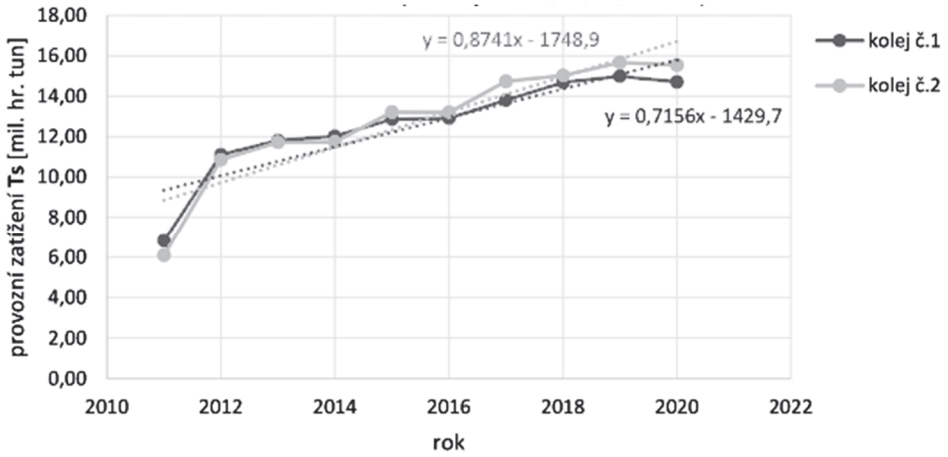
Konkrétně byl pro analýzy vybrán úsek mezi Brnem a Svitavami s ohledem na provoz jednotek RailJet. Hlavním důvodem výběru tohoto úseku bylo jeho přiměřené provozní zatížení, velké množství oblouků s malými poloměry (R < 500 m) a relativně rovnoměrné stoupání tratě přibližně 5 – 7 ‰. Z množství oblouků mezi Brnem a Svitavami bylo vybráno deset úseků splňujících následující požadavky:

- R < 500 m;
- lom sklonu nivelety v kružnicové části oblouku, přičemž minimální délka kružnicové části před a za lomem sklonu nivelety je 10 m;
- rozdíl sklonů ve stoupání či klesání je před a za lomem sklonu min. o 1,0 ‰.

Protože analyzovaná trať je v celém úseku dvoukolejná, a protože se zvlášť posuzoval úsek před lomem sklonu a za ním, jedná se celkem o 40 různých analyzovaných situací. Typická skladba železničního svršku je ve sledovaném úseku následující:

- betonové pražce B 91 S s odpovídajícím upevněním kolejnic W14; rozdělení pražců „u“;
- kolejnice UIC 60 z roku 1998, částečně v průběhu let přebroušené z profilu 60 E1 na profil 60 E2, případně po výměně.

Výše uvedená skladba neplatí v celé délce dotčeného úseku železniční trati, v koleji v době analýz byly také pražce SB8 a kolejnice 49 E1. Pro oblouky s touto skladbou železničního svršku analýzy nebyly realizovány. V roce 2021, v době analýzy ojetí v daném traťovém úseku, projíždělo pravidelně 45 párů osobních vlaků a cca 20 párů nákladních vlaků za den. Přehled projeté zátěže v úseku Brno Maloměřice – Skalice nad Svitavou je na ***obr. 1***.



Obr. 1 *Přehled projeté zátěže v úseku Brno Maloměřice – Skalice nad Svitavou*

Fig. 1 *Overview of the service load in the track section Brno Maloměřice – Skalice nad Svitavou*

3 VÝPOČETNÍ ANALÝZY

3.1 Metody výpočetní analýzy

Pohyb vozidla ve směrovém oblouku je vázán na pohyb jednotlivých dvojkolí v koleji. V analýze bylo přikročeno k nutnému zjednodušení na kvazistatickou úlohu vedení vozidla v koleji. Cílem tohoto vyšetřování bylo zjištění příčných silových účinků mezi vozidlem a kolejí, a bylo předpokládáno, že boční ojetí kolejnic souvisí s velikostí příčné řídící síly.

Pro predikci míry ojetí byla jako referenční vlaková souprava zvolena souprava RailJet a bylo počítáno s jejími parametry. Technické informace pro lokomotivu byly převzaty z katalogu společnosti Siemens – lokomotiva Taurus (ES64E4): provozní hmotnost: 87 t; délka přes nárazníky 19 580 mm; vzdálenost otočných čepů 9 900 mm. Vůz CZ-ČD Bmpz^{891} byl uvažován parametry: hmotnost prázdného vozu: 50 t; hmotnost obsazeného vozu: 56 t; délka vozu přes nárazníky: 26 500 mm; vzdálenost otočných čepů: 19 000 mm [1].

Předpokládáme, že kolo u vnějšího pásu na prvním dvojkolí nabíhá na kolejnici pod úhlem α, zde vzniká řídící síla, která řídí podvozek do příslušné polohy odpovídající poloměru směrového oblouku Výpočet řídících sil v oblouku je možné řešit Heumannovou metodou [3]. U statické polohy byla vypočtena řídící síla působící na nabíhajícím dvojkolí P_1, a to řešením z rovnic složkové a momentové podmínky rovnováhy:

$$\boldsymbol{P_1 - A + F_h - 2Q * f * \frac{x}{q_1} + 2Q * f * \frac{(d-x)}{q_2} = 0}, \quad (1)$$

$$\boldsymbol{P_1 * x - A * \left(x - \frac{d}{2}\right) + F_h * \left(x - \frac{d}{2}\right) - 2Q * f * (q_1 + q_2) = 0}, \quad (2)$$

kde A je síla odpovídající nevyrovnanému bočnímu zrychlení [N], F_h je boční síla vyplývající ze sunutí, nebo tažení soupravy [N], Q je kolová síla [N], f je součinitel tření, q_1 a q_2 jsou délky průvodičů kontaktních bodů kolo/kolejnice ze středu otáčení [m]. Rovnice byly řešeny numericky v prostředí MS Excel gradientní metodou řešení soustavy nelineárních rovnic.

Výpočtem se ověří, zda podvozek zaujme statickou polohu pomocí Vogelovy metody [4] ověřením šířky volného kanálu koleje $2a$:

$$\boldsymbol{2a > 2a_p = \frac{x \cdot d}{R} - \frac{d^2}{2R}}, \quad (3)$$

kde x je poloha středu otáčení vůči přední nápravě [m], d je rozvor podvozku [m] a R je poloměr oblouku. Uvažována byla teoretická hodnota šířky volného pásu, vycházející z návrhové hodnoty rozchodu, i skutečná hodnota, včetně měřeného ojetí kolejnic. Pokud nebyla podmínka (1) dodržena, zaujímá podvozek vzpříčenou polohu a byl stanoven střed otáčení podvozku x_v:

$$\boldsymbol{x_v = \frac{d}{2} + \frac{2aR}{d}}. \quad (4)$$

U vzpříčené polohy byly vyřešeny rovnice rovnováhy složková a momentová a byla stanovena také velikost nepravé řídící síly P_2:

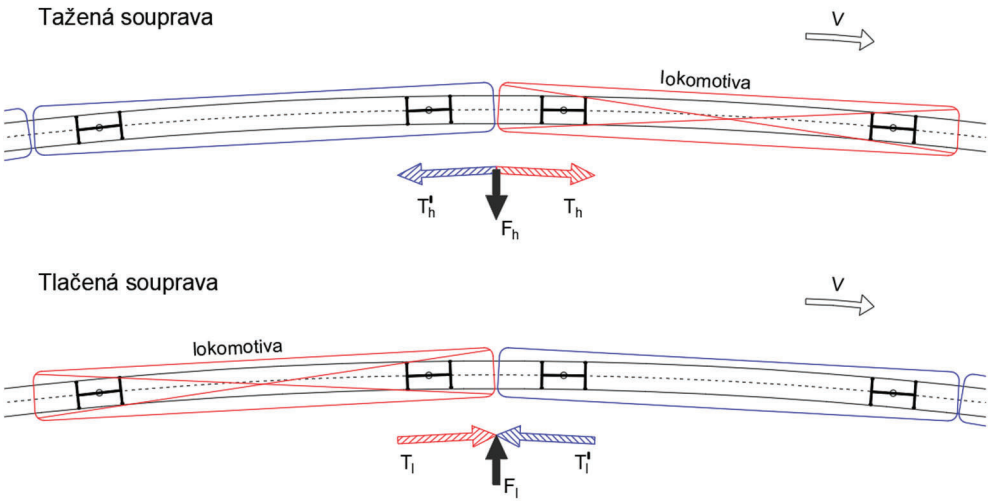
$$\boldsymbol{P_1 - P_2 - A + F_h - 2Q * f * \frac{x}{q_1} + 2Q * f * \frac{(d-x)}{q_2} = 0}, \quad (5)$$

$$\boldsymbol{P_1 * x_v + P_2 * (d - x_v) - A * \left(x_v - \frac{d}{2}\right) + F_h * \left(x_v - \frac{d}{2}\right) - 2Q * f * (q_1 + q_2) = 0}. \quad (6)$$

Podvozky souprav RailJet mají vzduchové sekundární vypružení, které přímo spojuje rám podvozku a skříň. Při natáčení podvozku pod skříní v oblouku koleje se proto sekundární vypružení příčně deformuje a vzniká vratný moment, který působí proti tomuto natočení. Tento vratný moment nebyl do výpočtu zahrnut s ohledem na to, že jeho hodnota je stejná v režimu sunutí i tažení soupravy, přitom tuto hodnotu se nepodařilo jednoznačně stanovit.

3.2 Příčné síly působící na vozidlo

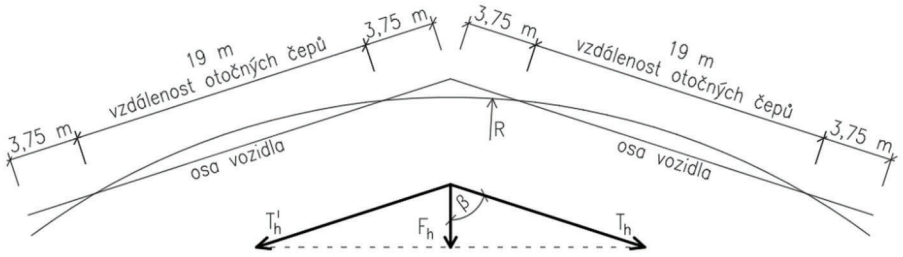
Ověřovanou hypotézou bylo, že soupravy, které jsou sunuty (tlačeny), by měly způsobovat větší boční ojetí kolejnic. Tato vnější síla se skládá z odstředivé síly, která působí, pokud vozidlo projíždí obloukem s nedostatkem převýšení *I*, jehož uvažované hodnoty v jednotlivých obloucích byly v rozmezí 60 až 100 mm. Další částí vnější síly je síla F_h, která vyplývá z geometrických parametrů koleje v oblouku a je závislá na velikosti odporu, resp. síle, kterou musí lokomotiva vyvinout, aby celá souprava mohla jet ustálenou rychlostí. Síla, která vzniká ve směrovém oblouku od tažné nebo tlačné síly lokomotivy, má své působiště v otočném čepu podvozku. Tato síla působí do středu oblouku, pokud je předpoklad, že souprava je lokomotivou tažena, a ze středu, pokud je souprava sunuta, viz ***obr. 2***.



Obr. 2 *Silový rozdíl mezi taženou a sunutou soupravou*

Fig. 2 *Force difference between pulled and pushed train units*

Po zjištění tažné (tlačné) síly jednoduše geometricky převedeme tuto sílu na hledanou boční sílu, viz ***obr. 3***.



Obr. 3 *Geometrická analýza působení bočních sil*

Fig. 3 *Geometric analysis of lateral forces*

Úhel β je pro každý poloměr oblouku jiný, dá se vypočítat z rozměrů vozidla a poloměru oblouku R pomocí vzorce

$$\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{arctg}\left(\frac{\sqrt{R^2 - 9{,}5^2}}{9{,}5+3{,}75}\right). \quad (7)$$

Při uvažování $T_{\mathrm{h}} \approx T'_{\mathrm{h}}$ lze výslednou boční sílu vypočítat:

$$\boldsymbol{F_{\mathrm{h}} = T_h \cdot cos\ \beta}. \quad (8)$$

Ve výpočtu hraje roli také součinitel tření f na kontaktu kolo a kolejnice. Pro výpočet byl použit vztah Curtiuse a Knifflera [5]:

$$\boldsymbol{f = \frac{7{,}5}{V+44} + 0{,}161}. \quad (9)$$

3.3 Traťové a vozidlové odpory

Pro zjištění velikosti boční síly bylo nejprve nutné vyčíslit tažnou (tlačnou) sílu samotné lokomotivy. Tato síla se vypočítá jako součet všech odporů, které je nutné, aby vlak překonal pro ustálenou rychlost. Odpory se rozlišují na dvě skupiny, traťové a jízdní [6]:

$$\boldsymbol{O = O_{\mathrm{t}} + O_j = g * m * (o_{\mathrm{t}} + o_{\mathrm{j}})}, \quad (10)$$

kde g je tíhové zrychlení 9,81 m.s^{-2}, m je hmotnost soupravy bez lokomotivy [t]. Odpor ze zakřivení koleje je souhrn všech možných třecích sil působících na styku koleje a kola, sil způsobujících změnu směru pohybu a vlastního odporu vozidla, zjednodušeně [7]:

$$\boldsymbol{o_{\mathrm{R}} = \frac{600}{R}}\ \text{[N/kN]}. \quad (11)$$

Odpor ze stoupání je přímo hodnota stoupání nebo klesání trati v promilích. Odpor z jízdy tunelem je způsoben zejména zvýšeným odporem vzduchu. Do rychlosti 200 km.h^{-1} je možné tento měrný odpor uvažovat 1 – 5 ‰, uvažováno v jediném ze zkoumaných úseků (oblouk v tunelu č. 2 Brno Maloměřice – Adamov). Hlavními složkami jízdního odporu jsou valivý odpor mezi kolem a kolejnicí, odpor v nápravových ložiscích a odpor prostředí. Pro zjištění celkového měrného jízdního odporu lze použít vzorec [8], kde V je rychlost v [km.h^{-1}]:

$$\boldsymbol{o_{\mathrm{j}} = 1{,}35 + 0{,}0008 \cdot V + 0{,}00033 \cdot V^2}. \quad (12)$$

3.4 Výsledky výpočtů

Výpočty podle Heumannovy metody dle kap. 2.3 ukázaly ve většině úseků, že sunuté soupravy zvyšují hodnotu řídící a následně vodící síly. Navýšení řídící síly P_1 u přední nápravy se pohybuje mezi kolejí č. 1 a č. 2 okolo 1-2 %. Ukázka výsledků výpočtů je v ***TAB. 1***, a to nejprve pro statickou polohu, kterou však podvozek dle (3) nemohl zaujmout, pak pro vypočtenou vzpříčenou polohu.

TAB. 1 *Ukázka výsledků výpočtu dle Vogelovy a Heumannovy metody*
TABLE 1 *Example of calculation results according to Vogel's and Heumann's methods*

Číslo úseku	Kolej	Poloha	Řídící síla P_1 [kN]	[%]	Rozdíl [%]
2	1 (tažená souprava)	Statická	48,94	100	-
		Vzpříčená	48,70	99,5	-0,49
	2 (sunutá souprava)	Statická	50,27	102,7	2,72
		Vzpříčená	49,01	97,5	0,14

4 SLEDOVÁNÍ OJETÍ KOLEJNIC

4.1 Měření ojetí kolejnic

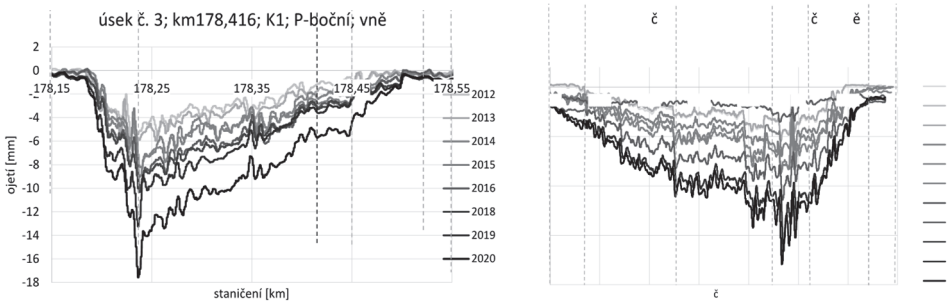
Každá kolejnice se opotřebovává ojetím, tvar ojetí je silně závislý na geometrickém a konstrukčním uspořádáním koleje. Boční ojetí je typické pro směrové oblouky. Pokud směrovým obloukem projíždí těžké soupravy (nákladní vlaky) s přebytkem převýšení, dochází na vnitřní kolejnici k rozválcování hlavy kolejnice a mohou se vytvořit převalky. Pokud směrovým obloukem projíždí soupravy s nedostatkem převýšení, projeví se větší boční ojetí na vnějším kolejnicovém pásu a větší svislé ojetí na vnitřním kolejnicovém pásu [11].

Ojetí závisí na intenzitě pojíždění kolejnic, na geometrických parametrech koleje, především na poloměru směrového oblouku, obecně můžeme říct, že čím je poloměr menší, tím je ojetí větší. Další důležitým faktorem pro ojíždění je materiál, resp. tvrdost materiálu kolejnic a kol železničního vozidla. Zpravidla se sleduje poměr tvrdosti kol a kolejnic, za optimální poměr se považuje 1,2. Základním kolejnicovým materiálem je v ČR ocel R260. V úsecích, kde se předpokládá zvýšené ojetí kolejnic, se používá ocel R350HT. Kolejnice z této oceli mají tepelně upravenou hlavu perlitizací. Použití definuje předpis SŽDC S3 „Železniční svršek“ díl IV „Kolejnice“. Použití je vázáno na poloměry směrových oblouků, zatížení v koleji a charakter provozu. Kolejnice z oceli R350HT nejsou vhodné do přímých úseků s ohledem na zvýšené riziko kontaktně-únavových vad.

Bylo sledováno ojetí kolejnic měřené měřicím vozem. Měřicí systém příčného profilu kolejnic, instalovaný na vozidle, umožňuje měření pojížděné části příčného profilu obou kolejnicových pásů. Kamery těchto jednotek snímají obraz příčného profilu vytvořený laserovým paprskem. Následně je obraz porovnán se vzorovým tvarem kolejnice, který je automaticky detekován. Zjištěné odchylky určují míru ojetí kolejnic. Měřící vůz vyhodnocuje ojetí ve vzdálenostech 0,25 m [9]. Pro vyhodnocení ojetí byla vyhodnocena data k oběma kolejím vždy z prvního měření, a to od roku 2011. V případě, že nebylo ojetí kolejnic při prvním měření v daném roce změřeno, byla poskytnuta data z 2. měření.

4.2 Vyhodnocení měření ojetí kolejnic

Až na jednu výjimku bylo zjištěno, že největších hodnot vždy nabývá boční ojetí vnějšího kolejnicového pásu. Bylo pozorováno, že velikost bočního ojetí se mění po délce oblouku, a nejvyšších hodnot dosahuje vždy u konce kružnicové části oblouku ve směru jízdy, viz ***obr. 4***. Tento jev byl jasně detekován u osmi úseků ze všech deseti zpracovaných. S ohledem na to, jak postupně narůstá podélný odpor při vjezdu vlaku do oblouku a následně zase postupně klesá při výjezdu, rostou nebo klesají síly podélné síly T_h a s tím doplňující příčné síly F_h. Odtud vyplývá, že boční ojetí by vlivem toho mělo kolísat v průběhu oblouku, a to s lokální extrémem v jeho středu po délce.



Obr. 4 *Typický průběh bočního ojetí vnější kolejnice*

Fig. 4 *Typical progression of lateral wear of the outer rail*

Pro posuzování ojetí bylo využito lineární regrese pro jednotlivé ojetí kolejnic. Byly vypočítány jednotlivé parametry pro regresní statistiku. V každém úseku a kolejnici se potvrdila hypotéza, že projíždí-li vlak směrovým obloukem s nedostatkem převýšení, je více bočně ojížděná vnější kolejnice. Hypotéza o větší svislém ojíždění vnitřní kolejnice při téže podmínkách se potvrdila zhruba v polovině výpočtů.

Hypotéza, že sunuté soupravy v daném úseku způsobují vyšší ojetí kolejnic, nebyla jednoznačně potvrzena. Rychlost bočního ojíždění byla velmi malá, ale nelze prokázat vliv souprav RailJet. Určitý rozdíl v řídících silách mezi sunutou a taženou soupravou existuje, ale nárůst kolem 2 % je menší než ostatní vlivy. Je třeba dále také přihlédnout ke složení vlakové dopravy v úseku, protože jednotky RailJet tvoří pouze malou část projeté zátěže ve sledovaném úseku.

5 ZÁVĚR

V tomto příspěvku byla představena analýza úseků tratě mezi stanicí Brno Maloměřice a Svitavy. K analýze byly vybrány směrové oblouky s malými poloměry, na kterých se zkoumalo možné ovlivnění ojetí od sunutých souprav RailJet v porovnání s taženými. Bylo zjištěno, že kolejnice se ojíždějí více v obloucích než v přímých, a to i svisle. Velikost poloměru úzce souvisí s velikostí ojetí, zejména bočního. Z hlediska ojetí je nejvíce kritické boční ojetí vnějšího kolejnicového pásu, které často dosahovalo i více než 10 mm. Úseky s ocelí R260 po zajetí určitým provozním zatížením nevykazují rychlejší ojíždění než úseky, ve kterých je použita otěruvzdorná ocel R350HT.

Provoz souprav v režimu sunutí má na boční ojíždění kolejnic zanedbatelný vliv. U koleje č. 1 tam, kde jsou soupravy RailJet taženy, dosahují boční ojetí podobných hodnot jako u koleje č. 2, kde jsou soupravy RailJet sunuty. Vliv může mít především rekuperace hnacího vozidla u souprav jedoucích po koleji č. 2 směrem na Brno.

Boční ojetí kolejnic se mění po délce oblouku. Plynule narůstá nebo se snižuje po délce přechodnice, v kružnicové části oblouku narůstá ve směru jízdy. Lom sklonu, resp. podélný profil trati v obloucích, má vliv na velikost (výškového srovnaného) ojetí, nicméně tento jev se prokázal v menší míře než nárůst ojíždění kolejnic po délce oblouku.

Závěrem je nutné konstatovat, že nebyl prokázán přímý vliv sunutých souprav na vyšší boční ojíždění kolejnic v úseku mezi stanicemi Brno – Maloměřice a Svitavy, byť statisticky nevýznamný nárůstu ojetí v koleji č. 2 oproti koleji č. 1 zjištěn byl.

Literatura

[1] Chudějová, Ludmila, „Opotřebení kolejnic v úsecích se směrovými oblouky malého poloměru", Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb, Brno, 2020. **[2] Schneider, Martin**, „Opotřebení kolejnic v úsecích se směrovými oblouky malého poloměru", Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb, Brno, 2021. **[3] Pohl, R.**, „Kvazistatické hodnocení vedení vozidel v oblouku koleje: velikost řídících sil - Heumannova metoda.", in Bezpečnosť proti vykoľajeniu železničných vozidiel: 1. celoštátny seminár. Zborník prednášok., Starý Smokovec: Dom techniky ČSVTS Žilina, 10.11 1989. **[4] Pohl, R.**, „Kvazistatické hodnocení vedení vozidel v oblouku koleje: poloha podvozku v oblouku koleje", in Bezpečnosť proti vykoľajeniu železnicných vozidiel: 1. celoštátny seminár., Starý Smokovec: Dom techniky ČSVTS Žilina, 10.11. 1989. **[5] Petz, Michael**, Vorlesung spurführungstechnik. Wien: TU Wien, 2008. **[6] O. Plášek, P. Zvěřina, R. Svoboda, a M. Mockovčiak**, Železniční stavby, Vyd. 1. in Železniční spodek a svršek. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. **[7]** „ČSN 73 6360-1. Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha: část 1: Projektování." Český normalizační institut, 2020. **[8]** „Předpis ČSD V7". NADAS Praha, 1982. **[9] Sychrovský, P.**, „Nové systémy pro diagnostiku železničního svršku", prezentováno v 18.

konference železniční dopravní cesta, České Budějovice: Správa železniční dopravní cesty, s.o., 2014.

♠ ♠ ♠

Resumé

Na koridorových hlavních tratích v České republice stále existují úseky, kde jsou směrové oblouky s poloměry menšími než 500 m. V těchto obloucích dochází ke zrychlenému ojíždění kolejnic, na tento jev má vliv více parametrů.

Příspěvek je zaměřen na výzkum rozvoje ojetí kolejnic v obloucích malých poloměrů v traťovém úseku Brno – Svitavy. Zkoumán byl jednak vliv parametrů geometrického uspořádání koleje, jednak parametrů provozních. Zkoumání byl podroben zejména vliv poloměru oblouku (hodnoty křivosti) koleje a vliv podélných sklonů. V této souvislosti byl hodnocen zejména rozdíl vlivu tažených a sunutých souprav (RailJet) na ojíždění koleje.

Vlivy jednotlivých parametrů byly nejprve analyzovány teoreticky. Následně byly statisticky zpracovány údaje o bočním a svislém ojetí koleje ve vybraných směrových obloucích, a to za období téměř deseti let. Tyto údaje byly pořízeny měřícím vozem pro železniční svršek. V závěru jsou shrnuty získané poznatky o vývoji ojíždění kolejnic v závislosti na uvedených parametrech.

Summary

On the corridor main lines in the Czech Republic, there are still sections with curves with radii less than 500 m. These curves show accelerated rail wear, and several parameters influence this phenomenon.

The paper focuses on the rail wear rate research in curves of small radii in the track section Brno – Svitavy. The influence of the geometrical parameters of the track layout and the operational parameters was investigated. In particular, the influence of the radius of the curve (curvature value) of the track and the influence of longitudinal gradients were investigated. In this context, the difference in the influence of the pulled and pushed train sets (Railjet) on the wear of the track was particularly evaluated.

The effects of the individual parameters were first analysed theoretically. Subsequently, the data on lateral and vertical rail wear in selected directional curves were statistically processed for a period of almost ten years. These data were taken by a track recording car. Finally, the findings on the development of rail wear depending on these parameters are summarised.

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.17

MODERNÍ ŽELEZNIČNÍ DÁLKOVÁ DOPRAVA

MODERN LONG-DISTANCE RAILWAY TRANSPORTATION

Jan PLOMER[*)], Josef BERAN, Radek WASSERBAUER

1 ÚVOD

Železniční dálková doprava zažívá v posledních letech velký růst. Nejen počtu cestujících, ale také požadavků kladených na vozidla. Některé jsou až v přímém protikladu se standardními přednostmi současných souprav pro dálkovou dopravu (vnitřní X vnější bezbariérovost). V souladu s rozvojem infrastruktury též krystalizují segmenty vozidel podle nejvyšší provozní rychlosti na vozidla s v_{max} 200-230(250) km/h a v_{max} 300+ km/h.

2 DÁLKOVÁ DOPRAVA S MAXIMÁLNÍ RYCHLOSTÍ 200-230 (250) KM/H

V TOMTO SEGMENTU JSOU K VIDĚNÍ AKTUÁLNĚ DVA ODLIŠNÉ TRENDY. Trakční ucelené jednotky a ucelené netrakční jednotky tažené/sunuté lokomotivou. Ty se jeví jako logická volba vzhledem k následujícím přednostem:

- Flexibilita konfigurace 4-9 vozů (sezónní, podle trendu vývoje a příp. změny vozebního ramene) s výrazně jednodušším vytvořením schválení adaptace oproti EMU a to jak při výrobě, tak v průběhu technického života,
- Vysoká úroveň cestovního pohodlí (prostorové oddělení/vzdálení trakční části, která je zdrojem hluku s vibrací, od přepravního prostoru),
- Udržovatelnost lokomotivy a netrakční jednotky v optimálních intervalech
- Dostatečný výkon a tažná síla při koncentrovaném pohonu
- Výhody ucelené jednotky při zachování flexibility
    - celková tlakotěsnost
    - pracho- a vzduchotěsné přechody,
    - redundance komponent (CZE, router)
    - potřeba nižšího počtu komponent (CZE, router)

Oblibu tohoto typu souprav potvrzuje objednávka 33 sedmivozových souprav pro noční vlaky ÖBB Nightjet, 8 sedmivozových souprav tzv. new Railjet rovněž pro ÖBB, či 20 ks devítivozových souprav Comfortjet pro ČD, všechny pro maximální rychlost 230 km/h. U souprav pro ČD se jedná o soupravy s vozy běžné výšky podlahy shodné konstrukce

[*)] **Ing. Jan PLOMER**, Siemens Mobility, s.r.o. Siemensova 1, 155 00 Praha, Česká Republika, M.: +420 704 955 010, e-mail: jan.plomer@siemens.com. Specialista dynamického chování kolejových vozidel.

Ing. Josef BERAN, Siemens Mobility, s.r.o., M.: +420 702 207 413, e-mail: josef.beran@siemens.com. Projektový manažer v konstrukci kolejových vozidel.

Ing. Radek WASSERBAUER, Siemens Mobility, s.r.o., M.: +420 721 608 883, e-mail: radek.wasserbauer@siemens.com. Architekt kolejových vozidel.

jako vozy předchozí zakázky, tzv. Interjety. Soupravy pro ÖBB jsou částečně nízkopodlažní. To umožňuje bezbariérový nástup do nízkopodlažních vozů, ale na druhou stranu činí obtížnější pohyb po délce soupravy, zejména použití vozíčků pojízdného minibaru. Rovněž konstrukce nízkopodlažních vozů je odlišná od standardních, kromě hrubé stavby zejména přesun komponent z pozic pod podlahou.

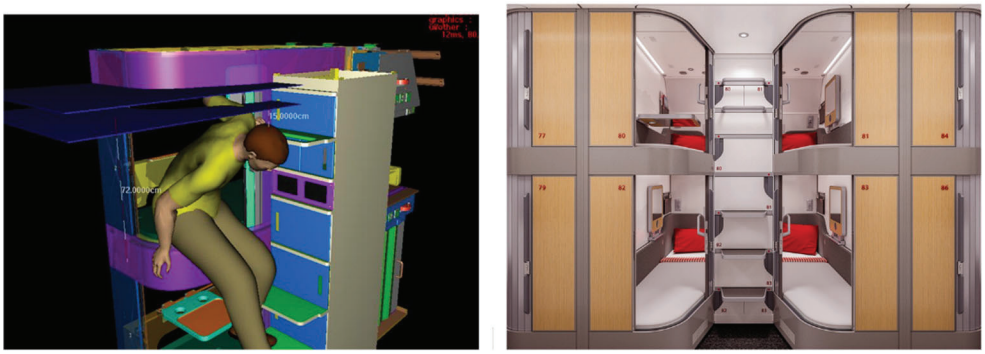


Obr. 1 *Řídící vůz soupravy ČD Comfortjet*

Fig. 1 *Driving car of the ČD Comfortjet formation*

Spací buňky lehátkového vozu ÖBB Nighjet

Zvyšující se rychlost jízdy vlaků a s tím spojené zkracování jízdních dob mění charakter cestování. Mnohé tradičně noční relace již lze zvládnout několikahodinovým denním cestování. Noční cestování umožňuje překonat vlakem vzdálenosti, ještě nedávno řešení jen letecky. Určitou specialitou nočních vlaků je inovativní řešení spacích buněk. Ty nabízí soukromý osobní prostor pro jednotlivé cestující při zachování udržitelné kapacitě vozu. Při jejich návrhu byla veliká pozornost věnována ergonomii, která je v tomto případě klíčová. Základní požadavek byl, aby se v buňce dalo plnohodnotně posadit, což například v klasickém lehátkovém voze při 3 lehátkách nad sebou nelze. Veliká výzva byla rovněž zajistit kvalitní klimatizaci i bezproblémovou evakuaci z těchto buněk.



Obr. 2 *Spací buňky lehátkového vozu ÖBB Nighjet*

Fig. 2 *Sleeping cells of the Nighjet coach*

3 DÁLKOVÁ DOPRAVA S MAXIMÁLNÍ RYCHLOSTÍ 300+ KM/H

Železniční vozidla pro rychlost nad 300 km/h jsou bez výjimek ucelené trakční jednotky. Hlavním důvodem pro toto řešení je limit nápravového zatížení, resp. limity plynoucí z dynamického zatěžování mostních konstrukcí i kolejového svršku samotného, které při současném stavu techniky nemá šanci splnit lokomotiva o nápravovém zatížení 20+ tun.



Obr. 3 *Velaro Novo*

Fig. 3 *Velaro Novo*

3.1 Vnitřní a vnější bezbariérovost

Vysokorychlostní elektrické trakční jednotky jsou tradičně řešeny s vnitřní bezbariérovostí při standardní výšce podlahy a s elektrickou výzbrojí pod podlahou. U těchto jednotek lze nyní sledovat odlišné trendy, resp. odlišné způsoby naplňování stejných trendů. Trendem, který promlouvá do celkové architektury vozidla je snaha o vnější bezbariérovost, která u stárnoucí evropské populace hraje výraznou roli. U zemí s polycentrickým uspořádáním (Německo) je tento motiv také podpořen snahou o zkrácení pobytů v nácestných stanicích s velkou výměnou cestujících.

Řešení vnější a vnitřní bezbariérovosti je u jednotlivých výrobců v tomto segmentu velice svérázné a velice těžko kvantifikovatelné a objektivně srovnatelné v případě otevřené soutěže. Můžeme sledovat následující trendy:

- Použití vozů s jednotnou standardní výškou podlahy, zajišťující vnitřní bezbariérovost, a s PRM výtahy,
- Použití portálového rámu jednonápravového sdíleného podvozku a docílení nízké podlahy v celé délce (i šířce) soupravy.
- Použití společných dvounápravových podvozků, nad nimiž je vyšší podlaha než v oblasti mezi nimi, kde se nachází i nástupní prostory.
- Použití dvoupodlažního uspořádání, kde vnitřní bezbariérovost je dosažena průchozím horním podlažím a vnější bezbariérovost vstupem do spodního podlaží.

V každém případě jde o technicky velmi náročné téma, dosažení nízkopodlažnosti spojeno s vysokými náklady a ústupky na ostatních nárocích (např. izolace hluku od podvozku).

3.2 Šířka skříně vozidla vs příčný komfort

Tento klasický rozpor, který je přítomen u každého vývoje vozidla, má u vysokorychlostních vozidel ještě hlubší význam, obzvlášť v případě, že vozidlo má být schopno jezdit rychlostí 300 km/h s nedostatkem převýšení 150 mm a i v tomto případě poskytovat vyhovující jízdní komfort. Tato situace totiž vede k tomu, že příčné vypružení musí být pro dosažení komfortu výrazně měkké a tedy zachycovat příčnou (odstředivou) sílu na velké příčné deformaci. Tento větší rozsah příčného vypružení se promítne 2x do šířky skříně, což přirozeně dává prostor pro smysluplné nasazení aktivního příčného vypružení, který může rozsah pohybů sekundárního vypružení o cca 2 x 50 mm snížit a tím přidat cca 100 mm na šířce skříně. Rozhodnutí o nabídnutí/nasazení příčného vypružení se tak stává také kritickým bodem, rozlišujícím nabídky různých výrobců.

3.3 Energetická úspornost provozu

Existuje mnoho opatření, které přispívají ke snížení energetické náročnosti soupravy. U vysokorychlostních jednotek jde zejména o optimalizaci aerodynamického odporu, který je dominantní složkou jízdního odporu, a tedy spotřeby energie. Zakrytování podvozků zejména čelních vozů se zdá být nejúčinnějším opatřením, které pomáhá dále snížit koeficient C_x. Zakrytování podvozků je však problematické vzhledem k automatizovaným inspekčním postupům.



Obr. 4 *Zakrytování podvozku Velaro Novo*

Fig. 4 *Streamline covered bogie of the Velaro Novo*

4 PARTNERSKÝ VÝVOJ KONCEPTU VOZIDLA

4.1 HGV 3.0

Tradiční forma výběrových řízení činí tvůrčí technický dialog mezi výrobcem vozidla a provozovatelem vozidla těžkopádný. Přesné formulování zadávacích podmínek nedává mnoho prostoru pro kreativní tvořivost, pro nové myšlenky. Deutsche Bahn v rámci projektu Hochgeschwindigkeitsverkehr 3.0 in Deutschland proto přistoupily k úkolu pořízení flotily vysokorychlostních vozidel pro provoz po roce 2030 novým způsobem vytvářejícím podmínky pro tvůrčí dialog. Před samotným zadání vývoje, výroby a schválení vozidel oslovily výrobce k tzv. partnerskému vývoji konceptu vozidla. Pro tuto fázi byli vybráni 2 výrobci, kteří nejlépe splnili kvalifikační podmínky.

V rámci partnerského vývoje konceptu vozidla jsou na základě požadavků DB zpracovány různé možnosti dosažení vytyčených požadavků a jejich kombinací (nízkopodlažnost, rychlost výměny cestujících, energetická úspornost, nízké údržbové náklady, automatizovatelnost údržby aj.). Díky úzké spolupráci DB s oběma výrobci (odděleně) je možno velice přesně zhodnotit proveditelnost, cenu a jiné ukazatele vytyčených řešení. Tyto koncepty budou dále sloužit DB k přesné formulaci zadání druhé

fáze, tedy vývoje, výroby a schválení těchto vozidel, přičemž do této druhé fáze se budou moci přihlásit opět i další výrobci.

4.2 Partnerský vývoj obecně

Partnerský (před)vývoj železničních vozidel je znám z dob unitárních železnic. V souvislosti s nástupem soukromých železničních dopravců a celkovému otevření trhu železniční dopravy došlo pochopitelně i ke vzdálení oborů výroby kolejových vozidel a železniční dopravy. Noví dopravci těžko mohou získat základnu technických vědomostí a zkušeností, jako mají objemné struktury státních dopravců. Státní dopravci zase mohou těžko dosáhnout konkurenceschopné ceny vůči štíhlé struktuře soukromých dopravců. Nejen z tohoto hlediska se jeví jako velice vhodné, usnadnění definice požadavků na vozidla a zejména lepšího využití současného stavu techniky díky partnerskému předvývoji.

5 SPOLEČNÉ TRENDY VOZIDEL DÁLKOVÉ DOPRAVY

U obou segmentů jsou pozorovatelné, mimo již zmíněné, následující společné trendy, které plynou z událostí posledních let:

- Vyšší nároky na čistotu vzduchu a s tím související možnosti dodatečné filtrace
- Automatizovaná údržba a eliminace lidmi prováděných rutinních údržbových úkonů
- Snižování spotřeby vody její částečnou recyklací (umyvadlo→splachování) – zejména za účelem prodloužení servisních intervalů

5 ZÁVER

Dálková železniční osobní doprava má své pevné místo v zajištění přepravy meziregionálního charakteru. V souladu s rozvojem infrastruktury v podobě modernizace konvenčních tratí a (přípravy) výstavby vysokorychlostních tratí se vytříbily dva základní segmenty dálkové dopravy. Segment vlaků s maximální rychlostí 200-230 km/h využívající převážně modernizované konvenční tratě, pro který lze velice výhodně využít netrakční push-pull jednotky a jejich výhody, a segment vlaků využívající převážně vysokorychlostní tratě s maximální rychlostí 300+ km/h, který je tvořen čistě trakčními jednotkami. U obou segmentů je znát trend hledání vhodného technického řešení k ekonomicky akceptovatelnému dosažení vyváženého poměru vnější a vnitřní bezbariérovosti. Její dosažení je podmíněno jak vyššími pořizovacími náklady, tak ústupky v podobě komplikace konstrukce. Na základě posledních zkušeností s vývojem vozidel pro dálkovou dopravu lze konstatovat, že implementace tak zásadních inovací, jako je např. vnější a vnitřní bezbariérovost, vyžaduje velice citlivé a pečlivé zhodnocení, které lze provést zejména při úzké spolupráci mezi výrobci a dopravci.

♠ ♠ ♠

Resumé

Příspěvek popisuje aktuální trendy v oblasti dálkové osobní železniční dopravy s ohledem na rozvoj konvenční i vysokorychlostní infrastruktury a jejich koexistenci. Pozornost je věnována jak netrakčním jednotkám pro rychlost 230 km/h pro denní a noční cestování, tak vysokorychlostním jednotkám pro rychlost nad 300 km/h. Věnuje se rovněž technickému vývoji subsystémů, které jsou často společné.

Summary

This article describes the latest trends in field of long-distance railway transportation considering the development of the conventional and highspeed infrastructure and their coexistence. In the focus stand the push-pull units with top speed of 230 km/h as well, as the very high-speed trains with top speed higher than 300 km/h. There will be described also some details of the latest technical developments of their subsystems.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.18

ROLE ŽELEZNICE V UDRŽITELNÉ MULTIMODÁLNÍ MOBILITĚ

THE ROLE OF RAIL IN SUSTAINABLE MULTIMODAL MOBILITY

Jiří POHL[*)]

1 REALITA KLIMATICKÉ ZMĚNY

Spalováním fosilních paliv již došlo ke zvýšení obsahu oxidu uhličitého v zemském obalu z výchozí hodnoty 3 500 miliard t (koncentrace 280 ppm) o zhruba 50 % na současnou hodnotu přibližně 5 250 miliard t (koncentrace 420 ppm). To se projevilo zvýšením tepelně izolační schopnosti zemského obalu s důsledkem zvýšení střední teploty ovzduší nad povrchem země o 1 °C. Oxid uhličitý je velmi stabilní, proto je z hlediska lidského chápání času vnímána tato změna jako nevratná.

Vlivem nesymetrické tepelné kapacity Země (severní pól je oceán mezi pevninami, jižní pól je pevninou mezi oceány, proto má severní pól mnohem slabší zalednění než jižní pól) probíhají na severní zemské polokouli změny klimatu podstatně rychleji než na jižní zemské polokouli. Zvýšení teploty ovzduší je v ČR cca 2,5násobně vyšší než světový průměr. Meteorologická měření to dokládají, v průběhu 110 let (1905 až 2015) již došlo v ČR k nárůstu střední roční teploty ovzduší o 2,5 °C (z 6,7 °C na 9,2 °C). Srážkový úhrn však byl v období let 1905 až 2015 zhruba stálý (680 mm). Výsledkem je chronické sucho způsobené zvýšeným odparem srážkové vody.

Realita nevratných klimatických změn je velmi silnou motivací k programovému ukončení spalování fosilních paliv (uhlí, ropných produktů a zemního plynu) tak, jak bylo dohodnuto 197 zeměmi světa na světové klimatické konferenci OSN v Paříži v prosinci roku 2015.

Rozhodnutí zastavit oteplování Země na hodnotě 1,5 až 2 °C znamená podle analýz provedených Mezinárodní agenturou IEA přestat do roku 2050 spalovat uhlí, ropné produkty i zemní plyn. To je smělý, ale reálný cíl. Energii, kterou lidstvu dávají fosilní paliva lidstvu za rok, přinášejí sluneční paprsky k Zemi každých 40 minut. Končící epocha používání fosilních paliv byla dějinnou epizodou významného rozvoje. Více než dvě stě let trvající období využívání energie fosilních paliv umožnilo lidstvu žít v energetickém blahobytu a uskutečnit zásadní rozvoj vzdělanosti, znalostí a dovedností. Díky tomu již lze:

- významným způsobem zvýšit energetickou účinnost a tím snížit konečnou spotřebu energie (princip: úspory jsou zdrojem energie, a to zdrojem obnovitelným a bezemisním),
- fosilní paliva nahradit obnovitelnými zdroji energie, zejména univerzálně využitelnou elektrickou energií. Avšak s ohledem na volatilitu obnovitelných zdrojů je nutno řešit nejen vyrovnanou energetickou bilanci (kWh) zdrojů a spotřeby, ale i vyrovnanou výkonovou bilanci (kW) zdrojů a spotřeby, a to v jakémkoliv okamžiku.

Způsob života lidské civilizace, podmíněný spalováním fosilních paliv, v zásadě nepoškozuje planetu Zemi, ta je z vesmírného a geologického hlediska vysoce odolná.

[*)] **Ing. Jiří POHL**, Siemens Mobility, s.r.o., Engineering, Siemensova 2715/1,155 00 Praha 13, +420 724 014 931, jiri.pohl@siemens.com.

Avšak mění podmínky pro život ekosystémů na Zemi, a to včetně podmínek pro život lidské civilizace. To je důvodem, proč dosud navyklý životní styl, podmíněný spalováním fosilních paliv, není udržitelný. To se týká všech oborů lidské činnosti včetně dopravy. Podobně jako energetiku, či průmysl, je nutno, a to velmi rychle, též i dopravu zbavit závislosti na spalování fosilních paliv.

Avšak udržitelný rozvoj má nejen environmentální, ale i ekonomickou a sociální dimenzi. Podmínkou udržitelnosti mobility je kromě minimalizace vlivů dopravy na životní prostředí cestou eliminace globálně působících a klima nevratně měnících emisí oxidu uhličitého, i lokálně působících emisí zdraví škodlivých látek, též její ekonomická a sociální udržitelnost. Lidé musí být svojí prací (i tu lze vnímat jako obnovitelný zdroj) schopni přebudovat stacionární i mobilní část dopravních systémů a musí být ochotni s tím spojené změny akceptovat.

Klíčová je ekonomika. Bude-li nová podoba mobility udržitelná ekonomicky, bude udržitelná i sociálně, neboť neomezí naplňování dopravních potřeb. Základem udržitelné multimodální mobility je proto náhrada dosavadních konkurenčních vztahů mezi jednotlivými druhy dopravy (snaha být nejlepší, umět druhého porazit), jejich součinností, založenou na kooperativnosti (umění spolupracovat) a komplementárností (umění nabídnout něco jiného, doplňovat se).

Na straně železnice je zásadní výhoda nízké energetické náročnosti (vysoké energetické účinnosti) a vysoké výkonnosti i výhoda technologicky vyřešené nezávislosti na fosilních palivech, což však je podmíněno investicemi do vybudování kvalitní infrastruktury. V rámci dekarbonizace mobility je proto vhodné orientovat železnici do oblastí silné a pravidelné přepravní poptávky, kdy její přednosti přinesou největší efekt, který vyváží investiční náklady.

2 PROJEKTOVÉ ŘÍZENÍ DEKARBONIZACE

Odklon od používání energie fosilních paliv, tedy dekarbonizace, je nejrozsáhlejším projektem v dějinách lidstva. Podobně jako každý jiný projekt vyžaduje i projekt dekarbonizace definování motivace, cílů, nástrojů a zdrojů. A pochopitelně i vysoce kvalifikované projektové řízení.

Energetika má a bude mít nadnárodní dimenzi. To je dáno jak nerovnoměrným rozložením geologických zásob fosilních paliv na Zemi (viz například skutečnost, že 98 % své spotřeby zemního plynu a 99 % své spotřeby ropy kryjí země EU importem), tak i nerovnoměrným rozložením podmínek pro využívání obnovitelných zdrojů energie. Ne všechny státy mají k dispozici pobřežní mělčiny, vhodné pro instalaci vysoce výkonných (v řádu GW) větrných parků, či vodní toky s velkým hydroenergetickým potenciálem. Proto je logické, že evropské země sdružené v EU řeší projekt dekarbonizace společně, byť k Pařížské dohodě přistoupily jednotlivě. Logickým důvodem k součinnosti zemí EU je též jejich spojení společnými energetickými sítěmi.

Základním nástrojem zemí EU k odklonu od používání fosilních paliv je systém emisního obchodování EU ETS. Jeho princip je prostý: spalování fosilních paliv je zpoplatněno úměrně vytvořenému množství oxidu uhličitého, a to povinností nákupu emisních povolenek. Výnos z prodeje emisních povolenek je určen k podpoře úspor energie a bezemisních technologií. Cena emisní povolenky je cenou tržní, určuje jí elasticita trhu v odezvě na nabídku, která je programově rok od roku lineárním redukčním faktorem snižována. Aktuálně je cena emisní povolenky poměrně stabilní a pohybuje se kolem 90 EUR/t CO_2.

Slabinou systému emisního obchodování EU ETS je jeho dosavadní nedůslednost. Do oblasti spotřeby fosilních paliv regulované systémem emisního obchodování EU ETS je zařazena jen část spotřebitelů (elektrárny, teplárny a průmysl), nikoliv doprava a individuální vytápění. To má na dopravu velmi kontraproduktivní dopad:

- cena elektrické energie i pro dopravu již je zvýšena zahrnutím elektráren do systému EU ETS. Například uhelná elektrárna s účinností 36 % spalující uhlí s měrnou emisivitou 0,36 kg CO_2/kWh produkuje elektrickou energii s měrnou emisivitou 1 kg CO_2/kWh, což při ceně emisní povolenky 90 EUR/t CO_2 zvyšuje její výrobní náklady a tím i cenu elektrické energie o 0,09 EUR/kWh,
- pohonné hmoty pro spalovací motory vozidel dosud nejsou zahrnuty do systému EU ETS. Například motorová nafta s měrnou emisivitou 2,65 kg CO_2/litr dosud odpovídající platbou za emisní povolenky v úrovni 0,24 EUR/litr zatížena není.

Tato diskriminace bezemisní elektrické vozby bude odstraněna až mezi roky 2027 až 2030, kdy budou do systému emisních povolenek EU ETS 2 zahrnuty i paliva pro individuální vytápění a pro dopravní prostředky. Zpočátku se sníženou sazbou 45 EUR/t CO_2, následně se po roce 2030 stanou součástí jednotného systému emisního obchodování.

3 DEKARBONIZACE DOPRAVY

Doprava je v ČR velice významným konečným spotřebitelem energie. Dokládá to Souhrnná energetická bilance MPO/EUROSTAT za rok 2019 (poslední již statisticky zpracovaný rok před pandemií Covid 19):

- domácnosti 83 TWh/rok (s tendencí poklesu),
- doprava 79 TWh/rok (s tendencí růstu),
- průmysl 76 TWh/rok (s tendencí poklesu),

Doprava je též z těchto tří oborů nejvíce závislá na spotřebě fosilních paliv, a tedy i na produkci oxidu uhličitého:

- domácnosti 31 TWh/rok, což je 37 % z celkové spotřeby energie a což generuje 8 mil. t CO_2/rok,
- doprava 73 TWh/rok, což je 93 % z celkové spotřeby energie a což generuje 19 mil. t CO_2/rok,
- průmysl 34 TWh/rok, což je 44 % z celkové spotřeby energie a což generuje 8 mil. t CO_2/rok.

Základní cíl dekarbonizace dopravy je velmi prostý: v roce 2050 nebude doprava spalovat žádná fosilní paliva (nebude vydána žádná emisní povolenka), a tedy ani nebude produkovat žádné emise oxidu uhličitého. S tím souvisí i eliminace emisí zdraví škodlivých látek (oxidy dusíku NO_x, jemné prachové částice PM, polyaromatické uhlovodíky PAH, organické těkavé látky VOC…) a odstranění závislosti dopravy a tím i svobody pohybu na importu fosilních paliv, spojeným s financováním agresivních armád. Pochopitelně je tento základní cíl logicky doplněn dvěma souvisejícími cíli:

- rozvíjet dopravu k vyšší bezpečnosti, spolehlivosti, produktivitě, rychlosti a pohodlí a pro zapojení celého území do společného systému tvorby a spotřeby hodnot,
- minimalizovat energetickou náročnost dopravy a její další nežádoucí externí vlivy.

Stojí za povšimnutí, že při dekarbonizaci dopravy jsou díky odklonu od používání spalovacích motorů v dopravních prostředcích redukovány její dosavadní čtyři externality (emise oxidu uhličitého, emise zdraví škodlivých látek, hluk a nehody) na dvě (hluk a nehody). Avšak přibývá k nim nově vnímaná třetí externalita, kterou je spotřeba energie. Neboť energie pro dopravu nevzniká na dopravní cestě, ale někde mimo ni, kde její vytváření (zpravidla v podobě elektrárny) zatěžuje krajinu.

4 ÚSPORY ENERGIE V DOPRAVĚ

Dekarbonizace dopravy je v zásadě energeticky příznivá. Díky vyšší účinnosti elektrických trakčních pohonů ve srovnání se spalovacími motory, které mění většinu energie paliva na ztrátové teplo a které neumí rekuperovat brzdovou energii, klesá při

intramodální náhradě spalovacích motorů elektrickými trakčními pohony spotřeba energie zhruba 2,5krát, tedy na cca 40 %. To se příznivě projevuje i na nákladech na energii. Rovněž náklady na údržbu elektrických vozidel jsou výrazně nižší, než náklady na údržbu spalovacích vozidel.

Ještě významnější snížení spotřeby energie, zhruba 3krát, tedy na cca 33 %, nastává vlivem nižšího odporu valení (ocelové kolo versus pneumatika) a vlivem nižšího aerodynamického odporu (dlouhá štíhlá vozidla jedoucí ve vlaku v těsném zákrytu versus samostatně jedoucí krátká vozidla) při extramodálním převodu z přeprav ze silniční dopravy na železniční dopravu.

V realitě nynějšího dopravního provozu jsou silniční vozidla téměř výhradně poháněna spalovacími motory, a naopak v kolejové dopravě dominuje elektrická vozba. Ačkoliv je v ČR jen 34 % délky železničních tratí elektrizovaných, tak na liniově elektrizované tratě je soustředěno 86 % dopravních výkonů osobní železniční dopravy a 95 % dopravních výkonů nákladní železniční dopravy. V městské hromadné dopravě (metro, tramvaje) je kolejová doprava výhradně v elektrické vozbě.

V důsledku toho je převod dopravy ze silnic na koleje zároveň zpravidla doprovázen i převodem ze spalovací vozby na elektrickou vozbu. Energetická náročnost přepravy převedené ze spalovacích automobilů na elektrizovanou železnici klesá v součinu obou výše uvedených redukčních faktorů (0,4 . 0,33 = 0,13), respektive v poměru 1 : 7,5, tedy na pouhých 13 % výchozího stavu, a bez emisí. Tato velice zásadní úspora energie (87 %) je spolu s odstraněním závislosti dopravy na importu a spalování fosilních paliv základním motivem k investičnímu rozvoji kolejové dopravy ve směrech silných přepravních proudů.

Potenciál extramodálních úspor energie při převodu silniční dopravy na železnici je značný, avšak je podmíněn dvěma skutečnostmi:

- cestující, respektive přepravce, musí mít motiv ke změně svého dopravního chování, kolejová doprava mu musí nabídnou určité benefity (rychlost, pohodlí, rozumnou cenu),
- kolejová doprava musí mít kapacitu (tratí, vozidel, personálu, terminálů…) přijmout zvýšenou přepravní poptávku. I kvantita je součástí kvality přepravní nabídky.

5 ENERGIE PRO DOPRAVU

Budoucí vývoj spotřeby fosilních paliv v dopravě v EU i v ČR je v zásadě určen pravidly systému emisního obchodování EU ETS 2, respektive EU ETS:

- ve výchozím roce 2027 (začátek emisního obchodování EU ETS 2) spotřebuje doprava v ČR regulatorními opatřeními ještě nesnížené množství uhlovodíkových paliv. To bude odhadem, podle dosavadního vývoje, reprezentovat energii uhlovodíkových paliv (zejména fosilních) cca 82 TWh/rok. Tím doprava vyprodukuje zhruba 20 mil. t oxidu uhličitého/rok,
- v cílovém roce 2050 (zakončení emisního obchodování EU ETS po dosažení cíle dekarbonizace, v roce 2050 již nebude vydána žádná emisní povolenka) spotřebuje doprava v ČR 0 TWh/rok energie fosilních paliv a vyprodukuje 0 mil. t oxidu uhličitého.

Snížení spotřeby fosilních paliv do roku 2050 na nulu (a jemu úměrné snížení emisí oxidu uhličitého do roku 2050 na nulu) není téma k diskusi na úrovni ČR, to je dáno celosvětově přijatou dohodou, kterou akceptovala i ČR. To je zadání pro všechny obory včetně dopravy.

Téma k řešení však je, jakým způsobem bude provedena náhrada fosilních paliv obnovitelnými zdroji energie, tedy elektřinou. Cílová hodnota je ohraničena dvojicí krajních mezí:

- spotřeba elektrické energie pro dopravu v ČR vzroste z počáteční hodnoty v roce 2025 v úrovni 2 TWh/rok na 35 TWh/rok v cílovém roce (2050) při pouhé elektrizaci silniční dopravy s redukčním faktorem energetické náročnosti 2,5 (při 0 % převodu silniční dopravy na kolejovou dopravu),
- spotřeba elektrické energie pro dopravu v ČR vzroste v limitní hodnotě na 13 TWh/rok při převedení veškeré silniční dopravy na elektrizovanou kolejovou dopravu s redukčním faktorem energetické náročnosti 7,5 (při hypotetickém 100 % převodu dopravy ze silnice na kolejovou dopravu).

Pro investiční náročnost rozvoje sektoru energetiky, směřovaného k zajištění potřebné elektrické energie pro dopravu, je velmi podstatné, zda má náhradou za ušetřených 82 TWh/rok energie uhlovodíkových paliv:

- zajistit navíc 33 TWh/rok elektrické energie (to je o 57 % navíc vůči spotřebě elektrické energie spotřebitelským sektorem v ČR v roce 2019 v úrovni 58 TWh/rok), jak odpovídá pouhé elektrizaci silniční dopravy bez přesunu na kolejovou dopravu),
- nebo zda bude navíc potřebné množství elektrické energie pro dopravu významně sníženo v důsledku poklesu energetické náročnosti dopravy přesunem přeprav ze silniční na kolejovou dopravu (limitně by při 100 % převodu dopravy ze silnice na kolejovou dopravu postačovalo zajistit navíc jen 11 TWh/rok elektrické energie, což je o 19 % navíc vůči spotřebě elektrické energie spotřebitelským sektorem v ČR v roce 2019 v úrovni 58 TWh/rok). Pochopitelně nejde jen o rok 2050, ale i zajištění elektrické energie pro dopravu v dalších desetiletích.

Výše uvedená čísla jsou vztažena k plně elektrické dopravě, v silniční dopravě s dominancí vozidel s elektrochemickými zásobníky energie (akumulátorové baterie) a kolejové dopravě s dominancí vozidel s liniovým elektrickým napájením (z trakčního vedení).

V případě ukládání elektrické energie do vodíku by s ohledem na nízkou účinnost řetězce energetických přeměn (elektrolyzér – kompresor – doprava – chlazení při expanzi – palivový článek – vyrovnávací akumulace), která činí cca 30 %, byla spotřeba elektrické energie zhruba třikrát vyšší (avšak s předností využití možnosti akumulace přebytků elektrické energie z volatilních obnovitelných zdrojů v době příznivých podmínek).

Pro snížení externích nákladů dopravy do budování nových zdrojů elektrické energie pro dopravu je velmi důležité usilovat se o to, aby dopravě celkově postačovalo nikoliv výše uvedených 35 TWh/rok, jak by odpovídalo 0 % převodu silniční dopravy na kolejovou dopravu, ale zhruba 24 TWh/rok elektrické energie, což odpovídá 50 % převodu silniční dopravy na kolejovou dopravu. To je zvýšení spotřeby elektrické energie pro dopravu o 22 TWh/rok oproti současnosti.

6 BEZEMISNÍ MULTIMODÁLNÍ UDRŽITELNÁ MOBILITA

Vůči silniční dopravě má kolejová doprava při dekarbonizaci dvě zásadní výhody, pro které je ve směrech silné přepravní poptávky intenzivně rozvíjena:

- nízká energetická náročnost (na jednotku přepravní práce jí postačuje zhruba třetinová spotřeba energie),
- technicky vyřešené, normativně standardizované a síťově zavedené vysoce výkonné a vysoce účinné vysokonapěťové liniové elektrické napájení. To je ve srovnání s limity danými rozměrnými, drahými a těžkými zásobníky energie (akumulátory) v podobě primárních (vodíkových) či sekundárních (lithiových) elektrochemických článků, na které jsou vlivem absence liniového napájení odkázána silniční vozidla, velmi významná přednost. V principu je v kolejové dopravě tato přednost dána použitím elektricky vodivých ocelových kolejnic, které vytvářejí dvě zásadní přednosti elektrické vozby:

- kolejnice zajišťují zpětné trakční vedení, díky tomu může být vrchní trakční vedení jen jednostopé a bez výhybek, tedy sjízdné podle TSI provozními rychlostmi do 350 km/h,
- kolejnice zajišťují kontinuální vodivé spojení kolejových vozidel se zemí a tím i jejich ochranu vůči nebezpečnému doteku neživých částí. To podmiňuje v kolejové dopravě možnost napájet vozidla vysokým napětím 25 kV, což je významný rozdíl oproti silniční dopravě, u které je z důvodu chybějícího uzemnění vozidel na pneumatikách napájecí napětí limitováno na úroveň 0,75 kV.

Nevelké napájecí napětí 0,75 kV omezuje v liniově elektrizované silniční dopravě výkonnost vozidel i dopravního systému a vyžaduje velké množství trakčních napájecích stanic rozmístěných na malou vzdálenost. V kontrastu s tím mohou železniční vozidla, díky vodivému spojení s uzemněnými kolejnicemi, využívat napájecí napětí 25 kV, což dává trakčnímu vedení v poměru druhých mocnin napětí vůči systému 0,75 kV 1 111krát větší přenosovou schopnost a spolu s tím i velmi vysokou účinnost. Provoz vysokorychlostních vlaků o příkonu kolem 20 MW, či budovaní IGBT multilevel měničových 3 AC/1 AC trakčních napájecích stanic se spojitým dvoustranným napájením v systému jednotné fáze na vzdálenost kolem 100 km, jsou toho dokladem.

Objektivní fyzikální i technické a ekonomické přednosti elektrické vozby staví v kolejové dopravě do čelní pozice liniovou elektrizaci. V městské hromadné dopravě výhradně (viz metro a tramvaje), na železnici v oblasti hlavních tratí. Rozvoj liniové elektrizace na hlavních dopravně silněji zatížených tratích též jde vstříc i potřebám bezemisního provozu na vedlejších dopravně méně zatížených tratích bez liniové elektrizace:

- vytváří další příležitosti pro nabíjení akumulátorových baterií dvouzdrojových vozidel trolej/akumulátor (BEMU). A to jak statické (za stání v liniově elektrizovaných železničních stanicích), tak i dynamické (v průběhu jízdy po liniově elektrizovaných železničních tratích).

Železnice však nedokáže plošně obsloužit celé území, v ČR má k dispozici jen 9 532 km tratí, které jsou navíc zatíženy velmi nerovnoměrně:

- 90 % dopravních výkonů nákladní železniční dopravy je soustředěno na 19 % délky železniční sítě (1 800 km),
- 90 % dopravních výkonů osobní železniční dopravy je soustředěno na 34 % délky železniční sítě (3 200 km).

Z hlediska plošné obsluhy i méně intenzivně osídleného území je vůči železnici ve výhodnější pozici silniční doprava, má v ČR k dispozici síť 130 757 km dálnic, silnic a místních komunikací. Avšak při dekarbonizaci má silniční doprava dvě podstatné nevýhody:

- velkou energetickou náročnost (ve srovnání se železnicí zhruba trojnásobnou),
- až na výjimky (trolejbusy) chybějící liniová elektrizace. Proto jsou silniční vozidla při odklonu od používání spalovacích motorů odkázána na použití zásobníků elektrické energie, aktuálně reprezentovaných zejména lithiovými akumulátorovými bateriemi.

V průběhu posledních desetiletí došlo k významnému technologickému pokroku v oblasti lithiových sekundárních článků. Ve srovnání s olověnými akumulátorovými trakčními bateriemi, které byly dosud používány a které dosahovaly měrnou energii kolem 25 kWh/t, disponují moderní lithiové akumulátorové baterie měrnou energií kolem 100 kWh/t (typu HP, tedy dražší robustní schopné rychlého nabíjení a vybíjení vysokým výkonem, s vyšší životností v desítkách tisíc cyklů a s vysokou účinností) až 200 kWh/t (typu HE, tedy levnější, méně robustní a určené pro pomalejší nabíjení a vybíjení nižším výkonem, s nižší životností v jednotkách tisíc cyklů a s nižší účinností). Avšak stále ještě představují akumulátorové baterie dosti drahý, rozměrný a hmotný díl vozidla.

Z principu zákona zachování energie je podle Kummlerova vztahu dojezd vozidla se zásobníkem energie úměrný poměrné hmotnosti zásobníku energie ke hmotnosti vozidla. Tedy pokud nemá být akumulátorové vozidlo příliš těžké, což by zhoršovalo jeho užitkovost, zvyšovalo by jeho pořizovací cenu i provozní náklady, nelze od něho požadovat dlouhý dojezd. Aktuálně jsou na trhu při současném stavu techniky běžně dostupné osobní automobily i nákladní automobily (v širokém rozsahu nosností) s dojezdem v nižších stovkách kilometrů, nikoliv pro dálkové jízdy.

Je realitou, že vlivem respektování fyzikálních zákonitostí (růst aerodynamického odporu s druhou mocninou rychlosti) vede snaha o docílení akceptovatelného dojezdu vozidel se zásobníky energie k umírněným požadavkům na rychlost jejich jízdy.

Multimodalita, tedy kombinace více druhů dopravy, je řešením, jak efektivně využít nízkou energetickou náročnost kolejové dopravy, a přitom zajistit dopravu osob a věcí po celé ploše území státu. Je praktikována jak v oblasti přepravy osob, tak i v oblasti přepravy věcí. Jde o spontánně akceptovaný trend, zájem veřejnosti o parkoviště P+R u železničních stanic a zastávek jsou dokladem její obliby: na krátké vzdálenosti a po venkově automobilem, na dlouhé vzdálenosti a do měst vlakem.

7 SOUČINNOST ŽELEZNIČNÍ A SILNIČNÍ DOPRAVY

Mezi jednotlivými druhy dopravy historicky vznikly konkurenční vztahy. Každý druh dopravy usiloval samostatně zajistit přepravu osob či věcí od začátku do cíle cesty, získat pro sebe zakázku. Aktuálním trendem je kombinovaná doprava, plným názvem udržitelná bezemisní multimodální mobilita. Ta je založena nikoliv na konkurenčním vztahu mezi jednotlivými druhy dopravy, ale na jejich kooperativnosti (schopnosti spolupracovat) a komplementárnosti (schopnosti doplňovat se).

Cílem je, aby každý druh dopravy byl využíván v aplikacích, kde vynikají jeho výhody a nikoliv tam, kde se projevují jeho nevýhody. Typická je součinnost železniční a silniční dopravy:

- ve směru silných a pravidelných přepravních proudů je ekonomicky efektivní vybudovat a provozovat kvalitní energeticky úspornou kolejovou dopravní cestu s vysoce výkonným elektrickým napájením 25 kV a s vysokou úrovní zabezpečení (ETCS), umožňujícím rychlou dopravu (až 200 km/h na konvenčních tratích a až 350 km/h na vysokorychlostních tratích),
- ve směru slabších a nepravidelných přepravních proudů není ekonomicky efektivní budovat kvalitní energeticky úspornou kolejovou dopravní cestu, výhodnější je využívat operativnější automobilovou dopravu, a to i za cenu její vyšší energetické náročnosti.

Zásadní předností kolejové dopravy je standardně zavedené liniové elektrické napájení, které s velmi vysokou účinností zvládá vysoké výkony i vysoké rychlosti, neomezuje dojezd vozidel a nesnižuje jejich užitkovost převážením těžkých zásobníků energie.

K převedení přeprav ze silniční dopravy na energeticky méně náročnou kolejovou dopravu je potřebné, aby kolejová doprava disponovala:

- kvalitní nabídkou a výhodnou cenou, motivující přepravní poptávku (cestující a přepravce) ke změně dopravního chování,
- náležitou kapacitu dopravní cesty i dopravních prostředků, aby byla schopna přijmout zvýšenou přepravní poptávku.

Ke snížení energetické náročnosti dopravy cestou multimodality (první a poslední míle po silnici, dálková jízda po železnici) je praktikováno pět základních trendů investičního rozvoje železniční dopravy:

- budování vysokorychlostního železničního systému, který přináší jak novou kvalitu (zvýšení rychlostí jízdy), tak i novou kapacitu (další kolejové spojení, zvýšení propustnosti rychlostní segregací),
- zvýšení kvality a výkonnosti dopravně nejvíce zatížených tratí konvenčního železničního systému,
- větší zapojení dalších, dosud méně využívaných, železničních tratí do plnění dopravních úloh, zejména jejich liniovou elektrizací,
- systematické budování sítě multimodálních terminálů železnice/silnice osobní i nákladní dopravy s cílem pokrýt jimi celé území státu včetně městské logistiky,
- vybudování energetického zázemí pro nabíjení akumulátorových baterií silničních vozidel, hvězdicově zajišťujících dopravní obsluhu okolního území multimodálních terminálů.

8 SOUČINNOST ŽELEZNIČNÍ A LETECKÉ DOPRAVY

Dynamický tlak proudícího vzduchu a spolu s ním i aerodynamický odpor jsou úměrné měrné hmotnosti vzduchu. Pro vytvoření podmínek hospodárného letu s nízkým letovým odporem využívají dopravní letadla letovou hladinu ve výšce 10 až 12 km, kde je vzduch zhruba čtyřikrát lehčí než těsně nad zemí v nízké nadmořské výšce. Avšak k vytvoření potenciální energie reprezentující zvednutí do výšky kolem 12 km spotřebují letecké motory energii paliva zhruba 130 kWh/t. V řídkém vzduchu je však nejen nízký letový odpor, ale i nízká vztlaková síla. Dopravní letadlo se proto musí ve velké výšce pohybovat patřičně rychle, zhruba rychlostí 900 km/h. Avšak k vytvoření kinetické energie odpovídající pohybu rychlostí 900 km/h spotřebují letecké motory energii paliva zhruba 35 kWh/t. K vytvoření podmínek hospodárného letu s nízkým letovým odporem tedy v součtu spotřebují motory letadla celkem energii paliva zhruba 165 kWh/t.

V případě dlouhých zaoceánských letů, které se vyznačují několika hodinami letu ustálenou rychlostí, činí energie paliva spotřebovaná k vytvoření podmínek hospodárného letu jen malou část z celkové spotřeby energie paliva v průběhu letu, což je akceptovatelné. Avšak u letů na malé vzdálenosti je energie paliva spotřebovaná k vytvoření podmínek letu (zvednutí do výšky letové hladiny a akcelerace na letovou rychlost) velmi zásadní složkou celkové spotřeby energie paliva, neboť doba letu ustálenou rychlostí je při letech na krátké vzdálenosti velmi krátká. Spotřeba energie pro let je v důsledku toho v poměru k překonané vzdálenosti velmi velká, let není energeticky efektivní.

Podobně též působí časová náročnost cest a procesů před stratem a po přistání. Ta zahrnuje cestu z centra města na letiště, procesy před startem, procesy po přistání a cestu z letiště do centra města a zpravidla činí zhruba dvě hodiny. V případě dlouhých zaoceánských letů s několika hodinami letu ustálenou rychlostí činí časová náročnost cest a procesů před stratem a po přistání jen menší část z celkové doby cestování. Tedy výslednou cestovní rychlost snižuje jen nevýznamně. Avšak u krátce trvajících letů na malé vzdálenosti tvoří časová náročnost cest a procesů před stratem a po přistání podstatnou část z celkové doby cestování. Zásadním způsobem snižuje výslednou cestovní rychlost na zlomek rychlosti letu ustálenou rychlostí a tím znehodnocuje časovou výhodnost letecké dopravy.

Výsledkem je soulad energetické a časové náročnosti cestování letadlem:

- při cestách na dlouhé vzdálenosti (tisíce kilometrů, zpravidla do zámoří, tedy nenahraditelné pozemní dopravou) je letadlo energeticky i časově efektivní,
- při cestách na krátké vzdálenosti (stovky kilometrů, zpravidla nad pevninou, tedy nahraditelné pozemní dopravou) je letadlo energeticky i časově neefektivní.

Náhrada cest letadlem automobilem s cestovní rychlostí kolem 100 km/h není pro cestovatele příliš atraktivní (velká časová náročnost, stísněný prostor, omezené možnosti k aktivnímu využití času stráveného cestováním). Podstatně výhodnější je náhrada cest

letadlem rychlým vlakem s cestovní rychlostí kolem 250 km/h (akceptovatelná časová náročnost, volnější prostor, široké možnosti k aktivnímu využití času stráveného cestováním). Zásadním přínosem je nízká energetické náročnost rychlé železniční dopravy. Energie spotřebovaná letadlem k vytvoření letových podmínek (výška 12 km, rychlost 900 km/h) v úrovni zhruba 165 kWh/t stačí vlaku jedoucímu rychlostí 300 km/h na překonání vzdálenosti přibližně 3 600 km.

9 ZÁVĚR

V době hojného ničím nelimitovaného používání fosilních paliv byly jednotlivé druhy dopravy navzájem konfrontovány a stavěny vůči sobě do konkurenční pozice. V éře dekarbonizace se ukazuje tento způsob neefektivním. Výhodnější je jednotlivé druhy dopravy optimálně kombinovat, využívat jejich silné stránky a vyvarovat se jejich používání v aplikacích, pro které se nehodí. A to nejen ku prospěchu dopravy a jejích uživatelů, ale i pro snížení náročnosti dopravy na externí zdroje energie. Takové jsou základní cíle bezemisní udržitelné multimodální mobility. Moderní železnice je schopna vydatně přispět k jejich naplnění.

♠ ♠ ♠

Resumé

Doprava je velice významným spotřebitelem energie, a to zejména energie fosilních paliv. Dekarbonizace dopravy je proto nedílnou součástí projektu dekarbonizace všech aktivit lidské společnosti. Přednostmi železnice jsou nízká energetická náročnost a vyřešené liniové elektrické napájení, avšak nevýhodou železnice je nepříliš rozsáhlá železniční síť. Silniční dopravě chybí liniové elektrické napájení, při dekarbonizaci je odkázána na vozidla s akumulátorovými bateriemi. To limituje jejich dojezd. Avšak silniční vozidla jsou velmi operativní a disponují velmi rozsáhlou sítí silnic. Řešením je součinnost železniční a silniční dopravy, respektive železniční a letecké dopravy, fungující na principech bezemisní udržitelné multimodální mobility.

Summary

Transport is a very significant consumer of energy, especially fossil fuel energy. Decarbonising transport is therefore an integral part of the project to decarbonise all activities of human society. The advantages of rail are low energy requirements and a solved linear traction power supply, but the disadvantage is a less extensive railway network. In the area of decarbonisation, road transport relies on vehicles with rechargeable batteries, which limit the range. However, road vehicles are very operative and can use a very extensive road network. The solution is the cooperation of rail and road transport, respectively rail and air transport, based on the principles of emission-free sustainable multimodal mobility.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.19

ŽELEZNIČNÍ VOZIDLA A ŽELEZNIČNÍ INFRASTRUKTURA

RAILWAY VEHICLES AND INFRASTRUCTURE

Roman PRELL[*)]

1 ÚVOD

V současné době řeší lidstvo otázky spojené s klimatickou změnou, s transformací energetiky a dopravy. Jednou z výzev, před kterou stojíme v této souvislosti, je nacházet vždy nejlepší způsob dopravy zboží a osob, zvolit pro danou přepravu nejvýhodnější dopravní mód. Základem je nacházet vzájemnou vhodnou kooperativnost a komplementárnost různých způsobů přepravy, s cílem motivovat cestující i uživatele nákladní dopravy k využití energeticky a environmentálně nejvhodnějšího přepravního módu. A to nejen z hlediska dopadu na energetické zdroje a životní prostředí, ale také s ohledem na cestovní komfort a rychlost přepravy. Cílem je environmentální, ekonomická i sociální udržitelnost dopravy.

Jak toho dosáhnout? Téma to je velmi komplexní a složité, jelikož stavba, či rekonstrukce dopravní infrastruktury je zamýšlena na desítky let, vozidla jsou projektována s životností na min. 30 let. Digitální technologie se sunou dopředu daleko větší rychlostí, proto je potřeba v železničním oboru chytře reagovat. Cílem tohoto příspěvku je poukázat na základní aspekty, které je potřeba zohlednit při rozvoji infrastruktury, ale i při rozvaze o pořízení vhodných vozidel. Jde o to, aby byly investice do dopravních staveb, investice do vozidel a objednávka veřejné dopravy navzájem optimálně sladěny a koordinovány technicky, teritoriálně i časově. A to nejen z úhlu pohledu současnosti, ale i z úhlu pohledu několika budoucích desetiletí, kdy budou využívány.

Příspěvek si klade za cíl pojmenovat zásadní aspekty vozidel a infrastruktury, které se vzájemně ovlivňují a také mohou významně zasahovat do vlastností pořizovaných vozidel. Obzvláště výrazný akcent je kladen na nejlepší využití vstupní energie, komfort (s cílem přilákat nové cestující na železnici), ale i moderní informační technologie.

2 TECHNICKÁ JEDNOTNOST ŽELEZNICE

Z různých historických (a také geopolitických) důvodů není ani evropská, ani národní česká železnice technicky jednotná. V minulosti se podařilo na evropských železnicích sjednotit rozchod koleje (s výjimkami), obrys pro vozidla (nikoli však zcela), tažné a narážecí ústrojí (byť v současnosti již velmi zastaralé a železnici omezující) či samočinnou pneumatickou brzdu (byť v současnosti již velmi zastaralou a železnici omezující). Avšak řada důležitých subsystémů, tvořících rozhraní mezi drážními vozidly a dráhou, technicky jednotná není.

Zejména se jedná o následující aspekty:

- Různé napájecí systémy pro vozidla elektrické trakce

[*)] **Ing. Roman PRELL,** Siemens Mobility s.r.o., Siemensova 1, Praha, Tel. 00420 733 622 936, roman.prell@siemens.com, vedoucí Engineeringu.

- Různé národně specifické zabezpečovací systémy (traťové i vozidlové)
- Různé národně specifické komunikační systémy (vozidlo ↔ infrastruktura)
- Různé dimenzování infrastruktury s ohledem na její mechanické či elektrické zatížení provozem vlakové dopravy
- Bezpečnostně relevantní požadavky na vozidla a přístup při jejich schvalování (například pevnost skříně, dynamické dimenzování vozidel, přístup k bezpečnostně relevantním tématům)

Valnou většinu těchto aspektů má za ambici harmonizovat soubor technických směrnic interoperability (TSI), jejichž implementace se stává základním stavebním kamenem rozvoje jednotné železniční sítě v Evropě. Tato transformace (či harmonizace) s sebou ovšem nese také poměrně značnou investiční zátěž a je proto velmi důležité k ní přistupovat strategicky a se zvážením všech priorit. Rovněž je potřeba vnímat, že interoperabilita (a podobně i TSI) sledují pouze pět jasně definovaných cílů: bezpečnost, spolehlivost, ochrana zdraví, ochrana životního prostředí a technická kompatibilita. TSI se nezabývají výkonností, ekonomičností, atraktivností železničního systému či cestovním pohodlím. Tyto kategorie jsou vnímány jako podnikatelská aktivita jednotlivých aktérů bez potřebí je regulovat.

To je zásadní rozdíl proti epoše vyhlášek UIC, která řešily i témata, která jsou nyní nad rámec požadavků TSI (například kvalitu chodu vozidle, úroveň vnitřního hluku, osvětlení interiéru, geometrické uspřádání sedadel, dimenzování WC, …)

Jaká jsou největší priority v rozvoji železnice v ČR směřují k růstu její kvality (rychlosti, pohodlí, spolehlivosti a dochvilnosti) i výkonnosti (kapacity):

- Výstavba vysokorychlostních tratí s nejvyšší provozní rychlostí 320 km/h – dojde nejen ke zvýšení rychlosti a výkonnosti dálkové přepravy osob a balíčkového spěchajícího zboží v evropské i vnitrostátní dimenzi, ale také k odlehčení přetížených klíčových konvenčních tratí, které umožní jejich lepší využití pro regionální osobní dopravu a pro nákladní dopravu,
- Elektrizace dalších tratí (již jednotným systémem 25 kV) – cílem je zapojení dalších železničních tratí do síťově fungující železnice, ze kterého je chybějící liniová elektrizace vyčleňuje. Využití elektrického napájení dává vozidlům vyšší výkonnost a zbavuje železnici závislosti na importu fosilních paliv i na produkci emisí oxidu uhličitého a na produkci zdraví škodlivých zplodin hoření. Rozvoj liniové elektrizace též vytváří příznivé podmínky pro nasazení vícezdrojových vozidel trolej/akumulátor (BEMU), neboť vytváří další úseky trakčního vedení vhodné pro statické či dynamické nabíjení trakčních akumulátorových baterií. Zároveň dochází ke zkracování vozebních ramen bez liniové elektrizace, což snižuje potřebný dojezd vozidel se zásobníky energie (BEMU) a tím i velkost energie, hmotnost a rozměry trakčních akumulátorových baterií,
- Další rozvoj a plné využití funkcionality ETCS, což kromě zvýšení bezpečnosti vlakové dopravy otevírá cestu k využívání traťové rychlosti 200 km/h i na konvenčních tratích,
- Koncepční rozvoj vozového parku s ohledem na efektivní využití energie, zvýšení komfortu a zlepšení managementu údržby vozidel.
- Konverze systému 3kVss na jednotný systém 25 kV s cílem vyšší výkonnosti a hospodárnosti vlakové dopravy. Průvodním efektem je vytváření vhodných podmínek k rozvoji liniové elektrizace na další (odbočné) železniční tratě v okolí,
- Optimalizace a stavba nových konvenčních železničních tratí s cílem zvýšit přepravní výkony na železnici,
- Polarizace železniční sítě na tratě aktivně zapojené do plnění přepravních úloh společnosti a na tratě, které vlivem změn v osídlení, průmyslu, zemědělství i dopravě ztratily svojí původní dopravní roli a novou dopravní roli nenašly. Jsou

však vnímány jako historické dědictví slouží k uspokojování nikoliv běžných dopravních, ale emočních potřeb obyvatelstva.

3 KOMPATIBILITA TRATÍ A VOZIDEL

Výstavba železnic proběhla v evropských zemích z podstatné části v létech 1840 až 1870. Od té doby byly v průběhu let uskutečněny jejich mnohé modernizace (stavba druhých traťových kolejí, napřímení oblouků o malém poloměru, liniová elektrizace, zvýšení úrovně zabezpečení, zvýšení traťové rychlosti, …), ale topologie železniční sítě zůstala v zásadě zachována.

Odlišný vývoj nastal v oblasti vozidel. Jakkoliv byla vozidla zpočátku zpravidla adresně nakupována pro určitou nově vybudovanou dráhu, tak v průběhu dalších let došlo vlivem různých událostí, zejména slučování samostatných železničních společností při vzniku státních drah, k velké teritoriální flexibilitě vozidel. Podle vývoje přepravní poptávky a podle provozních potřeb byla posledních 150 let železniční vozidla operativně přesouvána na různá místa a do různé služby. Tak jak vozidla stárnula a přicházela je vystřídat vozidla nová, propadávala z elitních výkonů na méně důležité výkony. Například z rychlíkové služby na osobní zastávkové vlaky, z hlavních tratí na vedlejší tratě, z traťové služby na posun. Běžně tak v průběhu svého technického života vystřídala vozidla mnoho různých lokalit a služeb.

Současná situace je diametrálně odlišná:

- železniční síť je na prahu významného investičního rozvoje (budování vysokorychlostního železničního systému, upgrade dopravně silně využívaných tratí konvenční železniční sítě, rozvoj liniové elektrizace, …),

- regionalizací osobní železniční dopravy a soutěžením dálkové železniční dopravy po jednotlivých linkách dochází ke smluvnímu vázaní vozidel na určitou lokalitu nebo linku po celou dobu jejich technického života. Předisponování do jiné lokality či propadání na méně důležité výkony v zásadě možné není

Na rozdíl od minulosti, kdy železniční infrastruktura neprocházela velkými změnami a vozidla byla operativně přemístitelná, bude železniční infrastruktura procházet velkými změnami a vozidla nebudou operativně přemístitelná. To činí téma technické kompatibility tratí a vozidel velmi závažné. Vozidla je potřeba řešit tak, aby svými vlastnostmi vyhovovala měnící se podobě infrastruktury v budoucích desetiletích:

- zvyšovaní rychlosti na konvenčních tratích na 200, respektive 230 km/h,
- budování vysokorychlostního železničního systému,
- budování dlouhých a rychle projížděných tunelů (požární bezpečnost, aerodynamické efekty),
- sjednocení napájecích systémů na úroveň 25 kV,
- výhradní provoz vlaků pod dohledem ETCS.

Fixace vozidel na určité teritorium či na určitý druh služby vyžaduje řešit jej nikoliv jen pro současný stav železnic, ale pro horizont alespoň roku 2060.

Kompatibilitu tratí a vozidel určují rozhraní mezi vozidly (strukturální subsystém RST) a železniční dopravní cestou vybavenou strukturálními subsystémy trať (INF), elektrické napájení (ENE) a řízení a zabezpečení (CCS). Podmínkou technické způsobilosti vozidla k použití na dráze je dodržení pravidel kompatibility vozidla a dráhy ve všech těchto rozhraních.

K tradičním parametrům rozhraní mezi vozidlem a dráhou, sledovaným již od dob vzniku železnice (rozchod koleje, prostorová průchodnost – obrys pro vozidla a průjezdný průřez trati, třída svislé přechodnosti, poloměr oblouku, stavební převýšení, nedostatek převýšeni či traťová rychlost, přibyly v průběhu času další parametry. A to nejen

elektrotechnické (například zatížitelnost trakčního vedení, kompatibilita vozidla s kolejovými obvody železničních zabezpečovacích zařízení, předávání digitálních datových informací).

Novým fenoménem moderní železnice se staly dlouhé a rychle projížděné tunely, a to ze dvou hledisek:

- téma požární bezpečnosti (viz požadavky TSI RST),
- téma aerodynamických efektů.

Na rozdíl od letadel, které využívají letovou hladinu 10 000 m a výše, tedy prostředí s měrnou hmotností vzduchu kolem 0,3 kg/m^3, se železniční vozidla pohybují v prostředí zhruba čtyřikrát hustším (1,2 kg/m^3). Proto již při rychlostech nad 140 km/h je nutno podle TSI LOC&PAS analyzovat aerodynamické efekty (boční vítr, míjení vlaků, průjezd tunely, …). Jde o velmi vážné bezpečnostně relevantní téma. Je nutno zajistit náležitou tlakovou odolnost (zejména tlakovou pevnost) vozidlové skříně, jednotlivých komponent vozidla (okna, dveře, mezivozové přechody) i funkčnost subsystémů vozidla (ventilace, topení, klimatizace, WC, …).

Neméně důležité je zajistit cestujícím tlakovou pohodu v interiéru vozidla (dodržet mezní hodnoty změn tlaku vzduchu ($\Delta p/\Delta t$). Nástrojem k tomu je tlaková těsnost, která utlumuje pronikání vnějších tlakových rázů dovnitř do vozidla. V souvislosti s řešením aerodynamických účinků podle souboru technických norem EN 14 067 doplňuje tradiční parametry vozidla nejen jeho nejvyšší provozní rychlost, ale i nejvyšší traťová rychlost. Ta limituje rychlost souběžně i protisměrně jedoucích vlaků, které jak na otevřené trati, tak k zejména v tunelech generují tlakové rázy, které předmětné vozidlo namáhají. Traťová rychlost se tak stává (spolu se vzdáleností os kolejí a tvarem tunelu) velmi důležitými parametry působení tratě na vozidlo.

4 TECHNICKÉ ASPEKTY VOZIDEL

4.1 Technika vozidel

Technika vozidel má řadu aspektů:

- Aspekt bezpečnostní – rozhodně jeden z nejdůležitějších cílů, který při přepravě osob klademe za cíl, je bezpečnost. V TSI existuje celá řada opatření, která vedou k výraznému zvýšení bezpečnosti železniční dopravy, ale také k eliminaci případných následků nehod na železnici. A to jak v oblasti aktivní bezpečnosti (vlakový zabezpečovač, brzdy), tak i v oblasti pasivní bezpečnosti (pevnost, odolnost při nárazu). Typickým příkladem je aplikace evropských norem pro statickou a crashovou odolnost vozidla (EN 12 663, EN 15 227). Vozidlo, které je již konstruováno plně s respektem k těmto normám, přispívá velmi výrazně k eliminaci poškození majetku a osob. Z hlediska analýzy nehod (zpráva ČVUT – “Analýza možnosti zvýšení aktivní a pasivní bezpečnosti provozu železničních vozidel v ČR”) je zřejmý velký přínos zavedení těchto standardních řešení.
- Aspekt provozní – vyšší flexibilita při nasazení vícenásobných trakcí, použití komunikačních standardů usnadňuje flexibilnější komunikaci lokomotivy v sestavě „push-pull“ (standardizace pomocí WTB komunikačních protokolů. Zde je žádoucí, aby výrobci a provozovatelé usilovali o co největší shodu při aplikaci komunikačních protokolů do nových vozidel). Při použití vícezdrojových vozidel možnost plynulého přechodu mezi elektrizovanou a neelektrizovanou částí tratě.
- Aspekt pozitivního dopadu na cestujícího z hlediska komfortu – přizpůsobení vozidla použití osobami s omezenou schopností pohybu, zavedení standardů komfortu, cateringové služby, moderní IT.

4.2 Teritoriální řešení vozidel

V moderním propojeném světě (v EU ještě zřetelněji) bychom měli usilovat o maximální kompatibilitu kolejových vozidel bez ohledu na teritoriální nasazení. Přináší to řadu výhod ve všech typech dopravy.

Vysokorychlostní doprava – zde je teritoriální kompatibilita vozidel naprosto zásadní. Jedná se o celoevropsky provozovanou železniční síť, případná nutnost dělat kompromisy by celý projekt dlouhodobě srážela. Dle TSI nejsou zcela všechny parametry tratě exaktně definovány a při stavbě tratí je potřeba posoudit parametry tratě s ohledem na již provozovaná vozidla v okolních státech. Jako příklad je možné uvést kompatibilitu vozidla a infrastruktury při míjení vozidel v tunelu.

Rychlíková a příměstská doprava – zde je opětovně nutné zvýraznit důležitost dvou aspektů – elektrizace a konverze. V daných případech je nutná dlouhodobější koncepce s cílem nasazení optimálních vozidel na danou trať. Konverze přináší zásadní rozvoj vozidel, která jsou lehčí, spolehlivější, výkonnější a tím pádem i ekonomičtější. Vývoj vícesystémových vozidel vyžaduje značné jednorázové náklady, které se výrobcům vyplatí až při vyšší sériovosti.

Regionální doprava – zde je zásadní otázkou udržitelnost provozu. Tedy investovat do rozvoje přepravy pouze v těch oblastech, kde existuje potenciál k rozvoji. Železnice je principálně vytvořena pro přepravu osob a věcí v oblasti silné a pravidelné přepravní poptávky. Snaha přizpůsobovat železniční dopravní systém (trať a vozidla) slabé přepravní poptávce nevede k úspěchu. Celkové náklady železniční dopravy mají výraznou fixní složku, při poklesu přepravní poptávky proto klesá rentabilita.

Ve srovnání s velmi problematickou snahou přizpůsobit železnicí ochablé přepravní poptávce, je mnohem efektivnější stimulovat přepravní poptávku nabídkou kvalitní rychlé a pohodlné železnice. Případné kompromisy na straně bezpečnosti nejsou řešením: poloviční pevnost vozidlové skříně neznamená poloviční hmotnost vozidla (tu určují především podvozky), a ani poloviční hmotnost vozidla zásadním způsobem nesníží provozní náklady vlakové dopravy.

4.3 technické řešení vozidel v čase

Vozidlo se skládá z řasy subsystémů, které s různou dynamikou odolávají času. S ohledem na výrazný nástup IT subsystémů do železničních vozidel, je zřejmé, že tato oblast má tendenci zastarávat poměrně velmi rychle. Z praxe se ukazuje, že některé IT systémy je nutné výrazně updatovat již po 5 – 10 letech provozu vozidel. Tedy je racionální plánovat v určitých periodách upgrade interiéru vozidla (typicky: povrch sedadel) a spolu s tím i palubních informačních systémů pro cestující.

S ohledem na kybernetickou bezpečnost je žádoucí dokonce častější dohled, či dokonce případné rychlé operativní zásahy do některých částí SW. Jako možné řešení pro subsystémy, které přímo neovlivňují bezpečnostní funkcionality řízení vozidla, se může jevit licenční kontinuální SW model updatu vozidel. Již s tímto zjištěním se při pořízení vozidla musí počítat.

Větší odolnost z hlediska času mají mechanické části vozidel, kde při pravidelné korektivní a preventivní údržbě nemusíme přistupovat k zásadním zásahům do vozidla i třeba 20 let.

V oblasti dvouzdrojových vozidel je možné zvažovat nasazení vozidel i poté, co dojde plné elektrizaci úseku, tedy pozdější přestavbu na vozidla jednozdrojová (BEMU → EMU). V tomto případě je ale potřeba počítat s případným opakováním schvalovacího procesu vozidla.

5 MECHANICKÁ, ENERGETICKÁ A INFORMAČNÍ DIMENZE DRÁHY

Jaké jsou největší výzvy a trendy, které je možné napříč vývojem vozidel v nějaké vztahu k infrastruktuře můžeme pozorovat? Vozidlo je konstruováno na 30 let životnosti, proto jsou některé souvislosti obzvlášť důležité.

Dimenze mechanická

V multimodální mobilitě je železnice vnímána ne jako konkurent, ale jako partner (nejen) automobilové dopravy. Různé dopravní módy by se měly vhodně doplňovat. Z tohoto hlediska se musíme zaměřit na aspekty, které cestující na železnici přilákají, železnici tedy musíme neustále dělat pro cestující atraktivnější. Jako základ je tedy nejen rychlá, ale zejména také spolehlivá a komfortní přeprava osob.

S tím se pojí řada trendů, která čím dál silněji souvisí s tématy human factors, tedy i ergonomií.

Některé z prosazujících se prvků:

- Nepřímé osvětlení interiéru vozidel reagující pružně na okolní (přirozené) světelné podmínky
- Kvalitnější sedadla s řadou dalších funkcionalit (bezdrátové nabíjení, masážní funkce, přehledný rezervační systém apod.)
- Kvalitní pokrytí signálem mobilního telefonu (využití HF oken, tedy nepotřebnost repeaterů)
- Neustále náročnější a kvalitnější cateringové služby (ve vazbě na rozvoj moderních technologií přípravy a uchování pokrmů)

Dimenze energetická

Pořizovací cena vozidla je sice důležitá, ale musí být dána do kontextu s efektivním nakládáním s energií. Tato dimenze velmi úzce souvisí u regionálních vozidel zejména s jejich hmotností a u vozidel pro dálkovou dopravu zejména s jejich aerodynamickými tvary. Důležitým tématem je optimální volba distribuce výkonu, tedy architektura vozidla. Tu můžeme dát také do souvislosti s adhezní hmotnostní vozidla, která je klíčová při zpětném využití kinetické energie, tedy rekuperaci.

V současné době lze provádět velmi přesné simulační výpočty navrhované konfigurace vozidla. Výsledkem je poté přesná simulace jízdy vozidla v různých režimech na definované trati, vyhodnocení trakční charakteristiky, a tedy vhodnosti dané vozidlové konfigurace.

Dimenze informační

Propojení vozidla a infrastruktury v oblasti informačních technologií je na vzestupu. Z hlediska bezpečnostní relevance mluvíme o 3 kategoriích subsystémů vozidla:

1. **Bezpečnostně relevantní subsystémy**

Jde v prvé řadě o interoperabilní technologická zařízení zajišťující železniční provoz (vlakový zabezpečovač ETCS, digitální datové a fonické rádiové spojení GSM-R/FRCSM, telematické zázemí pro měření spotřeby elektrické energie).

2. **Provozní subsystémy dopravce**

Jedná se o subsystémy, které provozovateli přispívají k zefektivnění korektivní i preventivní údržby vozidel, k efektivnímu nakládání s energií vozidla při provozu, ale i se zvýšením bezpečnosti cestujících.

- Moderní kamerové systémy s funkčností AI (například rozpoznání kolizních situací) a s přenosem obrazu na dispečink.

- Advisory systémy pro strojvedoucího (DAS) – sledování situace na trati v reálném čase, její vyhodnocení a návrh optimálního jízdního režimu.
- Přenos a vyhodnocení diagnostických dat, která umožňují dálkovou korektivní údržbu.
- Sledování periody údržbového cyklu, optimalizace skladového hospodářství náhradních dílů

3. Informační technologie pro cestující

Stále většího významu nabývají data určená pro cestující. Nejedná se ale pouze bezdrátový internet pro cestující, palubní IT zahrnuje daleko více různorodých subsystémů, jejichž významnost s časem roste. Namátkou se jedná například:

- Moderní informační systémy, jejich úzká spolupráce s mobilním telefonem cestujících – upozornění na nástup / výstup, navigace na rezervované místo, informace o návazných spojích apod.
- Možnost personalizace nastavení sedadla přes mobilní aplikaci
- Objednávka občerstvení přes mobilní aplikaci

Tyto tři základní dimenze se nyní daleko výrazněji prolínají a navzájem ovlivňují.

6 OPTIMÁLNÍ CELOSÍŤOVÉ ŘEŠENÍ VERSUS OPTIMÁLNÍ MÍSTNÍ

Každé vozidlo má své optimální využití a postupný nástup bezemisních vícezdrojových vozidel podnítil další diskusi s ohledem na nalezení optima. Pokud se jedná o využití vícezdrojových bezemisních vozidel, tak jsou v současné době na trhu dvě dostupná řešení, vozidla BEMU a vozidla HMU. Najít ono optimum mezi těmito dvěma řešeními není mnohdy jednoduché. Základní aspekty, které se musí brát v potaz jsou:

- Plánovaná (i třeba částečná) elektrizace trati a s tím spojená přestavba BEMU na EMU v průběhu technického života vozidla
- Traťové poměry – téma dojezdu, dané dimenzováním velkosti zásob energie (u BEMU velikostí elektrochemického akumulátoru a u HMU velkostí nádrže na vodík) je všeobecně známo již více než sto let (viz Kummlerův vztah: dojezd vozidla je úměrný poměru hmotnosti zásobníku energie ke hmotnosti vozidla). U vozidel s multiplikací výkonu zdroje energie, tedy u HMU, je nutno počítat i s dalším limitem, kterým je doba práce plným výkonem, tedy vytrvalost. Ta bývá u vodíkových vozidel s ohledem na omezenou velikost vyrovnávacího akumulátoru jen v jednotkách minut. To v běžném zastávkovém způsobu jízdy regionálních vlaků nevadí. Avšak při požadavku na delší dobu jízdy plným výkonem naráží využití HMU na své limity. Na tratích s velkým táhlým stoupáním může dojít k vyčerpání energie vyrovnávacího akumulátoru a tím pádem na jízdu sníženým výkonem. Plánovanému nasazení vozidel proto musí předcházet podrobná simulace.
- Dostupnost čistého vodíku – vodík má velmi nízkou objemovou hustotu energie, k jeho přepravě určené nádoby jsou značně těžké (brutto/ netto činí cca 50 kg/kg) a zpět jsou převáženy prázdné, ale téměř stejně těžké, Doprava vodíku je proto velmi drahá a energeticky náročná. Proto jsou aplikace vodíku ekonomicky únosné jen v oblastech, kde je možné využívat nadbytečnou energii z blízkých místních volatilních obnovitelných zdrojů elektrické energie, tedy jejich akumulaci do zeleného vodíku pomocí elektrolýzy. Využití odpadního vodíku z průmyslové výroby je problematické, jelikož pro palivový článek vyžadujeme čistotu vodíku na úrovni 99,97% (nečistoty by zanášely membránu). Takovou čistotu lze dosáhnout prakticky pouze elektrolýzou. Případné čištění odpadního vodíku je nerentabilní.
- Investice do infrastruktury – ostrovní elektrizace vs. plnící stanice.

Limitem optimalizace parametrů vozidla podle specifických místních podmínek je odklon od univerzálnosti jeho použití. Jednorázové náklady spojené s návrhem vozidla, jeho subsystémů a jejich komponent, zkoušením, schvalováním a technologickým zajištěním výroby a subdodavatelských řetězců jsou značné. Lze je realisticky rozložit jen do velmi početné výroby řádu stovek vozidel. Hromadnost výroby je podstatná i pro zajištění udržovatelnost vozidla po celou dobu jeho technického života (dostupnost náhradních dílů, management stárnutí, péče o SW, …). Řešením je orientace na produktové platformy, ale i jejich modifikovatelnost má své limity dané výší jednorázových nákladů na engineering, zkoušky, schvalování a technologické přizpůsobení výroby i logistiky subdodávek.

7 ROZVOJ SUBSYSTÉMU INF A JEHO DOPAD NA VOZIDLA

Rozvoj železniční infrastruktury je velmi úzce spojen s nasazením vozidel u musí být velmi dobře promýšlen s ohledem na mnoho aspektů.

- Pro ekonomicky efektivní využití investic vkládaných do budování vysokorychlostního železničního systému je nutno spolu s výstavbou vysokorychlostních tratí paralelně vytvářet i park vozidel, schopných je využívat. Infrastruktura vysokorychlostních tratí proto musí do určité zohledňovat provoz stávajících vozidel. Avšak jsou určitá bezpečnostně relevantní kritéria, která je nutno respektovat. Jde o požární bezpečnost a namáhání vozidlových skříní, subsystémů a komponent vozidel aerodynamickými vlivy. Obě tyto kategorie jsou úzce spojeny s parametry tunelů. Ani z dopravních ani z technických důvodů není ekonomicky únosné řešit vysokorychlostní tratě s provozní rychlostí 300 až 350 km/h tak, aby na nich byl umožněn provoz konvenčních nákladních vlaků či regionálních osobních vlaků. Rychlostní segregace je smysluplná, je též nutnou podmínkou k dosažení náležité kapacity dráhy. Avšak též je smysluplné řešit vysokorychlostní tratě tak, aby byly řešeny jak pro provoz vysokorychlostních vozidel kategorie 300 km/h využívající vysokorychlostní tratě v převážné části délky své trasy tak i lokomotivami dopravované push-pull netrakční jednotky s nejvyšší provozní rychlostí 230 km/h vhodné pro vlaky využívající vysokorychlostní tratě v menší části délky své trasy.
- Investice do infrastruktury příměstských železniční tratí vedených regiony s rozvojem suburbanizace v okolí metropolí musí odrážet jednak zejména zkapacitňování již stávajících páteřních příměstských tratí, ale také plánovanou obslužnost vedlejších návazných ramen, které je (např.) možné obsluhovat vícezdrojovými jednotkami s pozdější konverzí na čisté EMU řešení.
- Investice do infrastruktury regionálních tratí v odlehlých oblastech je opodstatněná pouze v případě, že existuje (i do budoucna) určitý hraniční součtový přepravní tok osob a zboží, který je nutnou ekonomickou podmínkou k existenci železnice a železnicí zajišťované veřejné hromadné dopravy. Ten lze pochopitelně stimulovat kvalitou přepravní nabídky, například přímými vlaky vedenými bez přestupu z centra regionu do jeho okrajových oblastí při nasazení dvouvozových regionálních vozidel. V částečně elektrizované železniční síti se jedná o nasazení zejména BEMU vozidel, ve specifických případech se může jednat i o HMU vozidla.

8 ROZVOJ SUBSYSTÉMU ENE A JEHO DOPAD NA VOZIDLA

Jako zcela zásadní prioritou se jeví pokračující rozvoj elektrizace železniční sítě. Vhodně zvolenou strategií elektrizace, lze využít vozidla BEMU, která na elektrizovaných úsecích můžeme dynamicky nabíjet, neelektrizované úseky jsme schopni velmi dobře obsloužit s pomocí trakčního akumulátoru. Není tedy potřeba žádná dodatečná infrastruktura ve formě plnících vodíkových stanic, nebo zajištění tankování.

Po případné plné elektrizaci úseku je možné BEMU vozidla v průběhu jejich technického života přestavět na “prostá” EMU vozidla.

9 ROZVOJ SUBSYSTÉMU CCS A JEHO DOPAD NA VOZIDLA

Integraci ECTS do naší železniční sítě považujeme již za samozřejmou a tento proces je nutné co nejvíce urychlit, téma bezpečnosti je přirozenou prioritou. Využití a přínos moderních zabezpečovacích systémů ale není pouze v bezpečnosti provozu, ale také k zajištění plynulosti a zvýšení kapacity nejvíce tratí.

Které trendy v souvislosti s rozvojem zabezpečovacích systémů lze pozorovat při vývoji vozidel?

- V podmínkách ČR je implementace ETCS jednou z nutných podmínek ke zvýšení rychlosti jízdy vlak nad limit 160 km/h,
- Vytvoření báze pro vyšší stupně automatizace řízení jízdy vlaku (ATO over ETCS) až po bezobslužný provoz (GoA4),
- ETCS vytváří významný podnět k zásadní inovaci průběžné samočinné vlakové brzdy – náhrada pneumatického řízení brzd elektrickým s mnohonásobně rychlejší odezvou. V oblasti kolejových vozidel pro přepravu osob již tato proměna spontánně proběhla v době několika posledních desetiletí v celé šíři aplikací (od vozidel metra přes regionální trakční jednotky až po vysokorychlostní trakční jednotky) a nyní je připravována i pro nákladní vozy. A to ve vazbě na digitální automatické spřáhlo, které již bylo v oblasti kolejových vozidel pro přepravu osob spontánně (avšak nikoliv výhradně) zavedeno v průběhu několika posledních desetiletí též.

Neméně důležitý je i rozvoj telematických aplikací mimo oblast železniční zabezpečovací techniky:

- Přenos diagnostických informací mezi vozidlem a dispečinkem. Jedná se zejména o sběr a analýzu dat různých subsystémů vozidla a také případné efektivní řešení údržby a management náhradních dílů.
- Využití offline a realtime traťových dat. Například v případě vozidel Mireo se jedná o DAS (driver advisory system), který sleduje traťovou cestu v reálném čase a přizpůsobuje jízdní režim aktuálním podmínkám. Vede to nejen k úspoře energie, ale také k efektivnějšímu využití daného traťového úseku.
- Přenos CCTV a údajů o vytížení jednotky (PC systémy) umožňuje pružně reagovat na nenadálé přepravní špičky. Inteligentní CCTV systémy vybavené AI rozhraním dokážou automatizovat vyhodnocení některých situací ve vozidle.
- Součinnost moderních informačních systémů na vozidlové a infrastrukturní straně.
    - Informační systémy ve vozidle jsou schopné v reálném čase přenášet informace o rezervačním systému a pružně reagovat na změnu situace. Spojením s aplikací v mobilním zařízení je možné cestujícího i navigovat k místu s rezervací.
    - Součinnost s informačními systémy ve stanici – možnost informovat o návazných spojích, jejich aktuální situaci.
- Do budoucna by bylo možné využití aktuální polohy vozidla na trati k zabezpečení nekrytých přejezdů – například přenos polohy vozidla do palubní navigace automobilu. Při hrozící kolizi mohlo dojít k audiovizuálnímu varování řidiče motorového vozidla.

10 VÝBĚROVÁ ŘÍZENÍ: MINIMÁLNÍ CENA VERSUS MINIMÁLNÍ NÁKLADY ŽIVOTNÍHO CYKLU A VYSOKÁ UŽITNÁ HODNOTA

Je zřejmé, že trendy v oblasti rozvoji železnice je nutné nahlížet velmi komplexně a strategicky. V celém životním cyklu vozidla se podílí pořizovací cena na celkových nákladech asi 30 procenty. Ostatní náklady, tedy zejména náklady na energii a na údržbu tvoří většinu. Akcent pouze na jednu nákladovou složku proto není žádoucí. Jako velmi žádoucí se jeví detailní specifikace toho, co od vozidla očekáváme. Jsou to tedy zejména přesnější specifikace toho, jakou mají dané subsystémy, ale i vozidlo jako celek vykazovat spolehlivost. Aspekt, který vyžaduje také velkou pozornost je spotřeba energie. Toho lze jednak dosáhnout nízkou hmotností (například využitím lehčí konstrukce podvozků), ale také využitím moderních spínacích prvků a optimalizací architektury vozidla.

11 ZÁVĚR

Příprava železnice na plnění její role v udržitelné multimodální mobilitě probíhá v současnosti především v oblasti železniční dopravní cesty. Po téměř dvou stoletích jsou opět budovány nové hlavní železniční tratě, zejména vysokorychlostní. Avšak železniční systém je tvořen nejen železničními tratěmi, ale i železničními vozidly. Je nanejvýš potřebné předcházet rizikům vzájemné technické nekompatibility tratí a vozidel. Řada parametrů vozidel se účinkem druhé mocniny rychlosti přesouvá do oblasti, které vyžadují odklon od tradičního pojetí kolejových vozidel.

Podobně dekarbonizace železniční dopravy, řešená jak rozvojem liniové elektrizace, tak i vozidly se zásobníky energie, přináší nová témata a nová řešení. Kompatibilita tratí a vozidel se tak stává klíčovým tématem, které je s hledem na dlouhou dobu technického života vozidel nutno řešit s vizí jejich použitelnosti po dobu dalších alespoň 40 let. Koordinace investic do rozvoje dráhy, drážních vozidel i objednávky veřejné dopravy je pro efektivní hospodaření s veřejnými zdroji nezbytnou nutností.

Literatura

[1] Seidl, J., Kolář, J.: Analýza možnosti zvýšení aktivní a pasivní bezpečnosti provozu železničních vozidel v ČR, ČVUT, Fakulta strojní, 2022**.**

♠ ♠ ♠

Resumé

Příspěvek si dává za cíl shrnout nejvýznamnější aspekty a trendy v rozvoji infrastruktury a vozidel na moderní železnici. Rozvoj infrastruktury, nutná dekarbonizace přepravy, ekonomičnost, ale i nastupující digitalizace jsou jen některými z hlavních parametrů, které vhodnou volbu vozidel ovlivňují. Cílem příspěvku je dát tyto hlavní parametry do kontextu a poukázat na jejich zásadní vzájemnou provázanost.

Summary

The article aims to summarise the most important aspects and trends in the development of infrastructure and vehicles on modern railways. Infrastructure development, the necessary decarbonisation of transport, cost-effectiveness, but also the emerging digitalisation are just some of the main parameters that influence the appropriate choice of vehicles. The aim of this article is to put these main parameters in context and to highlight their crucial interdependence.

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.20

VYUŽITÍ MODELU PODDAJNÉ SKŘÍNĚ V DYNAMICKÝCH VÝPOČTECH JÍZDNÍCH VLASTNOSTÍ VOZIDLA: ÚSKALÍ A OTÁZKY

USAGE OF A FLEXIBLE CARBODY MODEL WITHIN DYNAMIC CALCULATIONS OF VEHICLE RUNNING BEHAVIOUR: DIFFICULTIES AND QUESTIONS

Jan PULDA[*)], Jan MUSIL

1 ÚVOD

V posledních desetiletích došlo k všeobecnému zlepšení kvality koleje, čímž došlo k částečné eliminaci zdroje diskomfortu pro cestující na straně infrastruktury. V současné době je tedy nutné se zaměřovat i na ostatní zdroje, které dříve byly spíše marginální. Jedním z významných činitelů ovlivňujících naše vnímání pohodlí jsou vibrace plynoucí z poddajnosti skříně – z jejích modálních vlastností (vlastní frekvence a tvary kmitání a jím příslušné útlumy). Jelikož jsme si ve VÚKV vědomi této problematiky, snažíme se kmitání skříní osobních vozů systematicky věnovat, zejména ve spolupráci se Škodou Transportation. Nutno poznamenat, že problematika kmitání skříní není pouze doménou osobních vozů, ale i vozů nákladních. U nich je ale motivace k řešení modálních vlastností v simulačních výpočtech odlišná. Jedná se zejména o dynamickou pevnost a životnost, a to zejména v souvislosti se snižováním hmotnosti samotných vozů.

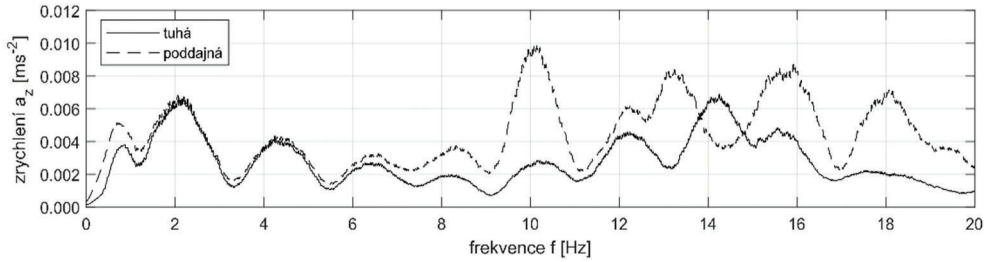
Snahou simulačních výpočtů MBS (*multi-body system*) je co nejvěrněji napodobit pozorovanou fyzikální skutečnost. Naproti tomu ovšem stojí výpočetní náročnost a snaha výpočetní model co nejvíce zjednodušit. Typickým zjednodušením, používaným v dynamických výpočtech, je uvažování nosných struktur (dvojkolí, rámů podvozků, skříní) jako dokonale tuhých těles. To je v případě skříně v přímém rozporu se snahou postihovat vibrace samotné skříně pro stanovení komfortu pro cestující popsané výše. Rozdíl mezi odezvou modelu vozidla s tuhou a poddajnou skříní je ilustrován na ***obr. 1***, na němž je patrný vliv vlastních frekvencí skříně ve spektru svislého zrychlení.

Při navrhování vozidel pro přepravu osob je ve VÚKV běžnou praxí uvažovat ve výpočtech poddajný model vozové skříně. Dle získaných zkušeností se ukázala úskalí jeho použití. Pro jejich odhalení a případný návrh jejich eliminace samozřejmě hraje významnou roli experiment. Konfrontace výsledků výpočtů s experimentálními výsledky je totiž kruciální záležitostí pro zdokonalování výpočetního modelu a dosažení dostatečné věrohodnosti ještě ve fázi návrhu vozidla. V tomto příspěvku jsou popsány zkušenosti získané při implementaci modelu poddajné skříně pro výpočtové simulace a jeho experimentálního ověření, jehož

[*)] **Ing. Jan PULDA,** VÚKV a.s., Bucharova 1314/8, 158 00 PRAHA 5, Česká republika. Tel.: +420 736 519 934, e-mail: pulda@vukv.cz. 26 let, výzkumný a vývojový pracovník, zabývá se jízdními vlastnostmi a dynamikou kolejových vozidel.

Ing. Jan MUSIL, VÚKV a.s. Tel.: +420 736 519 956, e-mail: musil@vukv.cz. Výzkumný a vývojový pracovník, zabývá se jízdními vlastnostmi a dynamikou kolejových vozidel.

primárním cílem bylo zjistit, do jaké míry jsme schopni výpočetním modelem napodobit chování skutečného vozidla.



Obr. 1 *Porovnání spektra svislého zrychlení ve středu skříně pro tuhý a poddajný model*
Fig. 1 *Comparison of a vertical acceleration spectrum calculated in a centre of a carbody modelled as rigid and flexible*

2 TEORIE PODDAJNÝCH TĚLES V MBS

Pro pochopení problematiky poddajných těles v rámci MBS simulací je nejprve nutné nahlédnout pochopit základní princip jejich teorie a postupu tvorby takového modelu. Prvním bodem tvorby je příprava FEM modelu dané konstrukce, který reprezentativně popisuje její deformační odezvu.

Pro potřeby MBS modelu je ale plnohodnotný FEM model neefektivní vzhledem k vysokému počtu stupňů volnosti. Proto se provádí tzv. modální redukce modelu. Její princip je takový, že plnohodnotný model je nahrazen popisem chování pouze v malém počtu vybraných bodů. Výběr těchto bodů je klíčovou částí postupu, jelikož redukovaný model v těchto bodech vykazuje shodné chování jako původní FEM model (fungují zejména jako rozhraní tělesa vůči zbytku modelu či pro měření veličin, např. zrychlení) a zároveň se jimi ovlivňuje shoda z hlediska modálních vlastností.

Následně během simulace lze ze znalosti buzení a modálního chování poddajného tělesa určit deformace, relativní deformace a napětí v libovolném místě tělesa, z čehož je následně možné určit silové působení tělesa na okolí.

V rámci teoretické fázi se nabízí následující otázka.

Otázka 1: Je redukce modelu provedena správně a jsou dostatečně přesně postihnuty vlastní tvary mající vliv například na komfort?

3 POUŽITÍ PODDAJNÝCH TĚLES VE VÝPOČETNÍM MODELU KOLEJOVÉHO VOZIDLA

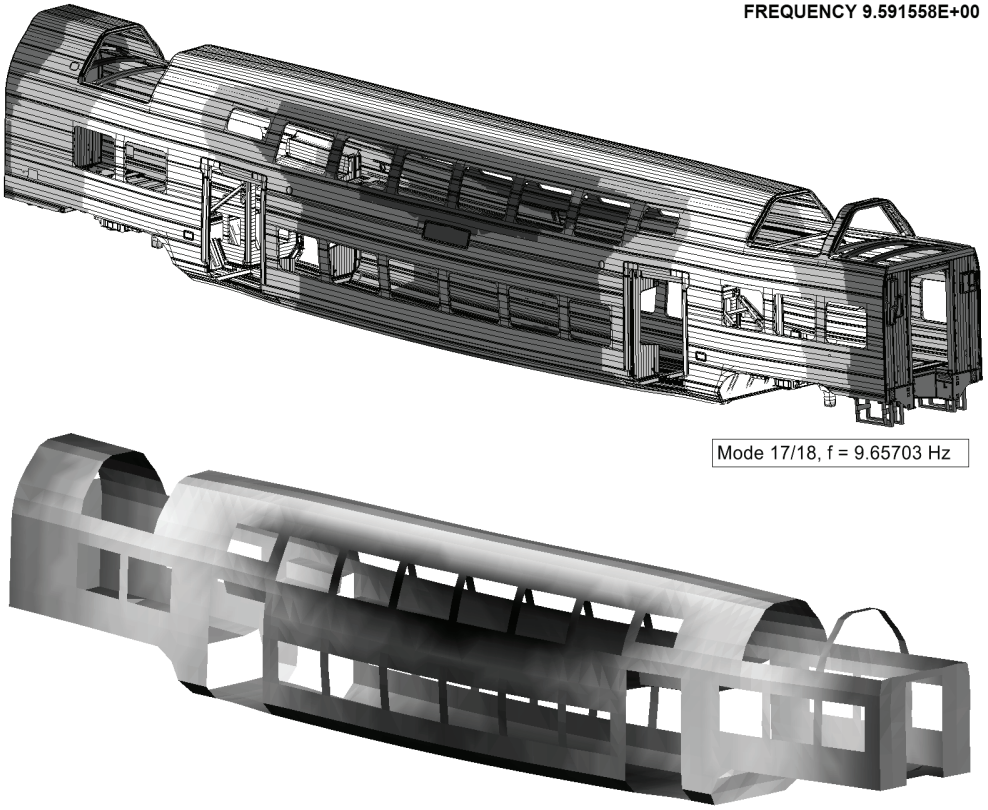
Jak už je naznačeno v úvodu, model poddajných těles lze používat zejména v oblasti nosných struktur kolejového vozidla. Zejména je jeho přínos znatelný u vozové skříně, tedy následující text bude zaměřen na ni.

Při aplikaci postupu kapitoly 2 je nejprve nutné vytvořit FEM model skříně. Jelikož při projektování vozidla vzniká tento model (hrubá stavba s vystrojením pouze nejtěžšími agregáty) pro pevnostní ověření, nabízí se její přímé použití též pro tyto účely. Ovšem tento model není primárně určen pouze pro redukci do MBS simulací a nemusí tedy obsahovat prvky konstrukce důležité z hlediska kmitání skříně. Ukázka porovnání vlastních tvarů a frekvencí původního a redukovaného modelu je na o***br. 2*** (z něj je zřejmé, že lze dosáhnout dobré shody). Z tohoto titulu plynou následující otázky.

Otázka 2: Je skutečně používaný FEM model téměř nevystrojené hrubé stavby reprezentativní pro potřeby dynamických výpočtů?

Otázka 3: Jak modální chování ovlivňují dílčí části vystrojení – okna, podlaha, příčky a obložení interiéru, nosiče sedáků?

Otázka 4: Ačkoli FEM model může postihovat rovněž nelinearity v konstrukci skříně, již z principu redukce se nepřenášejí do modelu MBS. Jaký je vliv různých třecích vazeb, vůlí a dalších nelinearit na dynamické chování skříně?



Obr. 2 *Vizualizace prvního vlastního ohybového tvaru modelu skříně s vypočtenými frekvencemi, nahoře zdrojový FEM model; dole redukovaný v prostředí Simpack (se svolením Škoda Transportation)*

Fig. 2 *Visualisation of a first bending eigenmode of a carbody model with calculated eigenfrequencies; upper source FEM model, lower reduced Simpack model (with Škoda Transportation permission)*

Dalším aspektem je volba referenčních bodů pro redukci. Na skříni se vybírají typicky místa připojení ostatních komponent vozidla (podvozky, tažné a narážecí ústrojí) a místa měření veličin. Tyto body jsou nutné pro správnou funkci rozhraní mezi jednotlivými částmi vozidla. Ovšem jak je uvedeno v kapitole 2, volba referenčních bodů ovlivňuje shodu modálních vlastností FEM modelu a redukovaného modelu. Tuto shodu lze posoudit na základě vlastních frekvencí a vlastních tvarů a případně provést korekci. V souvislosti s volbou referenčních bodů též úzce souvisí případné experimenty a jejich vyhodnocení, což skýtá následující otázku.

Otázka 5: Pro experimentální porovnání výpočetního modelu se skutečným vozidlem je nutné mít vhodně zvolené referenční body pro měření zrychlení tak, abychom mohli rozeznávat různé vlastní tvary kmitání skříně. Jaké je optimální rozložení těchto měřicích bodů a jak ho případně určit?

Dlužno podotknout, že například Simpack (MBS software používaný ve VÚKV) nabízí tzv. přímé úpravy modelu poddajného tělesa. Tímto způsobem lze korigovat parametry hmotnosti, tuhosti a útlumu v modelu poddajné skříně. Dále lze přímo zasahování do hodnot vlastních frekvencí příslušného vlastního tvaru kmitání. Tento způsob modifikace se dá považovat již za silně nefyzikální. Tohoto způsobu ovšem lze využít zejména v případě změřené odezvy skutečné skříně.

4 KONFRONTACE VÝPOČETNÍHO MODELU S REALITOU

Velkou část výše uvedených otázek nelze rozřešit pouze výpočetně „od stolu“. Nastupuje tedy experimentální analýza a porovnání vytvořeného modelu se skutečností. Aby bylo možné měřit veličiny popisující modální vlastnosti skříně vozidla, je nutné pochopitelně u vozidla vybudit jeho kmitání. Principiálně lze toto buzení rozlišit na tři základní skupiny:

1. monofrekvenční buzení;
2. rázové buzení – například při shození vozidla z klínu;
3. buzení stochastickým signálem – například jízdou vozidla po nerovné koleji.

Pokud máme vozidlo vybuzeno, je nutné kvantifikovat kmitání měřením na vybraných místech na skříni. Prakticky jedinou možností je měření kmitání pomocí akcelerometrů (teoreticky existuje více možností, například tenzometrické měření relativních deformací). Výhodou měření zrychlení je jednoduchost provedení a zároveň se jedná o standardní měření prováděné v rámci takřka všech zkoušek kolejových vozidel. Navíc změřené signály zrychlení jsou úzce spojeny se stanovením komfortu. Pro posouzení shody modelu s realitou není vhodné porovnávat časové záznamy zrychlení (například v případě stochastického buzení tento přístup nedává smysl), proto v následujících porovnáních je použito porovnání spekter, z nichž je možné kvantifikovat vliv jednotlivých vlastních tvarů kmitání skříně.

Poměrně zásadní problematikou jsou okrajové podmínky – způsob uložení skříně, které značným způsobem mohou ovlivňovat výsledné modální chování skříně. Typicky je skříň uložena na podvozku. Pro potřeby vyhodnocení je nutné znát dostatečně přesně parametry tohoto podvozku, zejména tuhosti a útlumy v jednotlivých komponentech a jeho geometrické uspořádání. U jízdních zkoušek je navíc nutné znát dostatečně přesně charakteristiky kontaktní geometrie a charakter (například spektrum) odchylek GPK od ideálního trasování.

Pro tyto úvodní experimentální studie byla vybrána vozidla, pro něž byly ve VÚKV vytvořeny MBS modely s poddajnou skříní a zároveň pro ně byla možnost využít rozličná naměřená data, zejména záznamy zrychlení na vybraných místech na podlaze ve skříni. Tato data pocházela ze shozu z klínu a z jízdy vozidla po nerovné koleji.

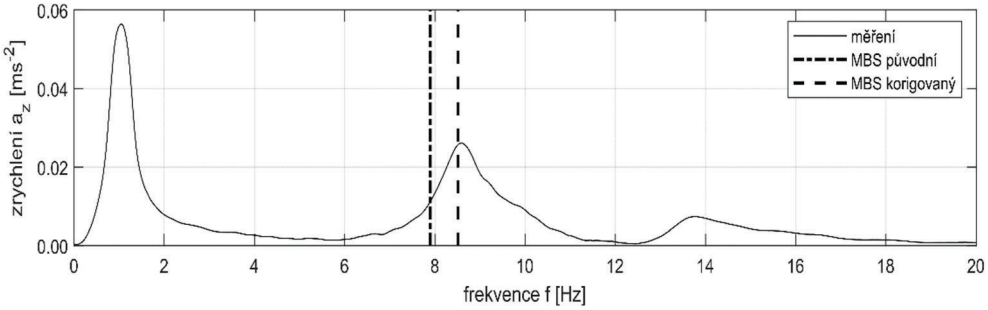
4.1 Shoz z klínů

Při řešení výzkumného úkolu společně se Škoda Transportation zaměřeného na optimalizaci komfortu, byla provedena sada měření vedoucí k ověření věrohodnosti MBS modelu. Důvodem tohoto ověření byla validace MBS modelu v základní konfiguraci vozidla a následně provést simulace pro změnu parametrů podvozku. Ačkoli primární náplní úkolu byla optimalizace vypružení podvozku, nešlo odhlédnout od modálních vlastností skříně.

Předmětem měření čtyřnápravový jednopodlažní vůz, který byl vybaven dvěma stupni vypružení – primární ocelové pružiny, sekundární vzduchové pružiny. Oba stupně byly tlumeny hydraulickými tlumiči. Skříň vozu byla zhotovena z hliníkových protlačovaných profilů. Na podlaze bylo umístěno celkem 5 tříosých snímačů zrychlení, přičemž tři byly umístěny standardně v ose vozu (dva nad podvozky, jeden ve středu vozu), další dva byly po stranách skříně uprostřed. Dále byla provedena instrumentace podvozků.

Prvotním testem pro stanovení modálních vlastností celého vozidla byl tzv. shoz z klínů. Vlivem přejetí klínu vozidlem a jeho následným dopadem zpět na kolejnice dochází k rázovému vybuzení kmitání celého vozidla. Volbou umístění klínů lze budit u skříně různé tvary kmitání. Stejné případy, které byly zkoušeny na reálném vozidle, byly rovněž simulovány. Dle průběhů veličin instrumentace podvozků byly ověřeny parametry vypružení, tedy okrajové podmínky uložení skříně.

Následně bylo možné porovnávat modální vlastnosti skříně. Dle vypočtených spekter zrychlení na podlaze skříně se při vhodném nastavení klínů pod vozidlem ukázala dominantní první ohybová frekvence skříně (o***br. 3***). Ta byla zvolena jako základní porovnávací frekvence, dle které byla provedena základní korekce modelu poddajné skříně. Bylo zjištěno, že výpočetní model vykazuje tuto frekvenci nižší oproti měření. Na tomto základě bylo provedeno ztužení modelu skříně, které lze vysvětlit vlivem vystrojení skříně. S takto upraveným modelem byla následně provedena druhá etapa popsaná v kapitole 4.2.



Obr. 3 *Porovnání spektra svislého zrychlení změřeného při shozu s klínu s MBS modelem*

Fig. 3 *Comparison of measured vertical acceleration during wedge test with MBS model*

4.2 Jízdní zkoušky

Jak je uvedeno výše, snaha porovnávat modální vlastnosti skříně byla u dvou různých modelů. Porovnání pomocí výsledků jízdních zkoušek bylo prováděno u obou modelů, přičemž motivace k tomu jej provádět byla u obou vozidel v zásadě stejná. Účelem bylo ověřit dynamické vlastnosti modelu a následně posuzovat změny v konstrukci podvozku.

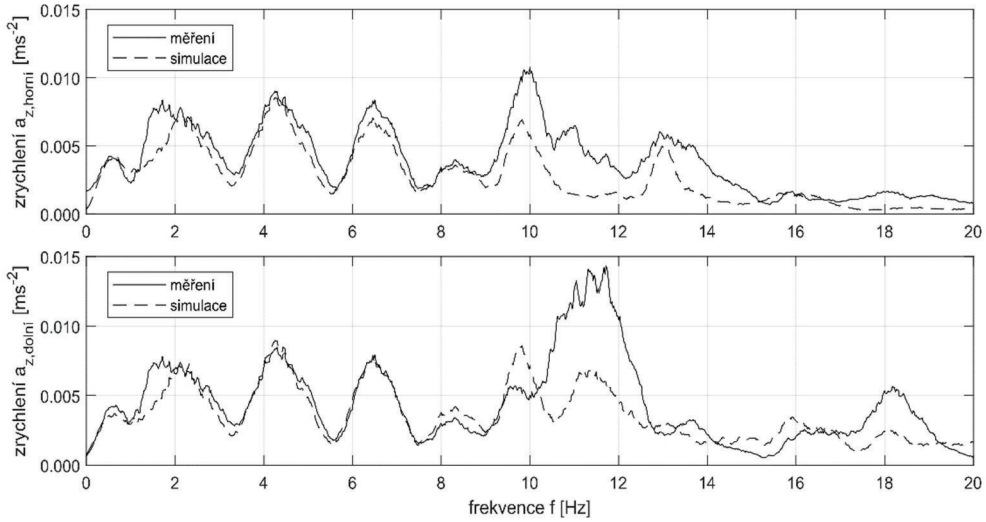
Druhé vozidlo, které bude použito pro popis v této kapitole, byl osobní dvoupodlažní vůz výrobce Škoda Transportation. Opět se jednalo o čtyřnápravové podvozkové vozidlo vybavené vypružením vinutými pružinami v prvním stupni, vzduchovým ve stupni druhém. Tlumení bylo provedeno hydraulickými tlumiči. Skříň byla opět hliníková. Rozmístění snímačů odpovídalo standardní konfiguraci při jízdně-technických zkouškách, tedy akcelerometry byly osazeny v podélné ose nad podvozky a ve středu skříně v horním a dolním patře. Zároveň byly snímači osazeny podvozky, zejména v jednom se jednalo o měřicí dvojkolí. U tohoto vozidla pro hodnocení modálních vlastností byly k dispozici pouze výsledky jízdních zkoušek, tedy nešlo udělat přesnější porovnání (a případnou korekci) jako u předchozího vozidla.

Provedení porovnání simulace a měření v rámci jízdních zkoušek je značně náročnější oproti předcházejícími případu shozu z klínu. Vozidlo bylo porovnáváno pro prázdný i obsazený stav (tzn. byl vytvořen model poddajné skříně pro oba stavy ložení, obsazení bylo během jízdních zkoušek simulováno závažím). Pro porovnání byly vybrány celkem 4 úseky (2 přímé, 2 oblouky, vždy pro 120 km/h a 160 km/h), pro něž bylo možné určit reprezentativní charakteristiky kontaktní geometrie a rovněž byl znám charakter odchylek od GPK. V první části porovnání shody simulačního modelu se skutečností tedy byla validace nejen charakteristik vypružení podvozku, ale i okrajových podmínek trati. Obě

tato porovnání byla založena zejména na změřených signálech z instrumentace podvozku. Metodika posouzení shody byla dle normy EN 14363, přílohy T [2].

Při porovnávání modálních vlastností prázdné i obsazené skříně se nejprve ukázalo, podobně jako v kapitole 4.1, že je nutné globálně ztužit celou skříň koeficientem matice tuhosti. V tomto případě ovšem chybělo jednoznačné určení alespoň jedné vlastní frekvence, jako tomu bylo u shozu z klínů a ohybové frekvence skříně. Z tohoto důvodu byl hledán koeficient ztužení tak, aby průběhy spekter svislých zrychlení z měření a simulace byly co nejvíce shodné.

Uspokojivá shoda měření s výpočetním modelem ale nebyla ovšem dosažena na všech frekvencích. Tedy pro dosažení cílů simulací, byly vybraným vlastním tvarům posunuty příslušné frekvence. Tímto způsobem bylo dosaženo požadované shody mezi odezvou skutečného vozidla a výpočetního modelu. Vybraným výsledkem je srovnání spekter svislých zrychlení ve středu skříně dle ***obr. 4***.



Obr. 4 *Porovnání spekter svislého zrychlení ve středu skříně v horním a dolním patře, prázdný vůz, přímá kolej, 160 km/h*

Fig. 4 *Comparison of a vertical acceleration in a centre of a carbody in upper and lower deck, empty vehicle, straight track, 160 km/h*

Zajímavý stav nastal u modelu obsazené skříně. Původní FEM model, z nějž se prováděla redukce, měl poněkud odlišné ložení oproti stavu během jízdních zkoušek. Výsledkem této odlišnosti bylo, že při aplikaci výše uvedeného postupu nebylo možné v žádném případě kombinací měněných parametrů (parametry tuhosti a tlumení, posun libovolných frekvencí) dosáhnout uspokojivého výsledku. Model vykazoval příliš odlišné vlastní tvary oproti skutečnému vozidlu. Po úpravě FEM modelu bylo již s minimálními korekcemi možné dosáhnout uspokojivé shody.

5 ZÁVĚR

Ve výše uvedeném rozboru jsou ukázány dílčí výsledky provedeného prvotního srovnání výsledků modálních vlastností měření skutečného vozidla a simulací s modelem poddajné skříně. Jednalo se o první krok k hlubšímu pochopení chování vozidla s poddajnou skříní a jeho konfrontací s měřenými daty, aby bylo možné v budoucnu vytvářet plně plausibilní výpočetní modely již v průběhu projektování vozidla. V první řadě je nutné

zmínit, že se ukázalo, že je možné vytvořit model poddajné skříně vozu, který svými modálními vlastnostmi odpovídá dynamické odezvě skutečného vozidla.

V prvních kapitolách příspěvku byly vytyčeny některé otázky, které plynou z postupu tvorby a použití modelu poddajné skříně v simulacích. Alespoň na některé z nich je možné odpovědět dle srovnání s měřením. Nyní tedy tyto odpovědi shrňme.

Odpověď 1: Jelikož se jedná pouze shodu dvou výpočetních modelů, je jejich porovnání celkem snadné. Redukovaný model musí vhodně reprezentovat vlastní frekvence a tvary do cca 20 Hz, potom ho lze považovat dostatečně vypovídající vzhledem ke kvantifikaci komfortu. To bylo při tvorbě modelů vždy zohledněno.

Odpověď 2: Dle kapitoly 4.1 a 4.2 se ukazuje, že bohužel nikoli. Prováděné zásahy do modálních vlastností jsou poměrně významné, tudíž původně vytvořený model je odlišný od skutečnosti. Ostatně to bylo demonstrováno na příkladu ložení. Z tohoto faktu vyplývá, že pro potřeby MBS simulací je nutné mít zdrojový FEM model zpracován jiným způsobem.

Odpověď 3: S otázkou 2 a její odpovědí úzce souvisí i tato odpověď. Pravděpodobně vybavení významně ovlivňuje modální chování skříně. Proto nalezení přesné odpovědi je zásadní pro správné modelování poddajné skříně.

Odpověď 4: Na tuto otázku je v principu velmi složité odpovědět. Jednou z možností je provedení kosimulace FEM-MBS s komplexním nelineárním modelem skříně. Tento postup je ale tak časově náročný a možnost experimentálního ověření je značně diskutabilní, že pravděpodobně nelze v případě tak složitého tělesa, jako je vozová skříň, nalézt uspokojivou odpověď.

Odpověď 5: V tuto chvíli nelze na tuto otázku uspokojivě odpovědět. S jistotou lze tvrdit, že standardní rozmístění akcelerometrů při různých zkouškách pouze v podélné ose vozu na podlaze je nedostatečné, nepostihují celou škálu vlastních tvarů kmitání skříně. Například při porovnávání pomocí jízdních zkoušek nebylo často možné jednoznačně určit, kterým vlastním tvarem kmitání jsou rezonanční vrcholy způsobeny. Jistou cestou může být předběžné vytipování na základě provedeného výpočtu vlastních tvarů, ovšem zde se vystavujeme riziku, že samotný výpočetní model nereprezentuje realitu. Odpověď na tuto otázku tedy přinese až budoucí zkušenost.

Pro nalezení přesnějších odpovědí na uvedené otázky je potřeba provést další experimentální výzkum. Pro ni bude nutné zvolit správnou metodiku. Ukázalo se, že dosud použité postupy, zejména ověření jízdní zkouškou, nevedou k získání spolehlivě reprodukovatelným datům. To je dáno zejména okrajovými podmínkami, za nichž jsou měření prováděna (jedná se zejména o vliv samotné trati). Pravděpodobně vhodnějším postupem je buzení skříně v ustáleném stavu. Domníváme se, že může sloužit pro přesnou kalibraci výpočetního modelu. Zároveň tento postup lze aplikovat jednoduše na vozovou skříň v různém stavu vystrojení a sledovat tak trend ve změně modálních vlastností.

Kapitola 4.1 je založená na činnostech provedených v rámci projektu TN01000026 „Národní centrum kompetence Josefa Božka pro pozemní dopravní prostředky“ podpořeného Technologickou agenturou ČR.

Literatúra

[1] ČSN EN 12299. Železniční aplikace - Jízdní pohodlí cestujících - Měření a vyhodnocení**.** Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. **[2] ČSN EN 14363+A1.** Železniční aplikace – Zkoušení a simulace pro schvalování železničních vozidel z hlediska jízdních vlastností – Jízdní chování a stacionární zkoušky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.

♠ ♠ ♠

Resumé

Tento příspěvek se zabývá zkušenostmi ve VÚKV s výpočetním modelováním poddajných těles, zejména vozových skříní, v dynamických výpočtech jízdních vlastností vozidel (MBS). Poddajné skříně bývají typicky využívány pro ověřování komfortu pro cestující, přičemž je snahou co nejlépe postihovat chování reálného vozidla. Právě vypovídající schopnost modelu poddajné skříně je základní otázkou, kterou je nutné si při jejím použití položit. Na základě popisu a analýzy postupu tvorby tohoto modelu – tzv. redukce výpočetního FEM modelu – jsou formulovány otázky, které je potřeba uspokojivě odpovědět, abychom mohli výsledný MBS model posuzovat jako plausibilní.

Prvním pokusem o zodpovězení těchto otázek byla provedení srovnání měření na skutečných vozidlech s výpočetním modelem. To bylo provedeno pro dvě vozidla, přičemž pro ně byla k dispozici různá změřená data ze zkoušek. Jednalo se o zkoušky shozem z klínů a jízdní zkoušky. Dle porovnání je zřejmé, že je pravděpodobně možné získat model poddajné skříně, který věrně popisuje realitu. Nicméně pro plné pochopení je nutné provést hlubší experimentální analýzu modálních vlastností skříně, abychom byli schopni přesně predikovat chování skříně již ve fázi projektu vozidla.

Summary

This paper is focused on our experience in VÚKV with computational modelling of flexible bodies, particularly carbodies, within dynamic computations of a vehicle running behavior (MBS). The flexible carbodies are usually used for an investigation of passenger comfort while there is effort to have behaviour close as possible to the real vehicle. So, a plausible behaviour of the flexible carbody model is the fundamental question which must be asked. Several questions are proposed on basis of a description and an analysis of this model creation process – reduction of a FEM computational model. These questions need to be satisfactory answered if we could consider the resulting MBS model plausible.

As a first attempt to answer these questions the comparison was performed between measurements on a real vehicle and a computational model. This was carried out for two vehicles while there were measured data for them. This data came from wedge tests and running behaviour tests. According to the comparison we can say there is possibility to create a flexible carbody model which corresponds to reality. However, for complete understanding of their behaviour there is need for more throughout experimental analysis of carbody modal characteristics. We need to understand this to accurate prediction of the carbody behaviour even within a design phase of a vehicle.

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.21

EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ VLIVU NA SÍLY V KONTAKTU KOLO-KOLEJNICE: SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

EXPERIMENTAL PROOF OF SPIN INFLUENCE ON RAIL-WHEEL CONTACT FORCES: STATE OF PRESENT KNOWLEDGE

Jan PULDA*), Bohumil CULEK, Petr VOLTR

1 ÚVOD

Podmínky přenosu tečných sil mezi kolem a kolejnicí popisuje teorie adheze. Její podstatou je vznik tečných sil mezi povrchy poddajných těles (kolo a kolejnice) při působení normálové síly, vzájemném relativním pohybu a existenci tření v kontaktní ploše. Vlivem relativního pohybu těles dochází k deformaci povrchu těles a tím vzniku tečného napětí, jehož následnou integrací je získán výsledný silový účinek. Pro popis relativního pohybu těles se používají poměrné kinematické veličiny – skluzy. Zavádí se tři skluzy: podélný skluz s_x, příčný skluz s_y, spinový skluz Φ. Spinový skluz neboli spin popisuje vrtný pohyb (rotaci kolem normály kontaktní plochy) částic povrchů v kontaktu.

Úhlová rychlost spinu je rovna průmětu výsledné vzájemné úhlové rychlosti rotace těles do normály kontaktní plochy. Například v kontaktu kolo-kolejnice je dominantní složkou tzv. geometrický spin, který je přítomen i bez vrtivého pohybu kola a který vyplývá z úhlové rychlosti rotace dvojkolí a efektivní kuželovitosti obrysu kola. Důsledkem spinu je vznik takového rozložení tečného napětí, jehož výsledné silové účinky jsou zejména příčné tečné (skluzové) síly. Vzniká ale rovněž tzv. spinový moment.

Současné poznání ohledně vlivu spinu na vznik, rozložení tečných napětí a velikosti výsledných skluzových sil je založeno na matematicko-fyzikálních modelech a experimentální činnosti. Právě popis a zhodnocení dosud provedených experimentů je náplní tohoto příspěvku.

2 KLASIFIKACE MOŽNOSTÍ EXPERIMENTÁLNÍHO OVĚŘENÍ VLIVU SPINU

V úvodu nastíněný mechanismus vzniku tečných sil a momentů v kontaktu poddajných těles zároveň vypovídá o možnosti jejich měření. Přehled metod užitých při zkoumání vlivu spinu je uveden v následujícím výčtu:

*) **Ing. Jan PULDA,** Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 PARDUBICE, Česká republika. E-mail: jan.pulda@student.upce.cz. 26 let, doktorand, zabývá se adhezí.

prof. Ing. Bohumil CULEK, CSc., Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice. E-mail: bohumil.culek@upce.cz, tel. +420 466 038 511.

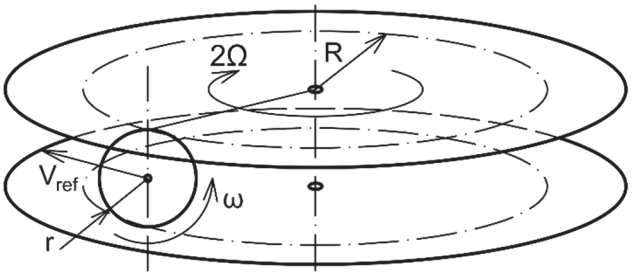
doc. Ing. Petr VOLTR, Ph.D., Výukové a výzkumné centrum v dopravě, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice. E-mail: petr.voltr@upce.cz, tel. +420 466 038 505.

- rozložení tečného napětí – tyto metody nejsou v následujícím textu hlouběji rozebrány, jelikož není plánováno jejich využití v budoucí experimentální činnosti;
    - měření rozdělení kontaktní plochy na oblast lpění a oblast klouzání [1];
    - přímé měření průběhu tečného napětí pomocí fotoelasticimetrie [2, 3];
- měření výsledných silových účinků – závislosti skluzových sil na velikosti spinu (tzv. adhezní charakteristiky);
    - zjišťované adhezní charakteristiky udávají závislost mezi spinem a příčnou silou či spinovým momentem, pro příčnou sílu může být zahrnut též vliv příčného skluzu;
    - možnost využití kuličkového zkušebního stavu – měření pohybu nebo sil působících na kuličku sevřenou mezi dvěma rotujícími deskami, resp. využití tribometrů (tato metoda je rozebrána v kapitole 2.1);
    - možnost využití kladkového zkušebního stavu, který typicky simuluje kontakt kolo-kolejnice (tato metoda je rozebrána v kapitole 2.2).

Metody pro přímé měření rozložení napětí pomocí fotoelasticimetrie jsou poměrně náročné a vyžadují použití speciálních polymerních materiálů. Tedy z hlediska kontaktu kolo-kolejnice je jejich použití vyloučeno. Naproti tomu metody založené na měření výsledných silových účinků lze považovat za dostatečně popisující zkoumaný vliv spinového skluzu.

2.1 Experimenty na kuličkových zkušebních stavech

Vyvození spinu u kuličkového stavu spočívá v umístění kuličky mezi dvě desky vzájemně rotující kolem svislé osy (dle ***obr. 1***). Pokud lze na kuličku rovněž působit radiální silou, lze na základě změny trajektorie kuličky naměřit kompletní skluzové charakteristiky pro kombinaci příčného skluzu a spinu. Nutno podotknout, že mezi radiální síly se rovněž řadí síly setrvačné – odstředivé (z tohoto důvodu byly experimenty prováděny za velmi nízkých rychlostí). Odvození rovnice popisující velikost spinového skluzu je uveden rovnicemi (1) a (2). Rovnice (1) popisuje kinematiku valení kuličky za podmínky nulového podélného skluzu (tímto předpokladem se zjed-nodušuje rovnice (2) na popis spinu pouze geometrickými parametry soustavy).



Obr. 1 *K odvození vztahu pro spin na kuličkovém zkušební stavu*
Fig. 1 *Derivation of an equation of a spin creepage on a ball test rig*

$$2\,v_{ref} = 2\,R\,\Omega \Rightarrow v_{ref} = r\,\omega = R\,\Omega \quad (1)$$

$$\Phi = 2\,\Omega / v_{ref} = 2/R \quad (2)$$

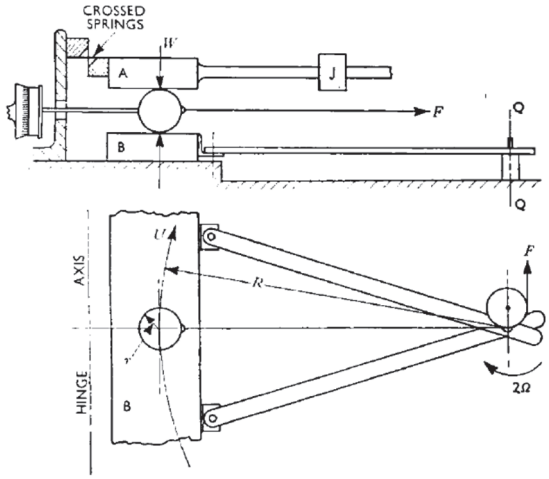
kde:

	$2\,\Omega$	$[rad\ s^{-1}]$	úhlová rychlost rotace horní desky vůči dolní
	ω	$[rad\ s^{-1}]$	úhlová rychlost rotace kuličky
	R	$[m]$	poloměr trajektorie valení kuličky na desce
	r	$[m]$	poloměr kuličky
	v_{ref}	$[m\ s^{-1}]$	referenční rychlost
	Φ	$[m^{-1}]$	spinový skluz

Tohoto principu k měření vlivu spinu poprvé využil Johnson a postavil na něm sérii experimentů popsaných v [4, 5]. V první sérii experimentů [4] umístil Johnson mezi dvě

rotující desky 3 kuličky (v podstatě se jednalo o model axiálního ložiska) a sledoval změnu poloměru zakřivení jejich dráhy. Jelikož nebyla zavedena žádná radiální síla, musela být výsledná skluzová příčná síla v kontaktních plochách rovněž nulová. Zjednodušeně lze skluzové podmínky popsat tak, že příčná síla resultující ze spinu je kompenzována skluzovou silou vyvozenou příčným skluzem. Právě tento vzniknuvší příčný skluz je zodpovědný za změnu zakřivení dráhy kuličky – kulička se pohybuje po spirále směrem vně od osy rotace desek. Experimenty s podobnou metodikou zopakoval později Gupta [6].

Významným doplněním z pohledu měření komplexních skluzových charakteristik je Johnsonův druhý příspěvek [5]. V něm zopakoval principiálně stejný experiment jako v [4], nicméně již zaváděl na kuličku radiální sílu (***obr. 2***). Tímto způsobem naměřil kompletní příčně-spinové adhezní charakteristiky v oblastech malého spinu. Pro oblasti velkých hodnot spinu byl navržen obdobný experiment, nicméně kuličky se pohybovaly ve žlábku s kruhovým průřezem. Tím, jak se kulička postupně pohybovala směrem ven ve žlábku, docházelo ke změně sklonu dotykové roviny a vzniku tečné reakce z rozkladu svislé zátěže. Tímto způsobem je efektivně zavedena radiální síla bez jakéhokoli vnějšího zásahu. Měřením trajektorie kuličky šlo stanovit adhezní křivky při spinu a příčném skluzu. Zároveň při ustálení kuličky na trajektorii s konstantní křivostí šlo měřit vliv spinu bez příčného skluzu.



Obr. 2 *Schéma uspořádání Johnsonova zkušebního stavu pro malý spin [5]*

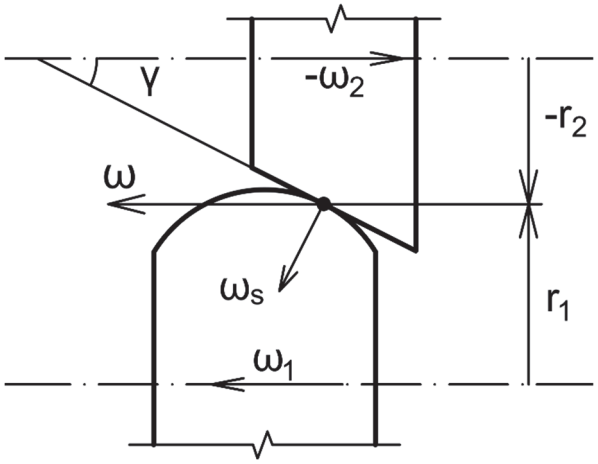
Fig. 2 *Schematics of Johnson's test rig for small spin [5]*

Obecně lze posuzovat Johnsonova měření jako velmi přínosná pro pochopení vlivu spinu, a to již z titulu, že se jednalo o první experimentální studii. Zároveň byla provedena první srovnání s tehdejším teoretickým poznáním (reprezentovaným zejména Johnsonovými matematickými modely), z nějž vyplynula omezení tehdejších modelů. Nicméně při posuzování těchto experimentů v kontextu kontaktu kolo-kolejnice lze spatřovat jistá omezení jejich výsledků:

- kontaktní podmínky jsou striktně omezeny na hertzovskou geometrii, a to navíc pouze pro kruhovou kontaktní plochu (koule na rovině);
- velmi malé rozměry těles (poloměry kuliček) a z nich plynoucí malé rozměry kontaktní plochy v porovnání s podmínkami kontaktu kolo-kolejnice;
- velmi nízká svislá zatížení;
- velmi nízké rychlosti valení (z důvodu odstředivé síly a gyroskopického momentu);
- bez kombinace s podélnými skluzy.

2.2 Experimenty na kladkových zkušebních stavech

Hlavní nevýhodou kuličkových zkušebních stavů je fakt, že na nich jsme schopni měřit pouze za podmínek kruhové kontaktní plochy. Oproti tomu kladkové zkušební stavy toto omezení v zásadě nemají. Zároveň jsou principiálně nejblíže podmínkám v kontaktu kolo-kolejnice a vhodnou volbou profilů kladek lze simulovat věrně podmínky mezi kolem a kolejnicí. Kladkový stav obecně sestává ze dvou kladek, přičemž jedna, či obě jsou hnané. Z pohledu spinového skluzu se využívá zejména vyvození geometrického spinu pomocí kombinace profilů s nenulovým sklonem kontaktní roviny. Princip jeho vzniku je uveden na ***obr. 3***.



Obr. 3 *K odvození vztahu pro spin na kladkovém zkušební stavu*

Fig. 3 *Derivation of an equation of a spin creepage on a roller test rig*

Na základě tohoto schématu lze odvodit rovnice popisující spin. Nejprve je nutné zjistit velikost vzájemné úhlové rychlosti v kontaktu mezi kladkami, to je popsáno rovnicí (3). Vlivem nenulové kuželovitosti kladek dochází ke vzniku normálové úhlové rychlosti – rychlosti spinu. Zároveň za předpokladu nulového podélného skluzu, popsaného rovnicí (4), vyplývá z výše uvedeného rovnice (5) popisující velikost geometrického spinu (závisí pouze na geometrických parametrech kladek).

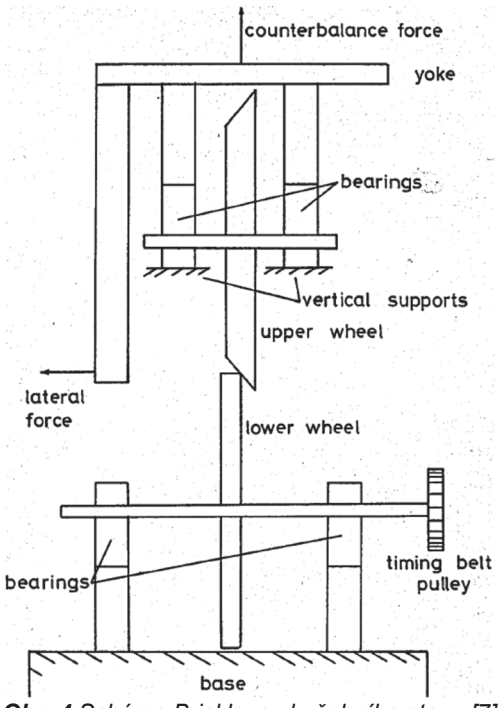
$$\omega = \omega_1 - (-\omega_2) = \omega_1 + \omega_2 \tag{3}$$

$$w_x = r_1\,\omega_1 - (-r_2)\,(-\omega_2) = r_1\,\omega_1 - r_2\,\omega_2 = 0 \Rightarrow r_1\,\omega_1 = r_2\,\omega_2 = v_{ref} \tag{4}$$

$$\Phi = \omega_s / v_{ref} = (\omega_1 + \omega_2)\,\sin\gamma / v_{ref} = (1/r_1 + 1/r_2)\,\sin\gamma \tag{5}$$

kde:

ω_1	*[rad s^{-1}]*	úhlová rychlost kladky 1
ω_2	*[rad s^{-1}]*	úhlová rychlost kladky 2
ω	*[rad s^{-1}]*	relativní úhlová rychlost v kontaktním bodě
ω_s	*[rad s^{-1}]*	úhlová rychlost spinu
r_1	*[m]*	poloměr kontaktního bodu na kladce 1
r_2	*[m]*	poloměr kontaktního bodu na kladce 2
v_{ref}	*[m s^{-1}]*	referenční rychlost
w_x	*[m s^{-1}]*	podélná skluzová rychlost
γ	*[rad]*	úhel sklonu dotykové roviny
Φ	*[m^{-1}]*	spinový skluz



Obr. 4 *Schéma Bricklova zkušebního stavu [7]*
Fig. 4 *Schematics of Brickle's test rig [7]*

Pravděpodobně nejrozsáhlejší experimentální studii na kladkovém stavu provedl Brickle v rámci své disertační práce [7]. Předmětem zkoumání byly podmínky v kontaktu kolo-kolejnice při působícím spinu.

Schematicky je zkušební stav naznačen na ***obr. 4***. Kuželová kladka reprezentovala kolo, válcová kladka se zaoblenými hranami reprezentovala kolejnici. Kombinacemi parametrů kladek bylo dosaženo rozličných velikostí spinu a rozměrů kontaktní plochy. Základní parametry zkušebního zařízení jsou uvedeny v ***TAB. 1***. Kromě vyvození spinu umožňoval zkušební stav nastavovat úhel náběhu, tzn. vyvozovat rovněž skluz příčný. Měřena byla svislá síla ***W*** a příčná síla ***F*** (obdoba kolových sil ***Y*** a ***Q***). Hnaná byla pouze kladka kolejnice, tedy podélný skluz byl nulový. Obě kladky byly ocelové.

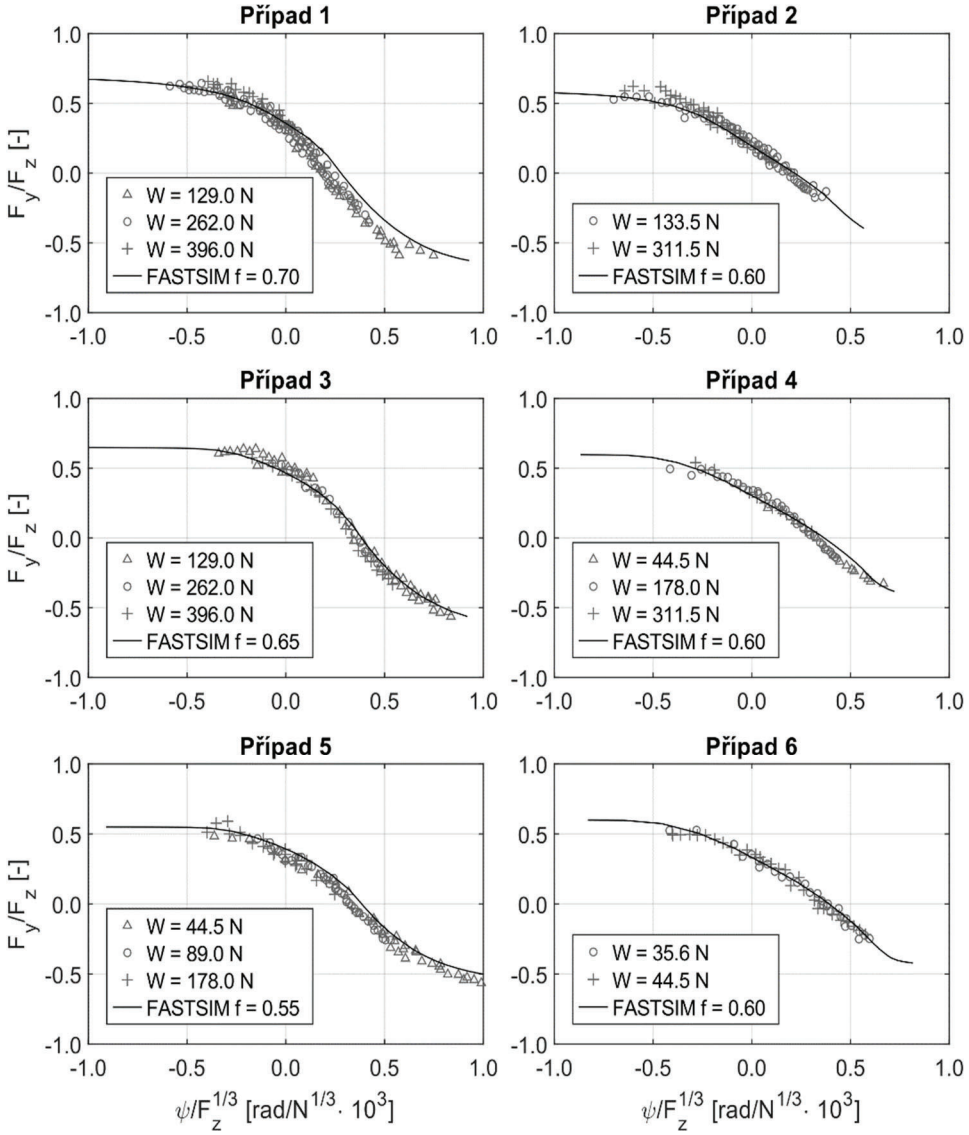
Každý experimentální případ byl proveden pro jednu kombinaci kladek (jedna hodnota velikosti spinu), u nichž byl postupně měněn úhel náběhu (změna velikosti příčného skluzu). Takto sice nebyly získány přímo závislosti příčné síly na spinu, nýbrž příčné adhezní charakteristiky s příspěvkem spinu, z nichž vliv tohoto skluzu vyplývá. Toto bylo provedeno pro dvě až tři svislá zatížení. Ta dosahovala velikosti mezi ***W*** = 130 N a 400 N.

TAB. 2 *Přehled parametrů zkušebního stavu, parametrů kontaktní plochy a spinu [7]*
TABLE 2 *Overview of test rig parameters, contact patch and spin creepage [7]*

		Kladka dolní			Kladka horní	
Označení kladky		a	b	c	d	e
Zaoblení profilu [mm]		101,50	6,35	3,18	---	---
Úhel kuželu		---	---	---	49°	67°
Vnější průměr [mm]		304,8	304,8	304,8	304,8	188,0
Zkušební případ	1	2	3	4	5	6
Kladka dolní	a	a	b	b	c	c
Kladka horní	d	e	d	e	d	e
Poměr poloos elipsy a/b	1,04	1,11	6,45	6,75	10,00	10,30
Spin [1/m]	10,68	19,92	10,64	19,75	10,28	18,95

Výsledky měření Brickle porovnával s tehdejšími výpočetními modely. Pro účely tohoto příspěvku byla provedena nová porovnání s dnešními modely adheze. Výpočty byly provedeny pomocí knihovny CONTACT v23.1.2 [8], a to pomocí zjednodušené teorie algoritmem FASTSIM. Srovnání s Bricklovými výsledky je uvedeno na ***obr. 5***. Vykresleny

jsou závislosti úhlu náběhu ψ (normalizovaného pomocí normálové síly v kontaktu F_z) a součinitele adheze v příčném směru (poměrem tečné příčné síly F_y a normálové síly F_z v kontaktu). Ze srovnání vyplývá, že použití zjednodušené teorie je v případě hertzovského kontaktu plně dostačující a popisuje fyzikální realitu v případě přítomnosti spinu. V rámci jednotlivých případů se kromě geometrie a zatížení dále mění pouze součinitel tření f. Nebylo potřeba zahrnout vliv vrstvy nečistot (redukce tečné tuhosti či pokročilé modelování kontaktních podmínek, což svědčí o pečlivé přípravě podmínek experimentu.



Obr. 5 *Porovnání Bricklových výsledků s výpočty pomocí FASTSIM (parametry viz TAB. 1)*

Fig. 5 *Comparison of Brickle's results with FASTSIM calculations (parameters see TAB. 1)*

Ačkoli byly Bricklovy experimenty metodicky blízké kontaktu kolo-kolejnice, je nutné upozornit na některá jejich omezení. Jedná se zejména o následující:

- zkušební stav byl zmenšeninou oproti skutečným rozměrům kola a kolejnice;
- vlivem malých rozměrů byla zaváděna nízká zatížení tak, aby bylo dosahováno kontaktních tlaků odpovídajících podmínkám kolo-kolejnice;
- pouze čistě hertzovská geometrie (eliptická a rovinná kontaktní plocha);
- poměrně nízký počet dosažitelných hodnot spinu;
- nebyl cíleně zaváděn žádný podélný skluz, zároveň nebyl podélný skluz měřen, přičemž Brickle v diskusi připouští, že mohl nabývat nenulových hodnot.

3 ZÁVĚR

Dosud provedené experimenty ukazují, že současné teoretické pochopení vlivu spinu je na vysoké úrovni v případě triviálních podmínek – hertzovská geometrie, nepřítomnost podélného skluzu, nízká zatížení a malé rozměry zkušebních těles v porovnání s kontaktem kolo-kolejnice. Pro ověření fyzikálních a matematických modelů adheze v realistických podmínkách kontaktu kolo-kolejnice je nutné provést další sadu experimentů. Na základě provedené rešerše vyplývají požadavky na jejich provedení:

- bude použit kladkový stav, u nějž jedna kladka reprezentuje kolo, druhá kolejnici;
- možnost širokého rozsahu podmínek kontaktní geometrie – hertzovská, nehertzovská geometrie, která přibližně odpovídá kontaktu kolo-kolejnice, ideálně možnost zkoumaní konformního kontaktu na zakřivené ploše;
- radiální a příčná zatížení řádově v desítkách kN;
- možnost zavádět podélný skluz při současném měření podélných skluzových sil;
- možnost zavádět příčný skluz při současném měření příčných silových účinků;
- možnost měnit spinový skluz v takovém rozsahu, aby byly pokryty typické podmínky pro kolejová vozidla (to lze splnit použitím vhodných profilů kladek);
- určit s dostatečnou přesností polohu kontaktního bodu mezi kladkami;
- možnost dosáhnout dostatečných rychlostí rotace odpovídajících jízdě vozidla.

Do určité míry těmto požadavkům vyhovuje Testovací zařízení železničních kol (TZŽK) umístěné na VVCD DFJP, Univerzita Pardubice. Záměr na provedení měření vlivu spinu na síly v kontaktu kolo-kolejnice existuje na DFJP již delší dobu – vizte například [9]. Proto bude následná výzkumná činnost prováděná v oblasti vlivu spinu na síly v kontaktu kolo-kolejnice probíhat na tomto zkušebním stavu.

Tato práce byla podpořena Univerzitou Pardubice v rámci řešení projektu SGS_2023_014 „Aktuální výzkumná témata z oblastí dopravních prostředků a infrastruktury řešená na DFJP“.

Literatura

[1] Ollerton, E.; Pigott, R.: Experimental determination of adhesion and slip areas in rolling contact. *Journal of Strain Analysis*, vol. 5, no. 3, pp. 193–199, 1970. DOI: 10.1243/03093247V053193. **[2] Poon, S. Y.:** An experimental study of the shear traction distribution in rolling with spin. *Wear*, vol. 10, no. 1, pp. 61–69, 1967. DOI: 10.1016/0043-1648(67)90107-X. **[3] Lee, J. C.; Ollerton, E.:** A photoelastic investigation of contact stresses in equal spheres rolling together with spin. *Journal of Strain Analysis*, vol. 4, no. 3, pp. 219–227, 1967. DOI: 10.1243/03093247V043219. **[4] Johnson, K. L.:** The Effect of Spin Upon the Rolling Motion of an Elastic Sphere on a Plane. *Journal of Applied Mechanics*, vol. 25, no. 3, pp. 332–338, 1958. DOI: 10.1115/1.4011822. **[5] Johnson, K. L.:** The Influence of Elastic Deformation upon the Motion of a Ball Rolling between Two Surfaces. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 173, no. 1, pp. 795–810, 1959. DOI: 10.1243/PIME_PROC_1959_173_064_02. **[6] Sen Gupta, S. K.:** Analytical

and experimental studies of conical thrust ball bearings. *Wear*, vol. 3, no. 3, pp. 277–297, 1981. DOI: 10.1016/0043-1648(81)90319-7. **[7] Brickle, B. V.:** The steady state forces and moments on a railway wheelset including flange contact conditions. Doktorská práce. Loughborough University, Loughborough, 1973. **[8] Vollebregt, E. A. H.:** User guide for CONTACT, Rolling and sliding contact with friction. Technical Report, version 'v23.1'. Vtech CMCC, Rotterdam, 2023. **[9] Culek, B., Čáp, J., Malinský, J.:** Experimentální výzkum na Testovacím zařízení železničních kol. *XXIV. medzinárodná konferencia Súčasné problémy v koľajových vozidlách – PRORAIL 2019.* Žilina, 2019. ISBN 978-80-89276-58-5.

♠ ♠ ♠

Resumé

Tento příspěvek se zabývá měřením vlivu spinu na síly v kontaktu kolo-kolejnice. Spin je jedním z relativních skluzů popisujících kinematiku relativního pohybu – vrtný pohyb – dvou těles v kontaktu s existencí tření. V jeho důsledku vznikají deformace kontaktních povrchů, a tedy tečná napětí. Jejich výsledkem je příčná tečná skluzová síla a tzv. spinový moment. Z hlediska kontaktu kolo-kolejnice jsou nejdůležitější experimentální metody zaměřené zejména na měření příčné skluzové síly.

Tento typ experimentu lze uskutečnit dvěma metodami: na kuličkových a kladkových zkušebních stavech. Úplně první experimenty s vlivem spinu prováděl Johnson na kuličkovém zkušebním stavu [4, 5]. Výsledkem jeho experimentů byly kombinované skluzové charakteristiky pro příčný skluz a spin. Brickle již modeloval kontakt kolo-kolejnice na kladkovém zkušebním stavu [7]. Výsledkem jeho experimentů byly opět kombinované skluzové charakteristiky, ovšem v širších kontaktních podmínkách než u Johnsona. Jeho výsledky jsou ve dobrém souladu se zjednodušenou teorií adheze řešené algoritmem FASTSIM.

Experimentální podmínky Johnsona i Brickla byly oproti skutečnému kontaktu kolo-kolejnice zjednodušeny (hertzovská geometrie, menší rozměry těles a velikosti zatížení, neexistence podélného skluzu). Tedy z této rešerše zároveň vyplývají požadavky na nové, komplexnější měření, které bude provedeno na DFJP UPCE.

Summary

This paper deals with measurements of a spin influence on rail-wheel contact forces. The spin is one of the creepages used to describe kinematics of a relative motion – rotation about contact normal axis – of two contacting bodies with friction. Deformations of the contacting surfaces are caused due to the spin and thus a tangential traction arises. Its results are lateral creep force and spin moment. With focus on rail-wheel contact, the most important experimental methods are mainly based on measurements of the lateral force.

Two methodologies can be used for these experiments: ball test rigs and roller test rigs. The very first experiments with the spin influence were conducted by Johnson on a ball test rig [4, 5]. His experimental results were in the form of combined creep characteristics for lateral and spin creepages. Brickle modelled rail-wheel contact on a roller test rig [7]. His experimental results were again in the form of combined creep-force characteristics, but he performed experiments under wider contact conditions than Johnson. His results are in a good agreement with the simplified theory of adhesion solved by FASTSIM algorithm.

Within Johnson's and Brickle's experiments the conditions were simplified in comparison to real rail-wheel contact (hertzian geometry, smaller test bodies and force loads, without longitudinal creepage). Thus, from this literature research arise requirements for more complex experiments which are going to be performed on DFJP UPCE.

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.22

AUTONOMNÍ DIAGNOSTIKA VÝHYBEK NA ZÁKLADĚ SNÍMÁNÍ DYNAMICKÉ ODEZVY PROJÍŽDĚJÍCÍHO VOZIDLA

AUTONOMOUS DIAGNOSTICS OF SWITCHES AND CROSSINGS BASED ON SENSING THE DYNAMIC RESPONSE OF THE PASSING VEHICLE

Lukáš RAIF, Petr NAVRÁTIL, Michal VYHLÍDAL, Otto PLÁŠEK[*)]

1 ÚVOD

V roce 2020 bylo započato s řešením projektu Výhybka 4.0. Podobnost názvu projektu s aktuálně často zmiňovaným Průmyslem 4.0 není náhodná. Cílem projektu je konvenční železniční výhybku jako produkt přizpůsobit potřebám přicházející čtvrté průmyslové revoluce, tzn. vyvinout železniční výhybku budoucnosti. Tu si lze zjednodušeně představit tak, že se bude schopna v první fázi pomocí instalovaných senzorů autonomně diagnostikovat a vyslat případné upozornění na nutnost údržbového zásahu dříve, než dojde k poruše, která by mohla významně ovlivnit železniční provoz.

Účastníci konsorcia projektu jsou český výrobce výhybek DT – Výhybkárna a strojírna, a.s., Vysoké učení technické v Brně, Univerzita Pardubice a společnost RETIA, a.s. První myšlenky o diagnostickém zařízení výhybky vznikly ale již dříve před započetím tohoto projektu, a to za řešení grantového projektu Shift2Rail s akronymem S-CODE (plným názvem Switch and Crossing Optimal Design and Evaluation; www.s-code.info), jehož širšího mezinárodního konsorcia byly první tři uvedené subjekty rovněž členy. V tomto projektu, který řešil celkově radikálně nové způsoby řešení výhybek a výhybkových konstrukcí, byly identifikovány první myšlenky o samodiagnostice a samoléčení výhybek. Jelikož se téma zdálo jako velice perspektivní, bylo po skončení tohoto projektu v roce 2019 následně založeno ryze české konsorcium, které navázalo na řešenou problematiku a se svým návrhem projektu Výhybka 4.0 uspělo v soutěži v první výzvě programu Doprava 2020+ Technologické agentury ČR.

[*)] **Ing. Lukáš RAIF, Ph.D.,** DT – Výhybkárna a strojírna, a.s., Kojetínská 4750/6 79601 Prostějov, Česká republika, +420 702 153 485, raif@dtvs.cz, výzkumný, vývojový pracovník – vedoucí skupiny 1.

Ing. Petr NAVRÁTIL, DT – Výhybkárna a strojírna, a.s., Kojetínská 4750/6 79601 Prostějov, Česká republika, +420 725 554 099, navratil.petr@dtvs.cz, výzkumný, vývojový pracovník - elektrotechnik (sk. 2).

Ing. Michal VYHLÍDAL, DT – Výhybkárna a strojírna, a.s., Kojetínská 4750/6 79601 Prostějov, Česká republika, +420 606 094 761, vyhlidal@dtvs.cz, výzkumný, vývojový pracovník (sk. 1).

doc. Ing. Otto PLÁŠEK, Ph.D., Ústav železničních konstrukcí a staveb, Fakulta stavební, VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, +420 5 4114 7320, otto.plasek@vut.cz, vedoucí ústavu; pedagogický a vědecký pracovník.

2 CÍLE A OBECNÝ PRINCIP

2.1 Cíle projektu

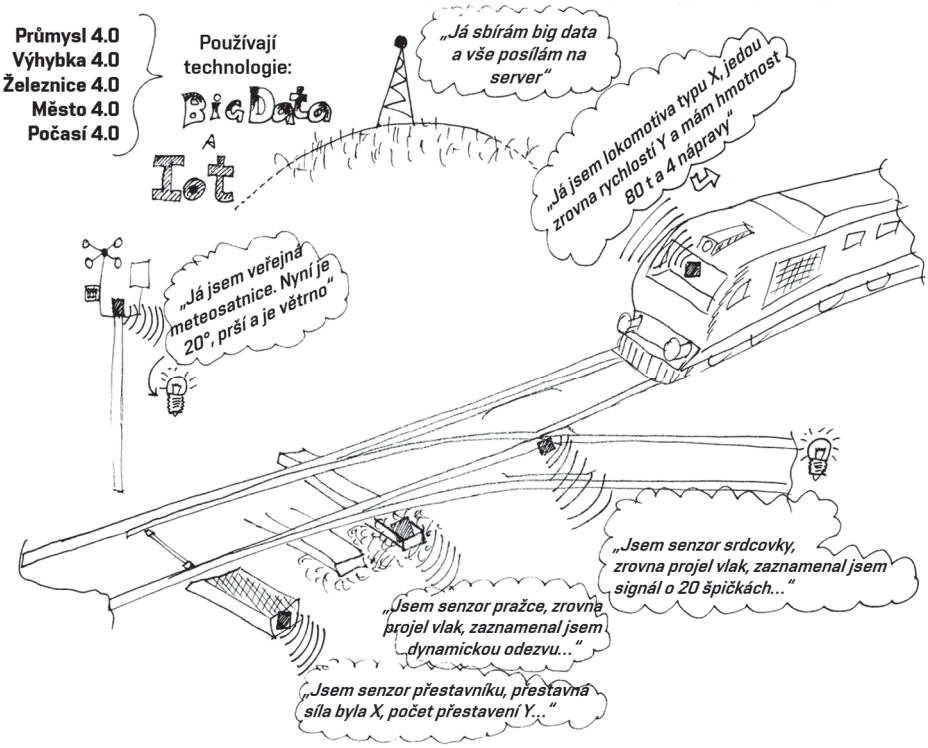
Činnosti realizované v rámci projektu jsou zaměřeny zejména na vývoj inteligentního autonomního diagnostického systému pro výhybky. Předpokládá se použití systému jak do výhybek konvenčních, které se dnes vkládají např. do koridorových tratí, tak výhledově i pro výhybky instalované do vysokorychlostních tratí. Zjišťování provozního stavu výhybek zatím nezahrnuje využití současných trendů a možností techniky. Spoléhá především na zkušené pracovníky, kteří na základě ručního měření, doplněných o vybraná data z měřicích vozů, hodnotí stav výhybek a plánují údržbové zásahy, což je málo efektivní a bez možnosti automatizace, centralizace a predikce. Zjednodušeně řečeno je tedy řada parametrů sledována pracovníky dráhy osobně vizuálně na místě, případně jednoduchými měřicími prostředky. Některé veličiny pak lze také vysledovat z dat poskytovaných z měřicích vozů železničního svršku, které výhybku pravidelně projíždějí a měří. Diagnostika stavu výhybky je tedy v dnešním pojetí z větší části závislá na lidském faktoru, na jeho vnímání a předchozích zkušenostech a často bez možnosti fundovaně předpovídat budoucí vývoj případných poruch. Vyvíjené zařízení v projektu Výhybka 4.0 předpokládá významnou eliminaci lidské činnosti přímo na výhybkách. Tímto se díváme také do budoucnosti železničních drah v ČR, jelikož na vysokorychlostních tratích nebude ani možné, aby do koleje za účelem běžné kontroly vstupovali zaměstnanci správce infrastruktury obdobně, jak je tomu u dnešních konvenčních tratí. Takový diagnostický systém bude tedy pro budoucnost železnic tak či onak zcela nezbytný.

Velký důraz při vývoji zařízení je pak kladen na možnost prediktivního zjišťování stavu výhybky, čehož není člověk zcela objektivně při stávajících způsobech měření schopen. Prediktivní údržba, tedy údržba plánovaná dopředu a cíleně na konkrétní zhoršující se parametr ve výhybce, znamená velkou úsporu nákladů pro správce, jelikož tyto systémy budou moci velice efektivně naplánovat dopředu potřebné údržbové zásahy, které budou minimalizovat nutnost výluk a omezení provozu. Prediktivní údržba bude také znamenat významnou eliminaci náhlých poruch znamenajících obvykle několikahodinová přerušení provozu. V první fázi je projekt zaměřen na zjišťování a předvídání následujících parametrů. Stav ojetí (opotřebení) kritických dílů výhybky (tj. např. pohyblivých jazyků a pevných srdcovek) a stav geometrie koleje ve výhybce. Jazyky jakožto pohyblivý díl ve výhybce, který určuje směr jízdy vlaku, trpí velmi ojetím a vydrolením materiálu v blízkosti hrotů, kde je dvojkolí naváděno do příslušného směru. Srdcovka (zejména pevná), je také kritickým místem výhybky, jelikož se jedná o místo s výskytem velkých dynamických rázů; lze dokonce říci, že po eliminaci stykované koleje je to místo na dynamické děje nejkritičtější z celé konstrukce železničního svršku. Proto je také oblast srdcovky velmi náročná na údržbu, a to nejen z pohledu ojetí materiálu, ale také s rozpadem geometrie koleje v této oblasti. Projekt tedy cílí na identifikaci poruch v oblasti srdcovky a oblasti jazyků. Cílem je tak s dostatečným předstihem optimálně předvídat nutné údržbové zásahy jako broušení, navařování či přímo potřebu výměny pevné srdcovky, nebo potřebu podbití (úprava geometrie koleje ve výhybce).

2.2 Obecný princip

Základním principem pro zjišťování a predikci výše uvedených poruch je snímání stěžejních dynamických veličin při průjezdu kolejových vozidel přes oblast srdcovky, výměny a oblast mimo výhybku pomocí komerčních či vyvinutých senzorů. Kromě zajištění sběru, přenosu a uložení měřených dat z každé výhybky vstupuje do hry významná činnost projektu, a to práce s nasnímanými signály pomocí pokročilých analytických metod – algoritmů umělé inteligence a strojového učení. Po vyhodnocení signálu je potřeba v poslední fázi informace o stavu výhybky přenést na koncového uživatele – správce železniční infrastruktury. Zde je nutné vhodnou formou prezentovat zjištěné informace o

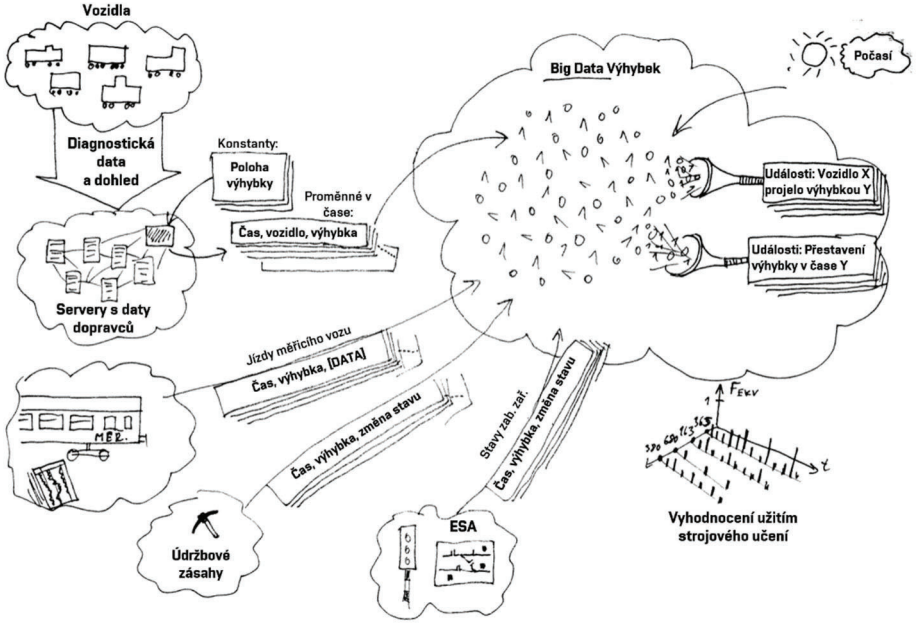
stavu výhybky a o případné potřebě údržbového zásahu. I tuto problematiku je potřeba vyřešit v rámci tohoto projektu. Uvažuje se také o možnosti přímého zapracování prezentace dat do dispečerských systémů správce infrastruktury. Jednoduše, dispečeři infrastruktury by tedy viděli v rámci svého systému informace o stavu výhybek, do nichž byl implementován diagnostický systém. Je možné také alternativně uvažovat s možností, že by správce infrastruktury poskytoval informace pro hodnocení stavu výhybky, které má k dispozici (např. vybraná data z měřicích vozů nebo informace o provedených údržbových zásazích na výhybkách), což by ve fázi vyhodnocení mohlo přispět ke zpřesnění analýzy pomocí strojového učení. [1]



Obr. 1 *Princip práce s daty v rámci projektu Výhybka 4.0*
Fig. 1 *The principle of using data in the project Turnout 4.0*

Předchozí ***obr. 1*** prezentuje úvodní ideu projektu, kdy do hodnocení v rámci Výhybky 4.0 budou do hodnoticích algoritmů vstupovat data i z dalších pokročilých systémů, využívajících technologie průmyslu 4.0, tzn. data od výrobců výhybek, potažmo od výrobců komponentů výhybek. Může se jednat také o data vstupních materiálů komponentů výhybky, informace o typu výhybky, konstrukčním řešením apod. Dále do hodnoticích algoritmů mohou vstupovat data o počasí, tj. aktuální teplota, srážky, vlhkost vzduchu apod. V neposlední řadě se předpokládá možnost využití dat i z budoucích chytrých železnic (na obrázku uvedeno jako Železnice 4.0), což je nějaký předpokládaný systém, v němž by byly zaznamenány všechny informace ohledně údržbových zásahů výhybek, dat z měřicího vozu apod. Samotná Výhybka 4.0 je potom v rámci tohoto obrázku prezentována senzory umístěnými na výhybce, které poskytují signály dle typu instalovaného senzoru měřené na konkrétním komponentu výhybky, na němž jsou umístěny.

Princip předpokládaného použití a toku dat pro hodnocení stavu výhybky je patrný ze schématu na ***obr. 2***.



Obr. 2 *Princip toku a použití dat v rámci projektu Výhybka 4.0*
Fig. 2 *The principle of data flow in the Turnout 4.0 project*

V rámci projektu se nezaměřuje činnost pouze na způsob diagnostiky, kdy infrastruktura kontroluje infrastrukturu (tj. vyvíjené zařízení DISC-S), ale i na způsob, kdy jedoucí kolejové vozidlo kontroluje infrastrukturu (tj. vyvíjené zařízení DISC-M). Zařízení umístěné na vozidle rovněž pracuje na principu snímání charakteristických dynamických veličin a jejich přiřazení ke konkrétním výhybkám v železniční síti. Výsledky primárního zpracování signálů a dat z měření vstupují do analýzy metodami umělé inteligence a strojového učení, což doplní uvedený systém snímačů instalovaných ve výhybce a zpřesní výsledky analýzy.

V průběhu řešení projektu je úzce spolupracováno s českým správcem železniční infrastruktury – Správou železnic, státní organizací. Dále jsou informace prezentovány zástupcům Ministerstva dopravy ČR. Tyto dvě organizace jsou do projektu začleněny jako aplikační garanti, předpokládá se tedy, že systém bude vytvořený zejména pro budoucí potřeby Správy železnic, případně také Železnic Slovenskej republiky. Vzhledem k modulárnímu řešení jednotlivých prvků celého procesu snímání, přenosu dat, hodnocení a prezentace lze ale rovněž předpokládat možné přizpůsobení systému i dalším správcům železniční infrastruktury.

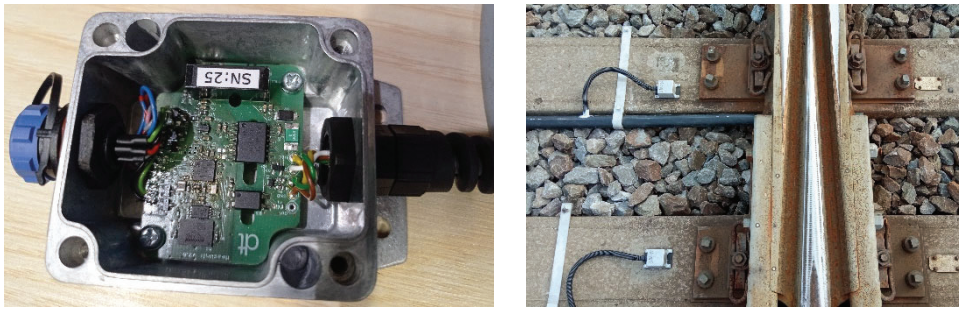
3 SNÍMAČE DISC-S PRO HODNOCENÍ

Stěžejní pro veškeré hodnocení na principu popsaném výše jsou snímače instalované na výhybku (jako součást systému DISC-S), potažmo i na vozidlo (DISC-M). Z hlediska snímačů pro systém DISC-S byl kladen velký důraz na jejich vývoj, protože je v první řadě potřeba, aby v náročném železničním provozu obstály. Dalším požadavkem

byla ekonomičnost použitých snímačů tak, aby mohly být v budoucnu masověji použity a aby případnému většímu rozšíření tohoto zařízení nebránila ekonomická stránka věci. Pro hodnocení na výhybce bylo výzkumem zjištěno, že nejúčinnější pro následnou práci s daty bude snímání zrychlení vibrací a poměrného přetvoření na kolejnici. Dále bylo potřeba vyvinout související techniku, která bude sloužit pro další zpracování signálu (datový koncentrátor s komunikačním modulem).

3.1 Snímače zrychlení vibrací

Základními snímači pro hodnocení stavu výhybky jsou akcelerometry, jedná se tedy o snímače pro měření zrychlení vibrací. Zachycují rychlé dynamické průběhy, proto musí být vzorkovací frekvence alespoň 10 kHz. Stejně tak je nutné vhodně zvolit měřicí rozsah akcelerometru. Akcelerometry určené na pražce jsou vhodné s rozsahem měření do ±200 g. Naopak pro akcelerometry umístěné na kolejnici je nutné zvolit měřicí rozsah alespoň ±500 g. Na základě testování jednotlivých typů cenově dostupných akcelerometrů byl vybrán jako vhodný typ jednoosý akcelerometr od firmy TE Connectivity modelová řada 3038, který nabízí rozsahy měření od 50 g až po 6000 g. Tento typ akcelerometru neobsahuje vnitřní zesilovač a v případě přebuzení měřícího rozsahu pouze limituje naměřenou hodnotu a ihned pokračuje v měření bez saturace. Tohoto jevu je využíváno především pro akcelerometry umístěné na kolejnici. Jelikož výrobce tento typ akcelerometrů nabízí pouze jako jednoosý, je tudíž nutné pro měření vibrací ve více směrech umístit více akcelerometrů. Pro snímání dynamických jevů na pražci postačuje od stejného výrobce modelová řada 830M1, která nabízí stejné měřicí rozsahy v tříosém provedení, ale s již zabudovaným zesilovačem. K těmto akcelerometrům byly navrhnuty desky plošných spojů, vhodné pouzdro a zhotoveno přímo v DT včetně ovládacího softwaru (viz ***obr. 3***).



Obr. 3 *Vyvinutý akcelerometr pro použití v oblasti srdcovky*
Fig. 3 *Developed accelerometer for use in crossing area*

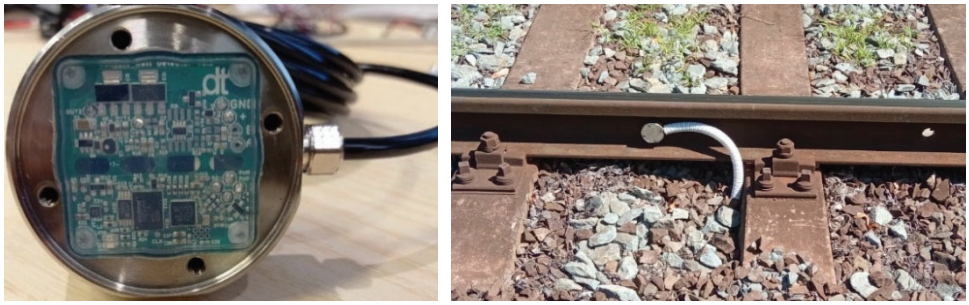
Snímač určený pro kolejnici je zmenšený z důvodu umístění na patu kolejnice, či stojinu. Řídicí elektronika je stejná pro snímač na kolejnici i pro snímač na pražci. Umístění řídicí elektroniky je na nejbližším pražci v kovové krabičce stejně pro snímače pro měření na pražci i pro měření na kolejnici. Propojení je provedeno pomocí krátkého kabelu. Umístění snímače na stojinu se provede přišroubováním na nalepenou nerezovou podložku. Okolí podložky je zatěsněno proti vlhkosti pomocí tekutého kovu. Řídicí elektronika splňuje požadavek na elektrické oddělení, tedy elektrickou pevnost 4 kV. Rovněž není použito napájecí napětí přesahující 12 V. Stupeň krytí u použitých senzorů je IP65.

3.2 Snímače poměrného přetvoření

Jako další snímače vhodné pro potřeby diagnostiky výhybek byly shledány snímače na bázi měření poměrného přetvoření, tedy tenzometry. Vyvinutý tenzometr je kruhového (kónického) tvaru a je navržen pro použití ve stojině kolejnice. Pro umístění tenzometrického snímače je nutné předem vyvrtat díru o průměru 30 mm do neutrální osy

kolejnice. Tyto snímače slouží primárně jako trigrovací senzory celého senzorického systému a budou sloužit i pro upřesnění typu vozidla, které výhybkou projelo a jakým směrem. Pomocí vzdálenosti dvou senzorů se zjistí jednoduše i rychlost vozidla.

Provedení senzorů je na ***obr. 4***. Stínění v tomto případě není připojeno, což vychází z požadavku na elektrické oddělení. Uvnitř senzoru jsou tenzometry zapojené do plného mostu. Výstup senzoru je realizován po sběrnici 485. Napájení tohoto senzoru je v rozsahu 10 – 30 V DC. Elektrické oddělení je zde rovněž 4 kV.



Obr. 4 *Vyvinutý tenzometr pro použití za účelem diagnostiky oblasti srdcovky*

Fig. 4 *Developed strain gauge sensor for diagnostic system in crossing area*

3.3 Datový koncentrátor a komunikační modul

Datový koncentrátor a komunikační modul slouží pro uložení dat záznamů jednotlivých průjezdů pořízených senzory po komunikační sběrnici a pro napájení senzorů. Naměřená data stáhne ze senzorů, předzpracuje a uloží na SD kartu. Předzpracovaná data rovněž odešle pomocí LTE modemu na server do připravené databáze. Datový koncentrátor je umístěn z důvodu nižšího krytí v rozvaděčové skříni.

Jelikož sensory stacionárního zařízení DISC-S jsou koncipovány pro kontinuální měření v režimu relativně nízké spotřeby, nedisponují dostatečným výkonem pro pokročilé zpracovávání dat a přímý přístup do internetu. Z tohoto důvodu byl navržen komunikační modul ve výhybce, jehož primárním úkolem je získávat z těchto sensorů naměřená data, vzorky poté vyhodnotit a následně zapsat výsledek do sdílené databáze. Přesto, že prvotní varianta předpokládá pouze základní předzpracování dat s odesláním celého datového souboru na cloudové úložiště, kde se o zpracování postará neurální síť, je třeba uvažovat i výpočetně náročnější možnost s kompletním lokálním vyhodnocením.

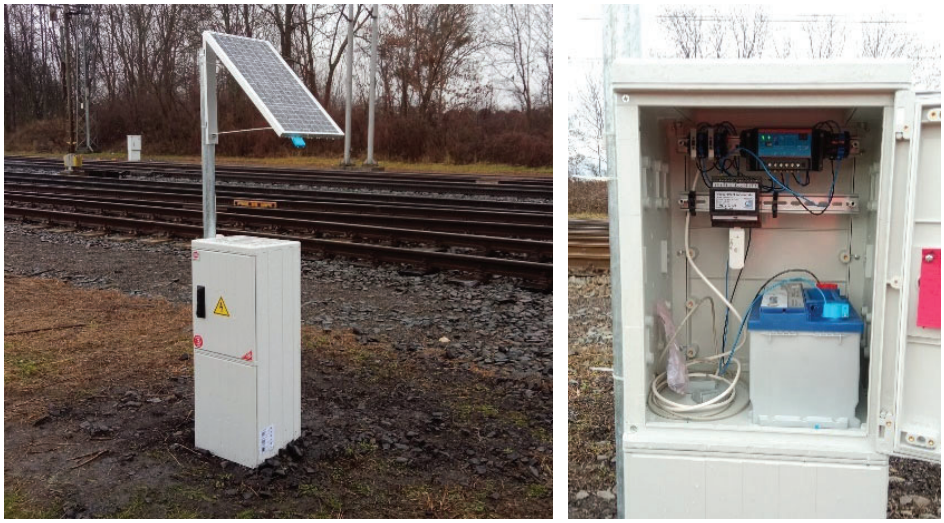
Z těchto požadavků vyplývá, že komunikační modul musí disponovat rozhraním pro připojení měřicích sensorů systému DISC-S, rozhraním zajišťujícím přístup k internetu a v neposlední řadě vyšším výpočetním výkonem, umožňujícím zpracovat naměřená data. To vše se musí vměstnat do relativně malého prostoru rozvaděče stacionárního zařízení DISC-S. Jelikož je celý systém koncipován jako „ostrovní“, napájený z bateriového zdroje a nabíjený solární energií, bude také jeden z požadavků zachování nízké spotřeby. Výše uvedené úvahy proto vylučují jakýkoliv průmyslový počítač, který by byl na tyhle činnosti perfektně uzpůsoben, avšak za cenu velkého příkonu v řádu desítek wattů. Výběr tedy padl na mikropočítače z rodiny Raspberry Pi.

3.4 Rozvaděč zařízení DISC-S

Rozvaděč je umístěn v blízkosti sledované výhybky, konkrétní poloha rozvaděče může být přizpůsobena dle požadavků konkrétní lokality. Rozvaděč je lehké konstrukce, nevyžaduje betonový základ a je tedy snadno instalovatelný a rovněž snadno demontovatelný. Požadavkem bylo, aby byl systém ostrovní, nevyžaduje tedy žádné další napojení rozvaděče na další sítě. Dobíjení baterie je zajištěno instalovaným solárním

panelem, který je součást zařízení. Jedná se tedy o ekologické řešení bez nároků na odběr elektrické energie ze sítě. Samotný rozvaděč je plastový s krytím IP54.

V rozvaděči je umístěn komunikační modul a řídicí elektronika. Další funkcí rozvaděče je vytvoření napájecího zázemí pro subsystém DISC-S. Významný prostor rozvaděče zabírá baterie, jejíž kapacita je navržena tak, aby systém DISC-S v případě přerušení dobíjení ze solárního panelu vydržel týden bez problémů pracovat. Fotografie rozvaděče včetně pohledu dovnitř jsou uvedeny na ***obr. 5***.



Obr. 5 *Rozvaděč pro subsystém DISC-S, pohled na celkové uspořádání v kolejišti vč. solárního panelu (vlevo) a pohled dovnitř (vpravo)*

Fig. 5 *Switchboard for the DISC-S subsystem, view of the overall layout in the track including the solar panel (left) and view inside (right)*

4 NAVAZUJÍCÍ PRVKY SYSTÉMU

Tok dat a práce s daty od snímačů a souvisejících zařízení popsaných v předešlé kapitole je následující. Z datového koncentrátoru jsou data posílána prostřednictvím GSM modulu do připravené databáze. Do stejné databáze jsou posílána data i z vozidla, to je ze subsystému DISC-M. Z databáze si už mohou dle potřeby brát nasnímaná data také vyvíjené vyhodnocovací softwary. Po provedeném vyhodnocení příslušného signálu softwarem je do databáze vrácena informace vyhodnocení stavu výhybky pro příslušný signál. Posledním krokem v řetězci je pak zobrazení výsledků v rozhraní pro uživatele, což je aktuálně demonstrováno prostřednictvím modulu Kontrolně analytického centra Správy železnic.

4.1 Databáze

Spolu se získáváním dat na výhybce bylo nutné vytvořit systém pro přehledné zpracování a třídění získaných dat. Pro naměřená data ze zařízení vznikla databáze DISC-S, která obsahuje základní metadata o jednotlivých měřících záznamech.

Druhá databáze s názvem DISC obsahuje dostupné informace o měřených výhybkách, jejich parametrech a seznam známých údržbových záznamů, včetně provedených manuálních měření na výhybce. Tato databáze je i sdílena s databází pro systém DISC-M (Diagnostics of Switches and Crossings – Mobile), která slouží pro uložení dat získaných z vozidla, které výhybkou projelo. Do databáze DISC se budou následně

i ukládat vyhodnocená data z algoritmů umělé inteligence strojového učení, která se zobrazí v uživatelském rozhraní a zobrazí tak stav výhybkové konstrukce.

Databáze je aktuálně umístěna na serveru DT a pomocí zabezpečené komunikace přes VPN jsou připojeny jednotlivé komunikační moduly ve výhybkách. Do budoucna lze v případě požadavku zákazníka umístit databázi i na server uživatele.

4.2 Vyhodnocovací software

Data uložená v databázi je potřeba následně zpracovat. Samotné zpracování dat je rozděleno do několik na sebe navazujících operací s daty tak, aby bylo možné kvantifikovat technický stav výhybky. Po kontrole dat záznamu, vztahujících se k průjezdu vlaku, je první operací identifikace části záznamu. V první fázi je soustředěno vyhodnocení na signály pouze z lokomotiv a z rozeznatelných ucelených souprav (např. Pendolino, Stadler Flirt apod.). V případech, kdy není bezpečně rozpoznatelný druh vozidla, je takový záznam vyřazen. Následně je podroben záznam analýze, zaměřené na identifikaci řady hnacího vozidla. K tomu byl vyvinut modul TIS (Train Identifiction System). Část záznamu je pak upravena tak, aby bylo možné ji zpracovat vybraným algoritmem umělé inteligence nebo strojového učení. V současné době je porovnávána efektivita algoritmů umělé inteligence (neuronové sítě, náhodný les) a metoda podpůrných vektorů (Support Vector Machine). Je možné, že výsledný algoritmus bude založen na kombinaci výsledků více algoritmů. Následně jsou vypočítané kvalifikace stavu srdcovky pomocí Bayesovské statistiky korigovány s ohledem na předchozí vývoj technického stavu srdcovky a na předchozí provozní zatížení (stáří konstrukce). [2, 3]

4.3 Zobrazení výsledků

Lze říci, že prvkem, který bude reprezentovat celé zařízení, je právě řešení rozhraní mezi diagnostickým systémem a koncovým uživatelem. Jedná se totiž o vizuální zobrazení veškerých informací, které jsou výstupem diagnostického systému. Nabízejí se různé způsoby, jak by bylo možno principiálně zobrazení výsledků koncovému uživateli řešit. Buď může být vyvinuta webová aplikace, která po přihlášení uživatele zobrazí požadované informace. Výhodou této možnosti je velká univerzálnost, jelikož by bylo možné s aplikací pracovat na každém zařízení připojeným k internetu. Tato výhoda může být vnímána také ale jako nevýhoda, protože zobrazovaná data jsou určena pouze pro správce infrastruktury. Další možností je implementace zobrazení do stávajícího systému správce infrastruktury. Touto cestou se šlo v rámci projektu. Motivací bylo udělat zobrazení informace pro koncového uživatele co nejpřívětivější. Proto bylo přistoupeno k vývoji modulu „Výhybka“ aktuálně používaného dispečerského systému KAC (Kontrolně analytické centrum), což je produkt firmy RETIA, která je přímo členem konsorcia projektu. Případný uživatel Správa železnic by tedy v případě zájmu měl diagnostiku výhybek přímo implementovánu do systému, který běžně používá.

Co se týče zobrazovaných informací koncovému uživateli – manažerovi železniční infrastruktury –, předpokládá se, že základem bude zobrazení mapy železniční sítě. V ní budou vyznačeny jednotlivé výhybky vybavené vyvíjeným diagnostickým systémem. Uživatel si bude moci tedy výhybku vybrat klikem přímo na značku výhybky na mapě nebo případně vybrat konkrétní výhybku ze seznamu. V první fázi bude zobrazena pouze globální informace o aktuálním stavu výhybky, a to prostřednictvím buď procentuálního vyjádření nebo prostřednictvím „semaforu“ (indikátor zelená – žlutá – červená). Toto je však pouze první krok. Jakmile bude vyhodnocovací software poskytovat přesnější data, bude rozšiřováno i zobrazení informací. Vrcholným stavem, kterého však nebude možno docílit v průběhu aktuálně řešeného projektu, by mělo být zobrazení nejen technického stavu výhybky „semaforem“, ale měly by tam být informace o jednotlivých provozních parametrech, a to včetně grafického znázornění průběhu stavu výhybky, resp. konkrétního parametru v čase, včetně predikce vývoje stavu do budoucna.

5 ZÁVĚR

Projekt, v rámci něhož je představený způsob diagnostiky výhybek vyvíjen, je aktuálně ve svém posledním roce řešení. Hlavním cílem projektu je demonstrovat, že lze docílit diagnostiky výhybek tímto způsobem a že bude možno po následném odladění systému, případně po rozšíření oblastí zájmu v rámci výhybky o další prvky, provádět autonomně moderní diagnostiku celých výhybek, a to včetně predikce stavu. V projektu Výhybka 4.0 bylo úsilí soustředěno zejména na diagnostiku oblasti pevné srdcovky, jelikož se jedná o místa s největšími dynamickými účinky. Výměnová část zůstala mírně upozaděna. V rámci řešení subsystému DISC-S, resp. vývoje snímačů, se musel řešitelský tým vypořádat s celou řadou problémů vycházejících jednak z velkého dynamického zatížení srdcovek, jednak také z extrémních klimatických podmínek vyskytujících se na výhybkách. Podařilo se navrhnout snímače takové, které v těchto těžkých podmínkách obstojí. Do budoucna je snaha rozšířit diagnostiku také na pohyblivé části výhybek, tedy na výměnové části výhybek (jazyky) a na srdcovky s pohyblivými hroty (PHS). Tato problematiku bude řešena buď samostatným grantovým projektem nebo v rámci interního projektu DT.

Poděkování

Článek byl zpracován za podpory programu Doprava 2020+ Technologické agentury České republiky (TA ČR) v rámci projektu Výhybka 4.0, číslo projektu CK01000091.

Literatura

[1] RAIF, L. Chytrá železniční výhybka pro budoucí i současné české železnice. Technický týdeník. 2021, roč. 69 č. 17, s. 18-19. ISSN 0040-1064. **[2] KRČ, R.; PODROUŽEK, J.; KRATOCHVÍLOVÁ, M.; VUKUŠIČ, I.; PLÁŠEK, O.**: Neural Network-Based Train Identification in Railway Switches and Crossings Using Accelerometer Data. JOURNAL OF ADVANCED TRANSPORTATION, 2020, roč. 2020, č. 1, s. 1-10. ISSN: 0197-6729. **[3] KRČ, R.; PODROUŽEK, J.; VUKUŠIČ, I.; PLÁŠEK, O.**: Data pre-processing effect on classification accuracy of convolutional neural networks for train type identification. Computational Science and AI in Industry (CSAI 2021). 2021. s. 1 (1 s.).

♠ ♠ ♠

Resumé

Od roku 2020 probíhá vývoj autonomního zařízení určeného pro prediktivní diagnostiku výhybek a výhybkových konstrukcí v rámci projektu Výhybka 4.0 (TAČR, program Doprava 2020+). Principem je snímání signálů ze snímačů instalovaných na výhybce i na vozidle a následné zpracování signálů metodami strojového učení a umělé inteligence. Výsledkem je informace o stavu výhybky, která bude zprostředkována manažerovi železniční dopravní cesty.

V článku byla představena obecná filozofie autonomní diagnostiky výhybek vyvíjená v rámci projektu Výhybka 4.0. Byly uvedeny obecné principy přístupu k této problematice a práce s daty. Podrobně byly představeny snímače a související zařízení pro subsystém, kdy infrastruktura kontroluje infrastrukturu, tj. DISC-S. Dále byly zevrubně popsány následující prvky celého systému, tedy databáze, vyhodnocovací software a zobrazení výsledků koncovému uživateli.

Summary

Since 2020, the development of an autonomous device designed for predictive diagnostics of switches and crossings has been in progress within the project Turnout 4.0 (TAČR, Doprava 2020+ programme). The general principle is to capture signals from sensors installed on the turnout and on the bogie of passing vehicle and then process the signals using machine learning and artificial intelligence methods. The result is information about the state of the turnout, which will be available for the railway manager.

The general philosophy of autonomous turnout diagnostics developed within the Turnout 4.0 project was presented in this paper. The general principles of the approach to this problem and the work with data were presented. Sensors and related equipment for the subsystem where the infrastructure diagnoses the infrastructure, i.e. DISC-S, were presented in detail. Furthermore, the following elements of the whole system were described briefly, i.e. the database, the evaluation software and the display of the results to the end user.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.23

JÍZDA PO OKOLKU KOLEJOVÝCH VOZIDEL VE VÝHYBKÁCH A VÝHYBKOVÝCH KONSTRUKCÍCH

FLANGE RUNNING OF RAILWAY VEHICLES IN SWITCHES AND CROSSINGS

Lukáš RAIF*), Miloslav KLEMENT, Vladimír HUŇKA, Libor VÝMOLA

1 ÚVOD

Společnost DT – Výhybkárna a strojírna, a.s. (dále jen DT) vyvinula a následně v roce 2020 vyrobila výhybku určenou pro kolejová rozvětvení do odvrtaných kolejí. Tato výhybka byla v počtu jednoho kusu následně vložena do žst. Šakvice a později do žst. Adamov. Pro tuto výhybku ustálilo označení odvratná výhybka. Tato výhybka se vyznačuje upravenou srdcovkou, v níž se železniční vozidlo při jízdě odvratnou větví pohybuje v malém úseku jízdou po okolku. V souvislosti s touto skutečností vyvstaly diskuse, zda železniční vozidlo může vůbec regulérně projíždět kolejovými objekty po okolku kola. Tento článek proto shrnuje, kde se prakticky jízda po okolku i u železničních aplikací vyskytuje. Dále také pro úplnost stručně shrnuje jízdu po okolku u tramvajových drah, kde je to běžná záležitost. V článku je rovněž část textu věnována podrobnější informaci ke zmíněné odvratné výhybce, která se začíná postupně používat do stavebních projektů.

2 JÍZDA PO OKOLKU ŽELEZNIČNÍCH DRAH

Z pohledu infrastruktury má kolejnice, potažmo celý kolejový rošt, funkci nosnou a vodící. Železniční kolo potom má všeobecně známý tvar, a z pohledu vozidla musí zajišťovat také nesení i vedení vozidla. U železničního vozidla potom rozlišujeme část kola, tzv. jízdní plochu, která má funkci nesení vozidla (resp. částečně i vedení prostřednictvím kuželovitého tvaru jízdní plochy) a část nazývanou okolek, který je vnímán pouze jako prostředek pro vedení dvojkolí v obloucích, v nichž není možné docílit přirozeného vedení středěním, resp. zatáčení vozidla, vycházejícího z kuželovitosti kol. Dnes je vnímána jízda po okolku u železničních vozidel jako nežádoucí, až nepřípustná, proto jsou zde uvedeny i příklady z minulosti, kdy byla jízda po okolku vozidla běžně aplikována.

*) **Ing. Lukáš RAIF, Ph.D.,** DT – Výhybkárna a strojírna, a.s., Kojetínská 4750/6 79601 Prostějov, Česká republika, +420 702 153 485, raif@dtvs.cz, výzkumný, vývojový pracovník – vedoucí skupiny 1

Bc. Miloslav KLEMENT, DT – Výhybkárna a strojírna, a.s., Kojetínská 4750/6 79601 Prostějov, Česká republika, +420 601 391 763, klement@dtvs.cz, výzkumný, vývojový pracovník (sk. 1)

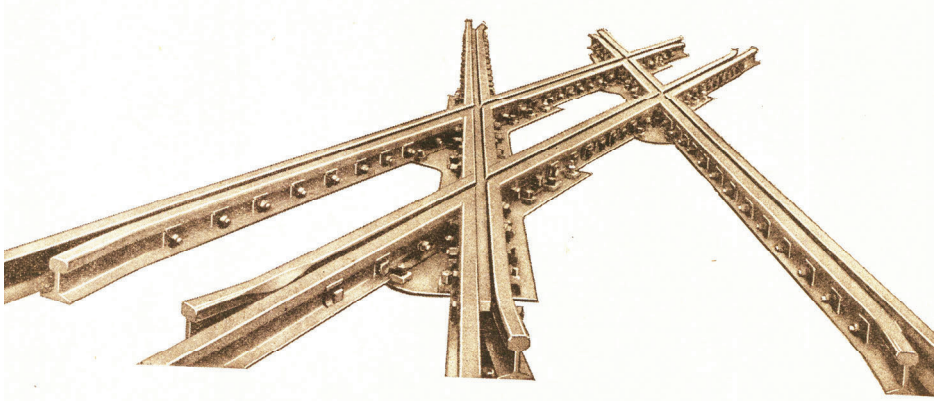
Ing. Vladimír HUŇKA, DT – Výhybkárna a strojírna, a.s., Kojetínská 4750/6 79601 Prostějov, Česká republika, +420 602 483 667, hunka@dtvs.cz, konstruktér (centrální konstrukce) – vedoucí skupiny

Ing. Libor VÝMOLA, DT – Výhybkárna a strojírna, a.s., Kojetínská 4750/6 79601 Prostějov, Česká republika, +420 720 989 504, vymolal@dtvs.cz, konstruktér

2.1 Kolejové křižovatky

Z tramvajových aplikací (viz dále) je známo, že pokud úhel křížení v srdcovce je velký a nedosáhne se požadované délky přechodové oblasti kola z hrotu na křídlovou kolejnici, aplikuje se tzv. mělký žlábek s jízdou po okolku, protože v případě použití standardního hlubokého žlábku by se kolo při jízdě v oblasti přechodu „propadlo“, což je naprosto nežádoucí stav z hlediska dynamického namáhání a z toho následně vycházejících enormních nároků na údržbu. Historicky se tento princip uplatňoval vcelku běžně i u železničních drah, často v souvislosti s vlečkovými dráhami, které vyžadovaly speciální konstrukce pro křížení kolejí, která byla někdy i téměř kolmá.

Řešení kolejové křižovatky s mělkým žlábkem je např. uvedena z dnešního pohledu již v historické literatuře [1], z níž je převzat i následující ***obr. 1***.



Obr. 1 *Kolejová křižovatka tvaru T pro položení na dřevěné pražce s konstrukčním řešením s mělkým žlábkem [1].*

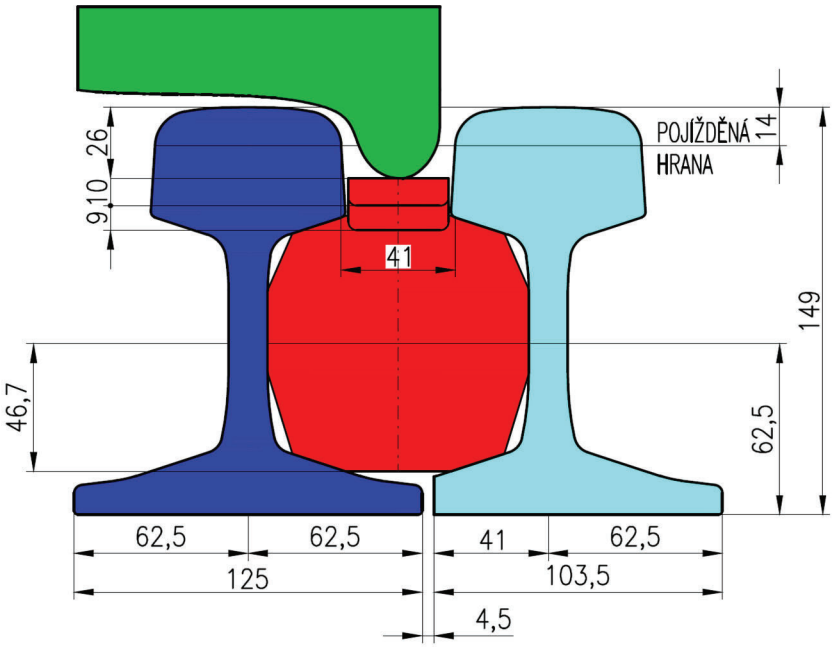
Fig. 1 *The diamond crossing made from rail profile „T“ intended for wooden bearers designed for flange running [1].*

Křižovatky tohoto konstrukčního provedení jsou dnes již spíše výjimkou, nicméně se dají obdobné křižovatky stále v železniční síti v ČR objevit. Jedna taková starší křižovatka tvaru KT 18° je dodnes např. v žst. Pardubice, viz ***obr. 2***. V poslední době potom dodalo DT kolejové křižovatky s konstrukčním řešením s jízdou po okolku následujících tvarů KS49-27°-d-K-Kx, KS49-20°-d-K-ZP-DZP-Kx, dále atypickou kolejovou křižovatku pro křížení kolejí širokého a normálního rozchodu pro žst. Čierna nad Tisou tvaru KS49-30°-d-K-1435/1520-Kx a dále více atypických vícerozchodných kolejových křižovatek pro vlečkovou kolej společnosti ŠKODA Transportation, a.s. v Plzni.

Kolejové křižovatky navržené pro jízdu po okolku se obvykle vyznačují následujícím konstrukčním zpracováním. Soustava železničního svršku je v současnosti výhradně S49, dříve byla velmi častá soustava železničního svršku T, případně také menší tvary kolejnic (A, Xa a další), a to zejména pro vlečky výrobních závodů. Přídržnice těchto kolejových křižovatek jsou pak často vyráběny rovněž ze standardního kolejnicového profilu téhož tvaru jako je pojížděná kolejnice. Taková přídržnice se nenadvyšuje, temena pojížděné kolejnice i kolejnice s funkcí přídržnice zůstávají ve stejné výšce. Šířka žlábku je obvykle 41 mm a standardní hloubka mělkého žlábku v železničních aplikacích je 26 mm. Mělký žlábek se zhotovuje ze středové vložky, pro jejíž výrobu se používá válcovaná čtvercová tyč 110 mm z oceli 11 800. Tyč je následně obráběna do požadovaného tvaru tak, aby mohla být vložena do spojkových komor kolejnic. Na vložce se zhotovuje náběh do mělkého žlábku ve sklonu 1:60 v délce 600 mm. Typický řez mělkým žlábkem s vloženým středně ojetým jízdním obrysem kola UIC-ORE je uveden na ***obr. 3***.



Obr. 2 *Kolejová křižovatka tvaru KT 18° v žst. Pardubice s mělkým žlábkem.*
Fig. 2 *The diamond crossing made of type KT 18° in the railway station Pardubice intended for flange running.*



Obr. 3 *Typický řez mělkým žlábkem železničních kolejových křižovatek s jízdou po okolku.*
Fig. 3 *The typical cross section of flat grooved area in railway diamond crossings with flange running design.*

2.2 Kolejové dráhy pro změnu rozchodu

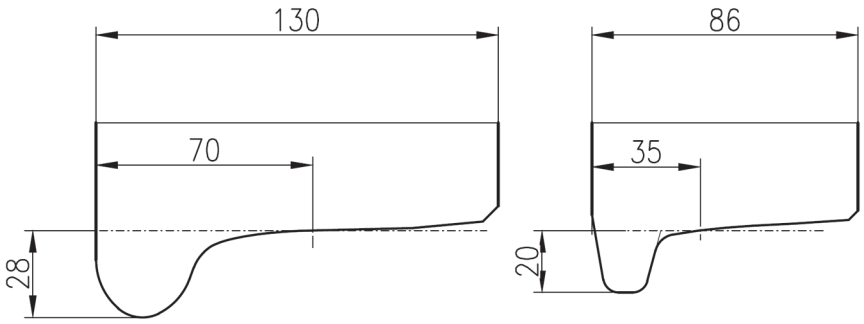
V dnešní době stále existují případy, kdy je potřeba měnit rozchod dvojkolí, a to většinou z normálního rozchodu na větší. Změnu rozchodu je možné provádět i pod zatížením. Vozidlo projíždí krátký úsek tratě velmi pomalou rychlostí, na kterém dojde ke změně rozchodu. Dochází k přemístění kola po nápravě z jedné aretované polohy do druhé. Přemístění dopomáhají přídržné kolejnice, které z obou stran kolo vedou a také uvolní aretaci. Aby byla zcela jasně vymezena poloha, ve které se kolo při změně rozchodu nachází, pak musí být dotykový bod kola s kolejnicí stále shodný. To umožňuje jízda po okolku v předem vytvořeném žlábku. Jedná se tak o jeden z dalších případů, kdy dochází k jízdě po okolku. Je nutné poznamenat, že se tak děje pouze v rámci desítek metrů a rychlostí do 10 km/h. Příkladem dvojkolí s měnitelným rozchodem je dvojkolí SUW 2000.

2.3 Shrnutí jízdy po okolku železničních drah

Jízda po okolku ve výhybkových konstrukcích železničních drah se vyskytuje zřídka, není ale až takovou výjimkou, jak by se mohlo zdát, a historicky se takové konstrukce vyskytovaly dokonce mnohem častěji. Z hlediska provozu by měla být při průjezdu těmito konstrukcemi snížená rychlost, protože dochází při nájezdu do mělkého žlábku ke změně charakteristik kontaktní geometrie. Kritický je zejména nárůst Δr funkce v okamžiku, kdy jedno kolo dvojkolí jede po jízdní ploše a opačné kolo dvojkolí jede po okolku. V tomto okamžiku má dvojkolí přirozenou tendenci zatáčet. Proto je průjezd sníženou rychlostní žádoucí, aby průjezd nevyvolal vznik nadměrných dynamických bočních sil, které by mohly vést k vyšplhání kola na pojížděnou kolejnici a k následnému vykolejení.

3 JÍZDA PO OKOLKU TRAMVAJOVÝCH DRAH

U tramvajových aplikací se jízda po okolku kola považuje za zcela regulérní způsob průjezdu v případech, kdy není zajištěno nesení kola na jízdní ploše. Tato situace nastává v tramvajových kolejových objektech relativně často. Jednak se v hojné míře vyskytují srdcovky s křížením o velkých úhlech, často i téměř kolmými, a jednak mají tramvajová kola mnohem menší šířku obruče (obvykle 86 – 100 mm), což použitelnost hlubokých žlábků ještě dále znesnadňuje z důvodu nedostatečné délky přechodové oblasti z hrotu na křídlovou kolejnici (resp. z hlavního na vedlejší hrot tramvajové srdcovky vyrobené z bloku). Vzhledem ke zmíněné vysoké frekvenci používání mělkých žlábků jsou k tomu i přizpůsobena kola. Jak je patrno z následujícího ***obr. 4***, typické tramvajové kolo má vrchol okolku zploštělý tak, aby vznikla při nesení okolkem větší kontaktní plocha. Železniční kolo má potom tvar okolku v příčném řezu zaoblený, což zmenšuje kontaktní plochu a vytváří v případě dotyku v zásadě typický Hertzův kontakt (kontakt dvou válcových ploch).



Obr. 4 *Porovnání typického železničního (vlevo) a tramvajového kola (vpravo).*
Fig. 4 *The comparison of typical heavy rail (on the left) and urban rail profile (on the right).*

4 KŘÍŽENÍ ŽELEZNIČNÍCH DRAH S TRAMVAJOVÝMI A PRŮMYSLOVÝMI

Zvláštní kapitolu z hlediska zkoumání problematiky jízdy po okolku tvoří křížení železničních drah s tramvajovými, případně i křížení železničních drah s jinými průmyslovými dráhami. Této problematice se věnovala podrobně např. také práce [2]. Historicky byly různé přístupy, jak vytvořit taková křížení. Velké množství křížení železničních regionálních a tramvajových drah se nachází např. v Olomouci. Časté jsou také křížení vleček s tramvajovými dráhami (např. Brno, Ostrava). Konstrukční řešení křížení těchto dvou systémů bývá často předmětem diskusí, jelikož naprosto ideální varianta se těžko hledá. Je potřeba zohlednit následující skutečnosti:

- křížení jsou o velkých úhlech křížení, často kolmá nebo téměř kolmá;
- tramvaje jsou vyloženě uzpůsobeny jízdě po okolku, železniční vozidla nikoliv;
- přerušení pojížděné plochy tak, aby vozidlo nebylo v některém místě neseno, je obecně nežádoucí.

Historicky vznikly následující způsoby konstrukčního řešení křížení železničních a tramvajových drah:

1. Křížení je provedeno hlubokou srdcovkou s přerušením nosné funkce jak u železničního směru, tak u tramvajového.
2. Železniční směr má nepřerušené nesení a vedení, tramvajový směr má přerušenou funkci nesení kola, přičemž žlábek překonává kolo jízdou po okolku.
3. Železniční i tramvajový směr má řešení s mělkým žlábkem, přičemž se u obou systému využije jízda po okolku.

Konstrukční řešení **křížení typu 1** má v zásadě pouze nevýhody. Funkce nesení není ani u jednoho systému zajištěna, vedení je obvykle zajištěno protilehlou přídržnicí (případně kolejnicí s funkcí přídržnice). Jelikož ale každé kolo do křižujícího žlábku „spadne“, a to jak ve směru železničním, tak ve směru tramvajovém, působí to velké dynamické namáhání, což extrémně snižuje životnost takových křížení. Často se vyskytovaly v oblasti železničních přejezdů s instalací tohoto systému křížení také významné poruchy krytu vozovky z důvodu rázů a vibrací vznikajících při průjezdu vozidel. Tento způsob nebyl ani komfortní pro kolejová vozidla obou systémů, a to jak z pohledu cestujícího, tak z pohledu dynamického namáhání podvozku vozidel. Rychlost v železničním i tramvajovém směru byla v těchto křížení velmi omezena (10 km/h). V současnosti se používá v menší míře. Existuje i varianta, kdy tramvajový směr je veden v mělkém žlábku a pouze v místě křižujícího žlábku železničního směru je přerušení. Křížení tohoto typu se aktuálně nachází např. v Brně na ulici Křenové na křížení tramvaje s posvitavskou vlečkou (varianta s mělkým žlábkem pro tramvaj s přerušením) nebo v Budapešti na ulici Üllői út (varianta s hlubokými žlábky pro tramvajový i železniční směr, viz ***obr. 5***).

Konstrukční řešení **křížení typu 2** je aktuálně velmi často používané. Železniční vozidlo v zásadě „nepozná“, že křižuje jinou dráhu, jelikož jsou v železničním směru nepřerušené pojížděné plochy, standardní hluboký žlábek a železniční vozidlo jede celou dobu po jízdní ploše kola obvyklým způsobem. Tramvaj naopak vystoupá mělkým žlábkem až na úroveň temene kolejnice železničního směru a jízdou po okolku překoná žlábek tvořený pro okolek železničního vozidla (viz ***obr. 6***). Tato varianta se jeví jako velice komfortní pro železniční provoz; pro tramvajový provoz ale příliš uspokojivý není a významné vylepšení jízdních vlastností se v tomto konstrukčním řešení pro tramvaj nevyskytuje. S ohledem na to, že tramvaj sice má kola přizpůsobena pro jízdu po okolku, je železniční žlábek, který musí kolo překonat, mnohem větší než obvyklý tramvajový a propad kola při průjezdu je velmi výrazný (i s ohledem na menší průměr tramvajového kola). Vzhledem k nižším hmotnostem tramvajových vozidel než železničních se vyskytují poruchy v tomto řešení méně než v prvním případě, nicméně ani zde není životnost těchto konstrukcí

příliš vysoká. Křížení tohoto typu se aktuálně nachází např. v Olomouci na všech křížení tramvají s železničními dráhami.



Obr. 5 *Konstrukční řešení křížení tramvaj/železniční dráha typu 1 (Budapešť).*
Fig. 5 *Design of tramway/railway crossing of type 1 (Budapest).*



Obr. 6 *Konstrukční řešení křížení tramvaj/železniční dráha typu 2 (foto ze stavby).*
Fig. 6 *Design of tramway/railway crossing of type 2 (photo taken during construction).*

Konstrukční řešení **křížení typu 3** se jeví jako nejvlídnější varianta z hlediska obou systémů. Jedná se o řešení, kdy se mělký žlábek vytvoří jak u systému železničního, tak

tramvajového. V tomto případě je potřeba se podrobně zaměřit na konstrukci žlábku, resp. hloubku žlábku a tvar žlábku. Každý systém má totiž jinou výšku okolku (viz ***obr. 4***). Při snižování hloubky žlábku zejména u železničního směru je zapotřebí důsledně kontrolovat kontaktní bod na okolku železničního kola s pojížděnou hranou, aby bylo zajištěno stálé příčné vedení. Pokud by byl žlábek příliš mělký a hrana pojížděné plochy příliš zaoblená, hrozilo by, že železniční kolo jedoucí po okolku vyšplhá na hlavu kolejnice z důvodu příčného kontaktu okolku v nevhodném místě (příliš nízko, tedy v bodě o malém úhlu tečny od svislice, tj. v nebezpečné zóně okolku dle EN 13232-3). Toto řešení by tedy mohlo být vhodné zejména pro tramvajové provozy, které používají jízdní obrysy bližší železničnímu jízdnímu obrysu, resp. s vyššími okolky (např. Ostrava). Snížená rychlost při průjezdu křížením bude v tomto případě u obou směrů (např. 20 km/h je omezení pro tramvajový směr v Ostravě), dynamické namáhání bude ale eliminováno u obou směrů na minimum. Problémem tohoto řešení často je, že se železniční správci snaží jízdě po okolku železničních vozidel vyvarovat. Křížení tohoto typu se aktuálně nachází např. v Ostravě na ul. Ruská a ul. 1. máje (viz ***obr. 7***).

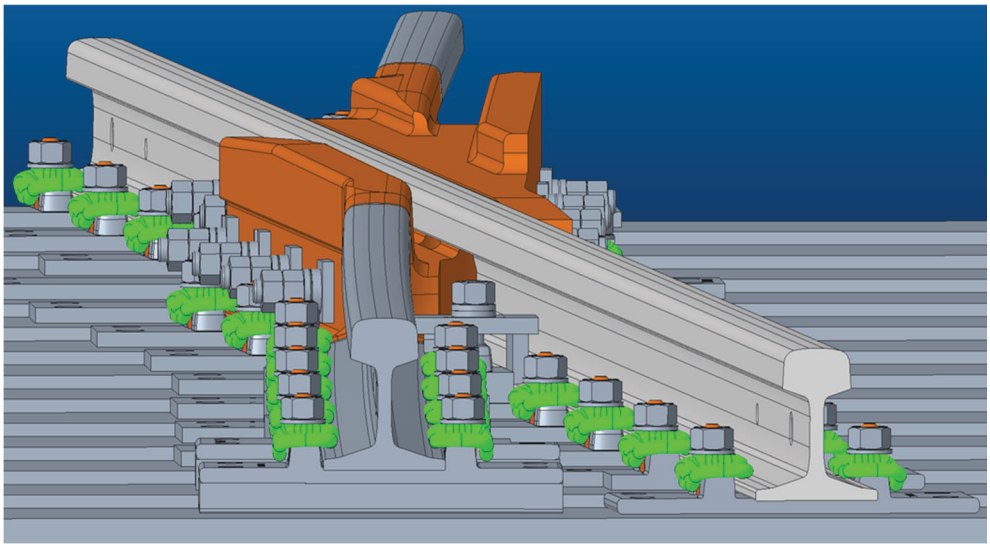


Obr. 7 *Konstrukční řešení křížení tramvaj/železniční dráha typu 3 (foto ze stavby).*
Fig. 7 *Design of tramway/railway crossing of type 3 (photo taken during construction).*

5 ODVRATNÁ VÝHYBKA

V roce 2016 začal v DT vývoj výhybky pro odvratné koleje na základě podnětu Správy železnic. Hlavními požadavky v zadání bylo, aby geometrie vycházela ze standardní výhybky tv. 1:9-300; soustavu svršku nejprve S 49, následně UIC 60; nepřerušená pojížděná hrana v srdcovce pro hlavní dopravní směr; použití co největší množství komponentů ze standardní výhybky tv. 1:9-300. Postupem vývoje vznikla v roce 2020 výhybka ozn. J49-1:9-300-PK. Zásadním rozdílem oproti standardní výhybce odpovídající geometrie je řešení srdcovkové části výhybky. U odvratné výhybky se požaduje zejména zachovat nepřerušenou pojížděnou hranu v hlavním dopravním směru při co nejlevnějším a nejjednodušším řešení. Proto byla pro zřizování odvratných kolejí sloužících výhradně k zajištění boční ochrany (pro případy kdy odvratná kolej neslouží jiným účelům) navržena srdcovka s průběžnou kolejnicí (označována „PK“) v hlavním dopravním směru, což je

nejviditelnější změnou v odvratné výhybce oproti konvenčním výhybkám (3D model srdcovky viz ***obr. 8***). Odstranění přerušené pojížděné hrany v hlavním dopravním směru vede k významnému snížení dynamického namáhání a hluku díky absenci přejezdů kol od projíždějících vozidel jako je tomu u běžných pevných srdcovek. Tím je eliminováno zvýšené opotřebení pojížděných ploch srdcovky a vede to rovněž k delšímu udržení správného výškového průběhu nivelety koleje v oblasti srdcovky, tedy dojde ke snížení nákladů na údržbu (oddálení podbíjení a broušení či navařování). V odbočném (odvratném) směru musí pak kolo vozidla překonat oblast srdcovky částečně po okolku, což se ale vzhledem k minimálnímu očekávanému výskytu vozidel nejeví jako problém (v zásadě pojedou odvratným směrem pouze vozidla, která v odvratné koleji budou vykonávat nějakou údržbovou činnost – např. podbíječka – a samozřejmě vozidla, jejichž další jízdě má být zabráněno).



Obr. 8 *Sestava srdcovky obsahuje 3 hlavní díly: průběžná kolejnice; blok křídlové kolejnice; blok hrotu. Z obrázku je rovněž patrné podložení žebrové podkladnice.*

Fig. 8 *The assembly of the crossing consists of 3 main parts – continuous rail, wing rail block and crossing vee block.*

Konstrukce srdcovky odvratné výhybky je patrná z obrázků (***obr. 8 a 9***). Srdcovka je v hlavním dopravním směru tvořena průběžnou perlitizovanou kolejnicí, tzn. že jedná se o řešení bez přerušení pojížděné hrany. V odvratném směru pak kolej vstupuje ze střední části do srdcovkové části nadvýšena o 30 mm. Dvojkolí je vedeno přídržnicí u protilehlého kolejnicového pásu. Kolo jedoucí přes srdcovku sjede plynule z křídlové kolejnice, dosedne okolkem na temeno křižující průběžné kolejnice, a to až za žlábkem pro průběžnou kolejnici, a dále pokračuje jízdou po okolku po dně žlábku tvořeného blokem hrotu srdcovky. Nakonec kolo plynule najede jízdní plochou na zvedající se hrot při současném klesání dna žlábku, kdy výsledné nadvýšení hrotu je 26 mm. Jedná se tedy konstrukčně o zcela regulérní průjezd přes srdcovku, v němž je po celou dobu průjezdu zajištěno nesení kola. DT zadalo do VÚKV a.s. provedení simulačního výpočtu za účelem prověření bezpečnosti průjezdu odvratným směrem. Vstupem do simulace byl 3D model výhybky a dále byla definována jednotlivá vozidla, která byla určena jako reprezentativní z hlediska nejhoršího možného chování při průjezdu. Rovněž bylo uvažováno i s různým stavem jízdních obrysů (nové i opotřebené). Ze simulací byly vyhodnoceny parametry jízdní bezpečnosti a namáhání koleje (ve smyslu ČSN EN 14363) v závislosti na rychlosti jízdy. Výsledkem bylo, že pro zvolené

scénáře je pro rychlost 40 km/h, která byla ze strany SŽ požadována jako minimální, průjezd odvratným směrem zcela bezpečný, u mnohých případů dokonce až do rychlosti 60 km/h. Výhybka byla tedy simulací shledána jako bezpečná. V přímém směru není pak v zásadě rychlost konstrukčně nijak omezena, vychází buď z geometrie koleje ve výhybce (z hlediska nedostatku převýšení), resp. z traťových poměrů navazující koleje, zvoleného tvaru kolejnic a možností zabezpečovacího zařízení. [3, 4]



Obr. 9 *Průjezd kol (podbíječky) srdcovkou odvratnou větví výhybky č. 17 v žst. Šakvice. Z fotografie je patrný princip průjezdu odvratnou větví vč. nadvýšení nivelety temene kolejnice odvratné větve (foto ze stavby).*

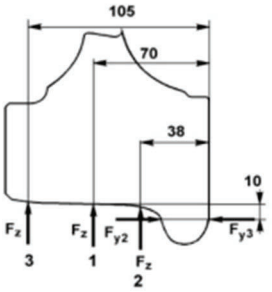
Fig. 9 *Passage of tamping machine through the branch line, specifically through the special crossing of trap turnout. The principle is visible from the photo.*

Pro provozní ověření prototypu odvratné výhybky tvaru J49-1:9-300-PK byla vybrána žst. Šakvice (trať Brno – Břeclav), ve které byly v rámci modernizace nově vloženy tři odvratné výhybky do předjízdných kolejí, přičemž u jedné z nich na brněnském zhlaví byla vložena právě odvratná výhybka se srdcovkou s průběžnou kolejnicí J49-1:9-300-PK, a to konkrétně v transformované variantě Obl-o49-1:9-300(1200/400)-zlp-P-p-ČZP-b-KS-PK. Výhybka zde zabraňuje neoprávněnému vjezdu železničního vozidla ze staniční koleje č. 4 do hlavní koleje č. 2 směrem na Brno. Výhybka byla do kolejiště žst. Šakvice vložena dne 3. 9. 2020 a nyní probíhá provozní ověřování, v rámci kterého je výhybka dvakrát ročně kontrolována a měřena. V roce 2022 byly potom další dvě výhybky tohoto typu vloženy do žst. Adamov. Aktuálně již zpracována varianta této výhybky pro soustavu železničního svršku UIC 60 a probíhá schvalovací proces výkresové dokumentace u Správy železnic.

6 PŘEDPISY A NORMY

Při zjišťování pohledu na přípustnost jízdy po okolku železničních vozidel z hlediska předpisů a norem je stěžejním dokumentem předpis Správy železnic S3 IX - Výhybky a výhybkové konstrukce. Upravuje a stanovuje zásady konstrukce výhybek a kolejových křížení v rámci konvenčních tratí v ČR. V předpise není jízda po okolku výslovně zakázána, spíše se předpis touto situací vůbec nezabývá. V kapitole I. bod 16 "atypické konstrukce" je uvedeno, že: "*Kolejové křižovatky koleje normálního rozchodu s kolejí jiného rozchodu nebo s kolejí dráhy tramvajové lze navrhovat jen se souhlasem SŽDC OTH a na základě jím odsouhlasené dokumentace konstrukce".* [5] Dle předpisu je tedy možné konstruovat např. kolejovou křižovatku, ve které by jízda po okolku byla možná – pouze však se souhlasem SŽ. Totéž platí pro konstrukci odvratné výhybky.

V normě ČSN EN 13 232-3 – Požadavky na interakci kolo-kolejnice je v kapitole 3.7.2 uvedena tzv. nebezpečná zóna dotyku, která připadá na poloměr vrcholu okolku. Norma udává, že za standardních podmínek nesmí v této zóně docházet k dotyku. Následuje věta: *"Kromě případů, kdy je dohodnuto, že pojíždění po okolku je běžný režim."* [6] Norma tedy připouští pojíždění po okolcích za předem stanovených podmínek. Z hlediska bezpečnosti by jízda po okolku měla být v souladu s normou ČSN EN 14 363. Musí být tedy splněny podmínky bezpečnosti proti vykolejení.



Legenda

1	přímá kolej
2	oblouk
3	průjezd výhybkou a srdcovkou
F_{Z1}	Svislá síla v přímé koleji (dvojkolí ve vystředěné poloze)
F_{Z2}	Svislá síla v oblouku (okolek tlačen proti kolejnici)
F_{Z3}	Svislá síla při průjezdu výhybkou a srdcovkou (vnitřní strana okolku naléhá na přídržnici)
F_{Y2}	Boční síla v oblouku (okolek tlačen proti kolejnici)
F_{Y3}	Boční síla při průjezdu výhybkou a srdcovkou (vnitřní strana okolku naléhá na přídržnici)

Obr. 10 *Působiště různých sil působících na kolo dle ČSN EN 13 979-1 [7]*

Fig. 10 *The site of various forces acting on the wheel according to ČSN EN 13 979-1 [7]*

Z pohledu konstrukce dvojkolí kolejového vozidla se koly zabývá norma ČSN EN 13979-1 – Technické schvalování kol. Kapitola 8 se zabývá posouzením mechanického chování. V normě při výpočtu možných sil působících na kolo není uvažována síla, která by samostatně vertikálně působila na okolek kola a představovala by tak jízdu po okolku (viz ***obr. 10***) Reflektuje to vlastnost, že okolek je primárně určen k vedení kolejového vozidla, a nikoliv k nesení. Norma ČSN EN 13715 zabývající se profily kol není vhodná pro posouzení, zda by jízda po okolku měla být uvažována, či neměla.

Železniční kola nejsou dle norem a konvenčních sestav kolejového svršku konstruována pro jízdu po okolku a ani se s ní neuvažuje. Nicméně za určitých podmínek (schválená konstrukce, snížená rychlost atp.) lze jízdu po okolku využít, jelikož kolo železničního vozidla je navrhnuto tak, aby po okolku zvládlo jet. Rozhodně platí, že jízdou přímo po okolku se ztrácí vlastnost vedení dvojkolí jako taková a musí být řešena jiným způsobem.

7 ZÁVĚR

Z uvedeného textu vyplývá, že existuje poměrně dost případů, kdy se u železniční dráhy vyskytuje jízda po okolku. Jedná se jednak o kolejové křižovatky o větších úhlech křížení (což je převážně historická záležitost) a jednak také o nové konstrukce, jakou je například odvratná výhybka. Při pohledu do budoucna existují jisté další případy, kde by jízda po okolku železničního vozidla mohla být významným přínosem z hlediska namáhání celého kolejového objektu při průjezdu. Těmi jsou zejména křížení tramvajových a železničních drah, kde by jízda po okolku obou systémů přispěla k větší životnosti a menším nárokům na údržbu za relativně zanedbatelnou cenu, jakou je snížení rychlosti železniční dopravy při průjezdu takovou konstrukcí. Při návrhu takové konstrukce musí ale být dostatečným způsobem posouzen kontakt kola a kolejnice, zda nemůže nastat situace, při níž by kolo vozidla mělo tendenci šplhat na pojížděnou plochu kolejnice, což by mohlo vést až k vykolejení.

Literatura

[1] Kolektiv autorů: Výhybka a ocelový materiál pro železniční svršek. Ministerstvo hutního průmyslu a rudných dolů. Hlavní správa odbytu. Praha 1955. **[2] Omaník, D.**: Kolmá křížení tramvajových tratí s vlečkami. Diplomová práce VUT v Brně, 2018. **[3] KRULICH, P., BUCHTA, J.** Výpočtové simulace jízdy vozidel odvratnou výhybkou s upravenou srdcovkovou částí. Technická zpráva VÚKV zpracovaná pro DT Výhybkárnu a strojírnu, a.s. 2019. **[4] KMOCH, J., JEŽDÍK, R**. *Ověření pevnosti kola pracovního stroje jedoucího po odvratné výhybce s upravenou srdcovkovou částí.* Technická zpráva VÚKV zpracovaná pro DT - Výhybkárnu a strojírnu, a.s. 2019. **[5]** Předpis SŽDC S3: Železniční svršek - Výhybky a výhybkové konstrukce. 2021. **[6]** ČSN EN 13232-3. Železniční aplikace - Kolej - Výhybky a výhybkové konstrukce: Požadavky na interakci kolo/kolejnice. 2012. Praha, 2012. **[7]** ČSN EN 13979-1. Železniční aplikace - Dvojkolí a podvozky - Celistvá kola - Postup technického schvalování: Kovaná a válcovaná kola. 2022. Praha, 2022.

♠ ♠ ♠

Resumé

Existují případy u železničních drah, kde je přímo z konstrukčního hlediska navržena jízda po okolku kola. Historicky se jednalo zejména o kolejové křižovatky o velkých úhlech křížení, v současnosti se jedná zejména o odvratnou výhybku a speciální konstrukce. Článek uvádí přehled takových konstrukcí včetně pohledu norem a předpisů na jízdu po okolku železničních drah. Je potřeba si uvědomit, že z hlediska některých konstrukcí, jako jsou například křížení tramvajových a železničních drah, je jízda po okolku obou systémů v zásadě nejlepším řešením, pokud samozřejmě zůstane zachována bezpečnost průjezdu, a to zejména ze strany železničního systému.

Novou konstrukcí, v níž se také jízda po okolku vyskytuje, je tzv. odvratná výhybka. V roce 2016 započal na požadavek Správy železnic v DT – Výhybkárně a strojírně v Prostějově vývoj výhybky, která by byla určena do rozvětvení odvratných kolejí v dopravnách. Tyto výhybky se vyznačují zcela převládajícím způsobem pojíždění pouze hlavním dopravním

směrem a zanedbatelným pojížděním vedlejším dopravním směrem, což vede k nesymetrickému opotřebení prvků výhybky. Pro tyto účely byla následně vyvinuta tzv. odvratná výhybka, která se vyznačuje zejména speciálním konstrukčním řešením srdcovky, v níž je v hlavním dopravním směru nepřerušená pojížděná hrana a ve vedlejším dopravním směru je průjezd vozidla řešen jízdou po okolku s plynulým překonáním žlábku hlavního dopravního směru.

Summary

There are cases on railway lines where the design of flange running is applied. Historically, this was mainly at the diamond crossings with bigger crossing angles, but nowadays it is mainly at trap turnouts and special structures. This article provides an overview of such structures, including a look at the standards and regulations in terms of flange running. It is important to note that for some structures, such as tramway and railway crossings, flange running of both systems is in principle the best solution, when the safety of the passage through the crossing is ensured, especially at the railway system.

The new railway structure, where flange running is directly designed is so called trap turnout. In 2016, at the request of the Czech Railways company, the development of a special trap turnout to protect main railway lines started in company DT - Výhybkárna a strojírna in Prostějov. These switches are characterised by a completely predominant way of running only in the main line and occasional running in the branch line, which leads to asymmetrical wear of the switch elements. For these purposes, the so-called trap turnout was subsequently developed, which is characterised in particular by a special design of the fixed crossing, in which there is an uninterrupted running edge in the main line. In the branch line, the vehicle passage is solved by flange running with a smooth passing of the groove in the main line.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA „SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.24

FUNKČNÍ BEZPEČNOST AUTOMATICKÉ ÚDRŽBY KOLEJOVÝCH VOZIDEL

FUNCTIONAL SAFETY OF AUTOMATIC MAINTENANCE OF ROLLING STOCK

Radek ŘEHÁK, Jan FAMFULÍK, Michal RICHTÁŘ, Jaromír ŠIROKÝ[*)]

1 ÚVOD

Se zvyšováním poptávky na přepravu v dálkové a regionální dopravě je nutné také nabízet vyšší počet spojení mezi nejvytíženějšími dopravními uzly. V ČR mezi takové uzly patří především Praha, Brno, Ostrava, Plzeň, Pardubice atd. Dopravci železniční dopravy na to musí reagovat vyšší kapacitou vlakových souprav nebo jejím vyšším počtem. Náklady na provoz kolejových vozidel nejsou jen ty, které můžeme lehce odhalit jako běžný cestující, ale především ty, které se dějí v depech a servisních centrech pro údržbu.

Údržba kolejových vozidel je alfou a omegou bezpečného a spolehlivého provozu. Provádění preventivní údržby je povinností každého odpovědného provozovatele vozidel. Avšak náklady na preventivní údržbu nejsou malé, a proto mnoho dopravců šetří na těchto činnostech jako první.

Pomoc s preventivní údržbou může dnešní vyspělá technika, především z oblasti automatizace a umělé inteligence. Prvotní stupně preventivní údržby (tzv. visual check) již dnes dokážou provádět automatizované linky.

Aby vše bylo v pořádku a věrohodné je potřeba se zaměřit i na samotné fungování automatické linky a jejích částí z pohledu funkční bezpečnosti.

[*)] **Ing. Radek ŘEHÁK,** Siemens Mobility, s.r.o., 28. října 2663/150, Ostrava, 702 00, M.: +420 607 026 689, e-mail: radek.rehak@siemens.com, RAM/LCC Manager na projektech regionálních a příměstských jednotek a vozidel městské hromadné dopravy, student doktorského studia VŠB-TU Ostrava, Institut dopravy.

doc. Ing. Jan FAMFULÍK, Ph.D., Institut dopravy, VŠB-TU Ostrava, 17. Listopadu 2175/15, Ostrava – Poruba, 708 00, Tel.: +420 596 994 553, e-mail: jan.famfulik@vsb.cz, Vedoucí Ústavu dopravní techniky, specializace na spolehlivost a funkční bezpečnost.

Ing. Michal RICHTÁŘ, Ph.D., Institut dopravy, VŠB-TU Ostrava, 17. Listopadu 2175/15, Ostrava – Poruba, 708 00, Tel.: +420 596 994 529, e-mail: michal.richtar@vsb.cz, spealizace na konstrukci silničních vozidel, spolehlivost a funkční bezečnos.

Ing. Jaromír ŠIROKÝ, Ph.D., Institut dopravy, VŠB-TU Ostrava, 17. Listopadu 2175/15, Ostrava – Poruba, 708 00, Tel.: +420 596 994 375, e-mail: jaromír.siroky@vsb.cz, tajemník institutu dopravy, spealizace na konstrukci a provoz kolejových vozidel, znaec pohybu drážních vozidel.

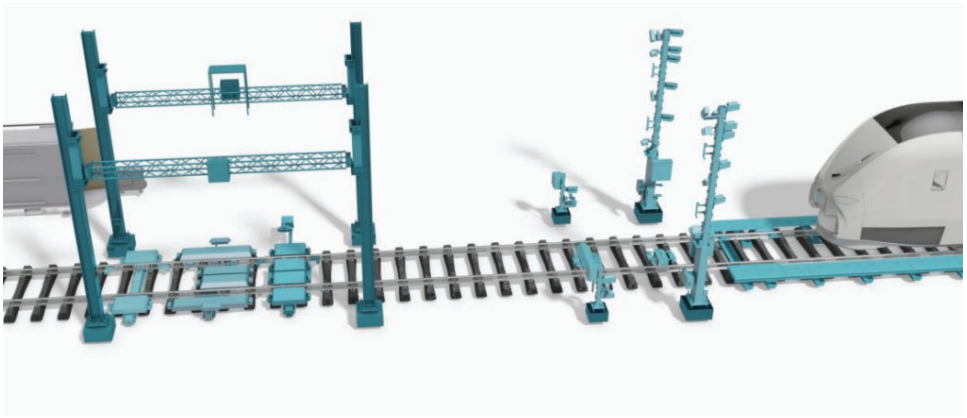
2 AUTOMATICKÁ LINKA ÚDRŽBY KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Systém pro automatickou údržbu zařízení kolejových vozidel VEMS (Vehicle Equipment Measurements Systems) od společností Siemens Mobility poskytuje řadu automatizovaných inspekcí kolejových vozidel za účelem zjištění provozuschopnosti a především bezpečnosti. VEMS je navržen jako modulární sada měřících a diagnostických zařízení instalovaných v prohlídkové jámě, vedle a nad kolejí v depu určená pro údržbu v nejnižších stupních.

Systémem VEMS jsou především prováděny kontroly integrity vozidel, jízdních kol, náprav, brzdového zařízení podvozku, sběračů proudu na střeše a dalších.

Pro účely tohoto článku jsme se zaměřili na vizuální kontrolu jízdních kol a jízdního profilu. Zařízení pro údržbu je vybaveno velmi přesnými měřícími a diagnostickými zařízeními uzpůsobenými právě pro činnost měření parametrů jízdního kola s časovou úsporou. Návod, jak postupovat při ověření věrohodnost zařízení je tématem pro další kapitoly.

Celkový pohled na automatickou linku údržby je možné pozorovat na (***obr. 1***):



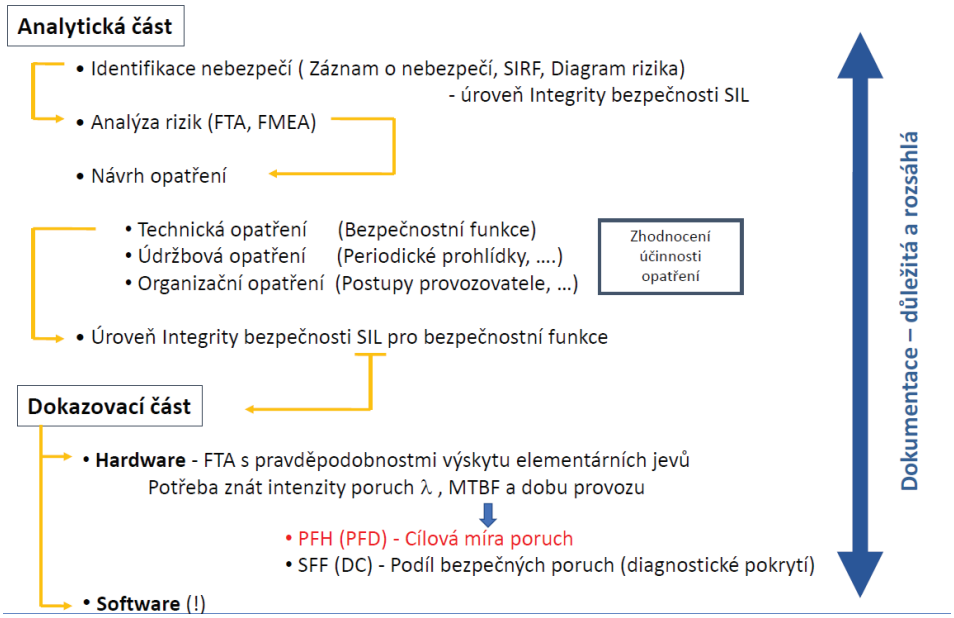
Obr. 1 *Prohlídková kolej se systémem VEMS*

Fig. 1 *Inspection track with VEMS system*

3 JAK POSTUPOVAT PŘI ANALÝZE FUNKČNÍ BEZPEČNOST ZAŘÍZENÍ V SYSTÉMU VEMS

Pro příklad tohoto příspěvku je uveden postup pro stanovení minimálních parametrů jednotlivých části zařízení pro měření rozměrů a profilu jízdního kola, tak aby byla zaručena požadovaná úroveň bezpečnosti. Pro názornost se budeme zabývat bezpečnostní funkcí, která je definována jako aktivace bezpečnostních výstrah zařízení (majáku, sirény).

Základním parametrem je výpočet cílové míry poruch s vysokým vyžádáním podle normy ČSN EN 61 508. Celkový postup výpočtu cílové míry poruch můžeme rozdělit do několika kroků, viz (***obr. 2***):



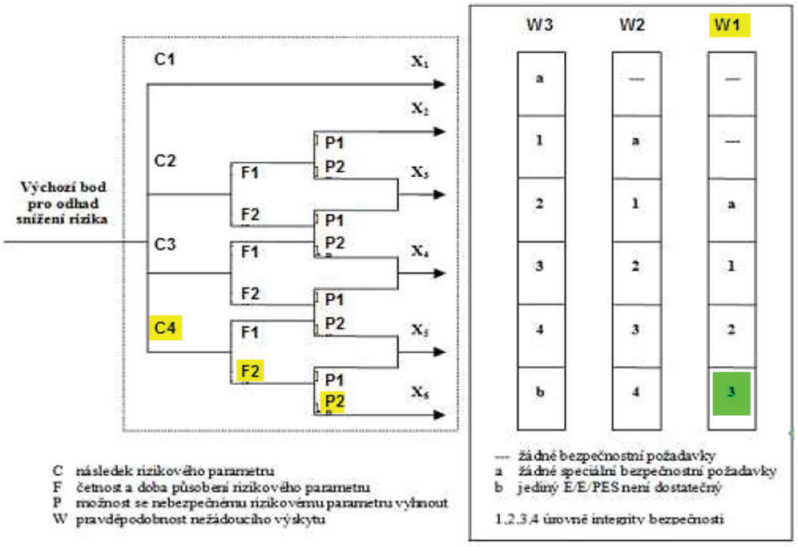
***Obr. 2** Proces výpočtu cílové míry poruch*

***Fig. 2** Process for calculating the target failure rate*

3.1 Identifikace nebezpečí – diagram rizika

Pro identifikaci nebezpečí a následné stanovení minimální potřebné úrovně integrity bezpečnosti používáme tzv. diagram rizika, který vychází z normy ČSN EN 61 508. V diagramu je posuzován následek nebezpečné události, režim vyžádání funkce, možnost se vyhnout nebezpečné události a také pravděpodobnost nežádoucího výskytu.

Pro názornost máme definované nebezpečí, že kolejové vozidlo po údržbě má špatnou geometrii jízdního kola a hrozí potencionální vykolejení. Výsledné posouzení nebezpečí v diagramu rizika vypadá následovně, viz (***obr.3**):*



Obr. 3 *Posouzení nebezpečí v diagramu rizika*

Fig. 3 *Hazard assessment in risk diagram*

Z diagramu je patrné, že minimální úroveň integrity bezpečnosti pro konkrétní nebezpečí je SIL 3. Na základě požadavku na SIL 3 a nepřetržitém provozu zařízení známe i požadavek na průměrnou frekvenci (četnost) nebezpečných poruch za hodinu provozu zařízení, která pro SIL 3 viz ***TAB. 1***.

TAB. 1 *Požadavky – režim s vysokým vyžádáním*

TABLE 1 *Requirements – High Demand Mode*

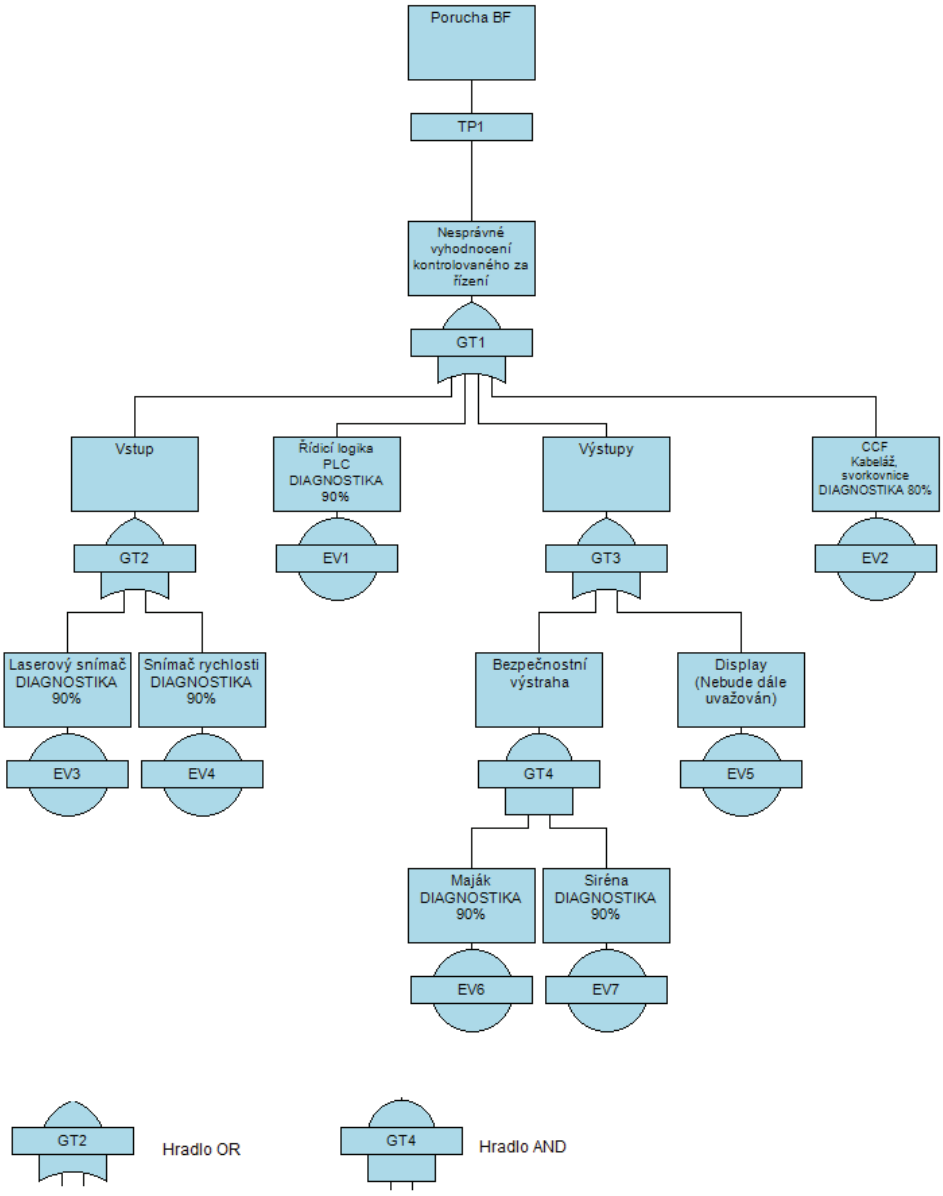
Úroveň integrity bezpečnosti (SIL)	Cílová střední pravděpodobnost poruchy PFH_{SYS}
4	$(1 \cdot 10^{-8}, 1 \cdot 10^{-7})$
3	$(1 \cdot 10^{-7}, 1 \cdot 10^{-6})$
2	$(1 \cdot 10^{-6}, 1 \cdot 10^{-5})$
1	$(1 \cdot 10^{-5}, 1 \cdot 10^{-4})$

3.2 Architektura bezpečnostní funkce a diagnostické pokrytí

Bezpečnostní funkce pro zajištění bezpečného provozu zařízení je koncipována jako paralelní zapojení hlavních částí systému a dále se větví na několik dalších úrovní až k jednotlivým prvkům. V Architektuře je zahrnut i vliv poruch se společnou příčinou CCF.

Pro další postup u sériové soustavy bereme v úvahu intenzity nebezpečných, ale diagnostikovatelných poruch za hodinu provozu. U paralelní soustavy uvažujeme jak intenzitu nebezpečných, ale diagnostikovatelných poruch tak i intenzitu nebezpečných, ale nediagnotikovatelných (neúčinnost diagnostiky).

Výslednou architekturu systému je možné pozorovat na ***obr. 4***:



***Obr. 4** Architekrura systému*

***Fig. 4** Architecrure of system*

Pro zjednodušení nebereme v úvahu vliv zobrazovacího zařízení (display). Celkovou míru stanovíme na základě rozložení celkové architektury na elementární uzly OR (sériovou) a AND (paralelní).

U architektury OR platí, že výsledná intenzita poruch je rovna součtu intenzit poruch tvořících prvků. Poté vztah pro průměrnou frekvenci nebezpečných poruch je:

$$PFH^{1001} = \lambda_{CCF} + \sum_{i=1}^{N} \lambda_{DU,\,i} \tag{1}$$

kde: λ_{CCF} [h-1] – intenzita poruch se společnou příčinou (CCF), λ_{DU} [h^{-1}] – intenzita nebezpečných poruch, nediagnotikovatelných

Pro architekturu AND je výpočet složitější. To proto, že při poruše jednoho prvku soustava dále pracuje. Tudíž nás zajímá situace až po poruše jednoho prvku, kdy hrozí porucha celé soustavy. Zajímá nás doba, po kterou bude jeden prvek v poruše. Takové době říkáme ekvivalentní doba prostoje prvku t_{CE} a vypočítáme ji podle vztahu (2), (3):

$$t_{CE} = (1-DC) \cdot \left(\frac{T_1}{2} + MRT\right) + DC \cdot MTTR \tag{2}$$

$$DC = \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_{DD} + \lambda_{DU}} \tag{3}$$

kde: T_1 – interval testu bezpečnostní funkce v servisu, např. za rok, *MRT* – průměrná doba obnovy (doba nalezení poruchy + doba opravy), λ_{DD} – intenzita nebezpečných poruch, diagnostikovatelných, λ_{DU} – intenzita nebezpečných poruch, nediagnotikovatelných, *MTTR* – průměrná doba opravy

Výpočet *PFH* pro paralelní soustavu po odvození je podle následujícího vztahu (4):

$$PFH = 2 \cdot (\lambda_{DD} + \lambda_{DU}) \cdot \lambda_{DU} \cdot t_{CE} \tag{4}$$

3.3 Průměrná frekvence nebezpečných poruch pro celkový systém

Základní a finální vztah pro celkovou architekturu systému kontroly jízdního kola je uveden v následujících vztazích (5), (6), (7):

$$PFH_{SYS} = FPH_{vstup} + FPH_{řídicí\ logika} + FPH_{výstupy} + FPH_{CCF} \tag{5}$$

$$PFH_{SYS} = \lambda_{vstup\ DU} + \lambda_{řídicí\ logika\ DU} + \lambda_{výstupy\ DU} + \lambda_{CCF\ DU} \tag{6}$$

$$PFH_{SYS} = (\lambda_{laser} \cdot 0{,}1 + \lambda_{rychloměr} \cdot 0{,}1) + \lambda_{řídicí\ logika} \cdot 0{,}1 + (\lambda_{maják} + \lambda_{siréna}) \cdot (\lambda_{maják} \cdot 0{,}1 + \lambda_{siréna} \cdot 0{,}1) \cdot t_{CE} + \lambda_{CCF} \cdot 0{,}2 \tag{7}$$

Celkový výsledek průměrné frekvence nebezpečných poruch pro systém musí být v souladu s požadavkem na minimální úroveň integrity bezpečnosti SIL3, tudíž *PFH musí být lepší nebo rovná* $\mathbf{1 \cdot 10^{-6}}$ [h^{-1}] provozu.

4 ZÁVĚR

Závěrem příspěvku je vyjádření průměrné frekvence nebezpečných poruch pro systém měření geometrie dvojkolí v obecném tvaru. Po dosazení konkrétních hodnot intenzity poruch pro jednotlivé komponenty dostaneme finální průměrnou frekvenci nebezpečných poruch a tu porovnáme s minimální požadovanou hodnotou a požadovaného stupně integrity bezpečnosti.

V dalším výzkumu bude cílem stanovit preventivní program, který bude založen na fiktivní zkoušce zařízení, tzv. zkušebním dvojkolím. Jak často by tato zkouška měla být provedena bude obsahem další analýzy.

Literatura

[1] Famfulík, J. a kol.: Zkoušky spolehlivosti. Skriptum VŠB – Technické univerzity Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2277-8. **[2] Famfulík, J a kol.**: Teorie údržby. Ostrava, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006, ISBN 80-248-1029-8. **[3]** ČSN EN 61 508-1 ed.2. Funkční bezpečnost elektrických/ elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností - Část 1: Všeobecné požadavky. **[4]** Podklady společnosti SIEMENS Mobility

♠ ♠ ♠

Resumé

Automatická údržba vede k efektivnější a levnější údržbě kolejových vozidel při prvotních stupních údržby. Pro zajištění věrohodnosti výsledku údržby je potřeba stanovit požadavky na funkční bezpečnost takového zařízení. V konkrétním případě jde o automatickou linku pro kontrolu geometrie dvojkolí kolejových vozidel. Výsledkem je stanovení průměrná frekvence nebezpečných poruch pro celkový systém.

Summary

Automatic maintenance leads to more efficient and less maintenance costs of rolling stock in the light levels of maintenance. To ensure reliability of the maintenance results, the safety requirements of such equipment need to be established. In our case, it is automatic line for check the geometry of rolling stock wheelsets. The result is the determination of the average frequency of dangerous failures for the overall system.




705 913-2

26th INTERNATIONAL CONFERENCE
„CURRENT PROBLEMS IN RAIL VEHICLES - PRORAIL 2023“
September 20 – 22, 2023, Žilina, Slovakia

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.25

VEHICLE INTERIORS - EFFICIENCY THROUGH CUSTOMER ORIENTATION

INTERIÉRY VOZIDIEL - EFEKTÍVNOSŤ PROSTREDNÍCTVOM ORIENTÁCIE NA ZÁKAZNÍKA

Bernhard RÜGER[*)]

1 INTRODUCTION

In order to be able to achieve a positive influence of the vehicle layout on the operational efficiency, the behaviour of the passengers who will ultimately use the vehicles must be placed at the centre of all considerations already during the design of rail vehicles. If the requirements and expectations of the passengers are not sufficiently taken into account, taking into account the different current realities of life and travel conditions, such as the purpose of the journey and the activities derived from it, the luggage carried, fellow passengers (e.g. children) or any mobility restrictions, the resulting poorly designed interior of the vehicles often leads to noticeable inefficiency.

2 METHOD

All of the following findings are based on more than twenty years of research in and the completion of approximately 40 research and consulting projects, in which knowledge was gathered through observations in the trains, video time measurements at the boarding points and in our own series of tests in the vehicles and interviews with passengers of more than 400,000 passengers, such as which seats are preferred, where luggage is stored and in what way, which difficulties occur when storing luggage or when boarding and moving around in the vehicle. It was possible to comprehensively collect data on the behaviour of passengers when taking and storing luggage. Based on this extensive data, which exclusively takes into account the specific behaviour of passengers in trains, the software product TrainOptimizer® was developed in cooperation with the Vienna University of Technology and netwiss, with the help of which vehicle layouts can be very easily assessed by simulation with regard to their efficiency. The findings presented in this paper are based on the application of the simulations in TrainOptimizer®. ***fig. 1*** shows the flow chart of the simulation. In a first step, layouts are created in an easy-to-use editor and then, if necessary, further settings such as deviating age distribution, special trip purpose mixes, region-specific data etc. are selected for the evaluation. Based on the extensive data available, the tool knows the volume of luggage and the behaviour of travellers when boarding and disembarking and in the context of luggage accommodation. The output is easy-to-understand graphs on passenger changeover time, luggage stowability and seat usability.

[*)] **FH-Prof. Dr. Bernhard RÜGER**, TU-Wien, Track-bound Transportation Systems, Karlsplatz 13/230-2 A-1040 Wien, +43 1 58801 23212, Bernhard.rueger@tuwien.ac.at, Senior researcher.

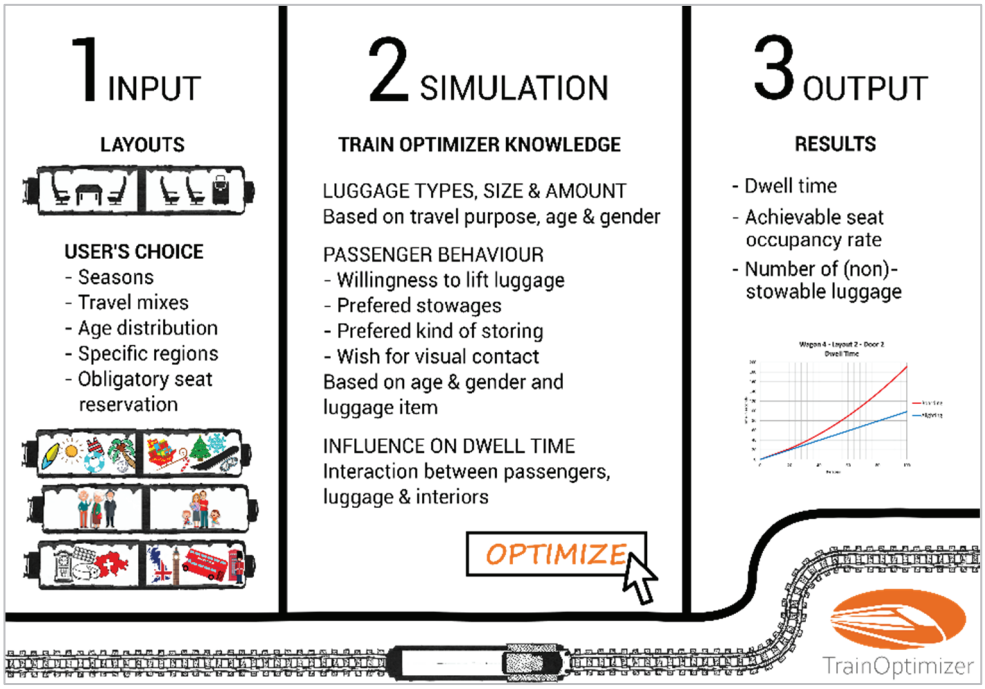


Fig. 1 *Flow chart of the simulation with TrainOptimizer® ©netwiss*
Obr. 1 *Vývojový diagram simulácie s TrainOptimizer® ©netwiss*

3 TRAVELLER BEHAVIOUR RELATED TO THE LAYOUT

Relevant behaviour patterns of passengers with a significant influence on efficiency result in particular from the carrying of luggage in long-distance transport. This influences behaviour when boarding and moving around in the vehicle, when looking for a seat and during accommodation. Adequately dimensioned luggage racks are essential and must meet the following two basic requirements of passengers:

- Travellers want to avoid lifting heavy luggage in particular
- Travellers want to have visual contact with their own luggage at all times for reasons of subjective security

The majority of vehicles currently in use hardly take these basic requirements into account and often follow the premise of seat maximisation with the expectation of a supposed increase in capacity utilisation and thus profit. Vehicles that follow these principles lead to the fact that luggage cannot be adequately stowed and that, in addition to safety risks, there is a significant loss of usable seats. In addition, deficiencies in the stowability of luggage during passenger changes lead to corresponding backlog effects and thus longer dwell time.

In local transport in particular, in addition to person-specific influences such as age or any mobility restrictions, the fact that people want to be able to reach the exit at any time and thus avoid "unpopular" areas in the vehicles from which this is supposedly not possible is also decisive. This leads to an irregular utilisation of the vehicle and thus to reductions in the de facto vehicle capacity with equally negative effects on the passenger changeover time.

In both long-distance and short-distance vehicles, the arrangement and size of the doors also has a significant influence on the passenger changeover time. If a division of the passenger flow can be achieved after boarding a vehicle, the passenger changeover time is significantly accelerated. In addition, the door width should be at least 90 cm for long-distance trains and at least 160cm for local trains in order to contribute to a further acceleration of the passenger changeover. Door widths of up to approx. 140cm usually barely allow two parallel walking lanes, doors of 160 cm and more have the full boarding capacity of two single doors.

Other noticeable influences on the passenger changeover time are the number of boarding steps and the passenger flow in the interior. A level entrance with gap bridging is the ideal situation, a gap increases the passenger changeover time in the range of 1/10sec per person. If, on the other hand, there are one or more steps, the passenger changeover time can multiply, especially in combination with luggage transport. For passenger flow in the interior, an "open" area, e.g. in the form of a small multi-purpose compartment, should be provided on both sides of the boarding area (if the door arrangement allows passenger flow in both directions). The adjoining aisles should have an aisle width of at least 60cm.

4 IMPACT ON CAPACITY AND PERFORMANCE

The most important effects of the vehicle layout on capacity in terms of seats and, in local traffic, also standing room per train and performance as a measure of the number of trains per hour and thus the number of passengers per hour are presented below:

1) Vehicle layouts that include many "unpopular" areas in local traffic and, especially in long-distance traffic, do not sufficiently take into account the basic requirements for luggage accommodation, lead to a lower possible de facto utilisation per wagon and thus per train.
2) If, as a result of the above-mentioned reasons, the dwell time is extended, this will lead to increased train following times with a corresponding reduction in performance, especially in local traffic.

Conversely, an increase in capacity and performance can be achieved if

1) Especially in long-distance traffic, there are sufficiently dimensioned luggage accommodations that really meet passenger requirements.
2) There are no "unpopular" areas. These are areas, especially in local transport, with a longer way to the exit, where passengers are concerned about not getting to the boarding point in time.
3) layout measures that contribute to a reduction of the stopping time and generally use vehicles with a high acceleration capacity. In this way, especially in local traffic, the train following time can be reduced and, taking into account other necessary infrastructure measures, the number of trains per hour can be increased.

In addition to the thoughts of the vehicle layout, it is important for the capacity increase to weigh the general vehicle concepts carefully. In particular, the use of double-deck trains and, ideally in combination, multiple unit trains lead to a further increase in the capacity of the train.

5 IMPACT ON RAILWAY OPERATIONS, INVESTMENT MEASURES AND ENERGY DEMAND

Dwell time has an impact on rail operations on several levels. In order to increase efficiency, measures must be sought that help to reduce the dwell time to a minimum. The vehicle layout has a significant influence on this; in addition, the technically required times for door release and door closure must be reduced and the operational handling procedure optimised.

The most important positive effects from a minimised dwell time are:

1) Punctuality: The quality of service suffers from longer dwell time, whereas minimised dwell time make a significant contribution to adherence to the timetable and thus to punctuality. By reducing the dwell time, the buffer time is increased while the total journey time remains the same.
2) Edge travel times: The edge travel times are made up of half the dwell time in the adjacent nodes and the travel time between the two nodes and represent an essential characteristic for a clockface timetable. Since the edge travel time takes a constant value (integer multiple of half the cycle time), an extended dwell time automatically requires a shorter travel time between the two nodes, which can only be achieved by a higher travel speed. Conversely, the minimised dwell time in the stations can also reduce the travel speed. This has the following effects:

a. *Energy saving:* The lower driving speed saves energy. Further potential for energy savings and a related reduction in operating costs exists in the area of structural weight. Vehicles with long car bodies and two bogies each have a higher total weight than articulated train concepts with Jacob's bogies or even single wheels. With such concepts, the total weight of the train per seat can be further reduced, which leads to a corresponding reduction in energy demand.
b. *Infrastructure upgrades:* In order to be able to achieve the required travel time to reach the edge travel times, the infrastructure is often adapted and expanded. If travel time reductions in the range of minutes are necessary to achieve the edge travel time, then these time gains can be gained through the reduction of the dwell time, whereby possibly expensive infrastructure measures can be omitted.
c. *Vehicle savings:* For various circulations, especially in the area of local transport, a reduction in dwell time, especially with many intermediate stops, can lead to a reduction in the total journey time, which means that there is potential for saving one or more vehicles in the entire circulation with the same service.

6 CONCRETE LAYOUT EXAMPLES TO ILLUSTRATE THE OPERATIONAL EFFECTS

In the following, three fictitious layouts (***Fig. 2*** to ***fig. 4)***) are used as examples to illustrate the influence of the different layouts on seating capacity and passenger changeover time. The layouts deliberately represent a maximum in terms of space for seats and do not take into account all space-reducing elements such as partitions required for technical components. Two toilets and an electrical cabinet are considered in each case.

- V1 corresponds to a classic UIC passenger coach with doors at the ends of the coach, which follows the idea of maximising seating capacity. There is overhead storage along the entire length of the carriage and a small luggage rack at one end of the carriage only.
- V2 builds on V1. Here, however, the number of seats is reduced in favour of three luggage racks.
- V3 has the same dimensions and similar luggage accommodation capacity as V2. However, the doors are shifted to the quarter points, which results in a division of the passenger flow after boarding that contributes to a significant reduction in passenger changeover time.

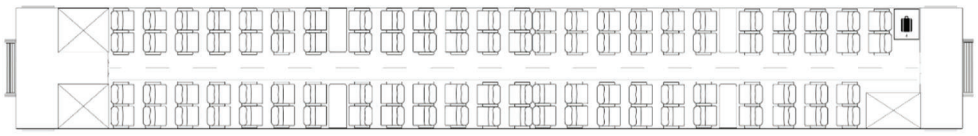


Fig. 2 *Example of layout V1 ©netwiss, created with TrainOptimizer® software*
Obr. 2 *Príklad rozloženia V1 ©netwiss, vytvoreného pomocou softvéru TrainOptimizer®*

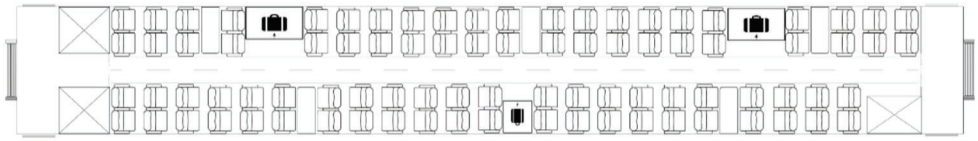


Fig. 3 *Example layout V2 ©netwiss, created with TrainOptimizer® software*
Obr. 3 *Príklad rozloženia V2 ©netwiss, vytvoreného pomocou softvéru TrainOptimizer®*

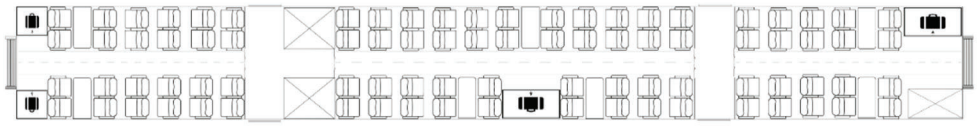


Fig. 4 *Example layout V3 ©netwiss, created with TrainOptimizer® software*
Obr. 4 *Príklad rozloženia V3 ©netwiss, vytvoreného pomocou softvéru TrainOptimizer®*

7 SEAT OCCUPANCY AND LUGGAGE STOWAGE CAPACITY

The actual availability of seats and the number of stowable pieces of luggage per layout variant for classic travel days are shown in ***fig. 5*** and ***fig. 6*** are shown.

A comparison of the three layouts shows that with theoretical full occupancy (the same number of people in the wagon as seats), only 77 of the 94 seats can be used on a travel day with variant V1, as approx. half of the luggage cannot be stowed.

Despite the reduction in the number of seats to 86, the V2 variant has more seats available (79) than the V1 variant. 77% of the luggage can be properly stowed in this variant.

The V3 variant has 84 seats; here, too, an average of 79 seats are available on travel days, and approx. 85% of the luggage can be stowed.

This comparison shows that a higher number of available seats does not necessarily lead to a higher proportion of seated passengers. In most cases, the actual seat availability is even lower than variants with a lower number of seats but more capacity for luggage accommodation. If trains are used on routes with highly variable trip purpose mixes, variants such as V2 or V3 may make sense, as they have a higher seating percentage with lower luggage volumes. If trains are used on long runs with more luggage-intensive trip purpose mixes, then it seems sensible to reduce the number of seats further, in the upper cases to 80 seats, as more seats are not usable anyway, but then in fact all the luggage can be properly stowed.

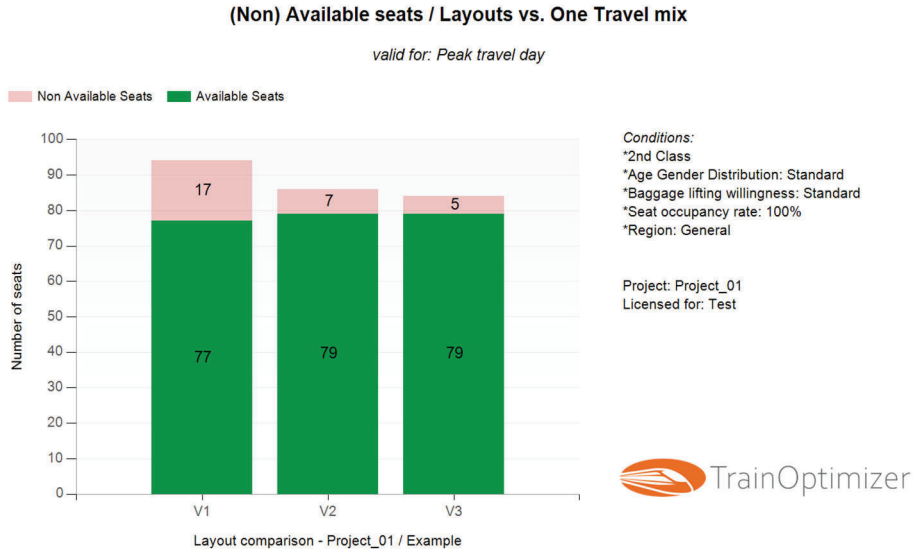


Fig. 5 *Proportion of available seats per variant ©netwiss, created with TrainOptimizer® software*

Obr. 5 *Podiel dostupných miest na variant ©netwiss, vytvorený pomocou softvéru TrainOptimizer®*

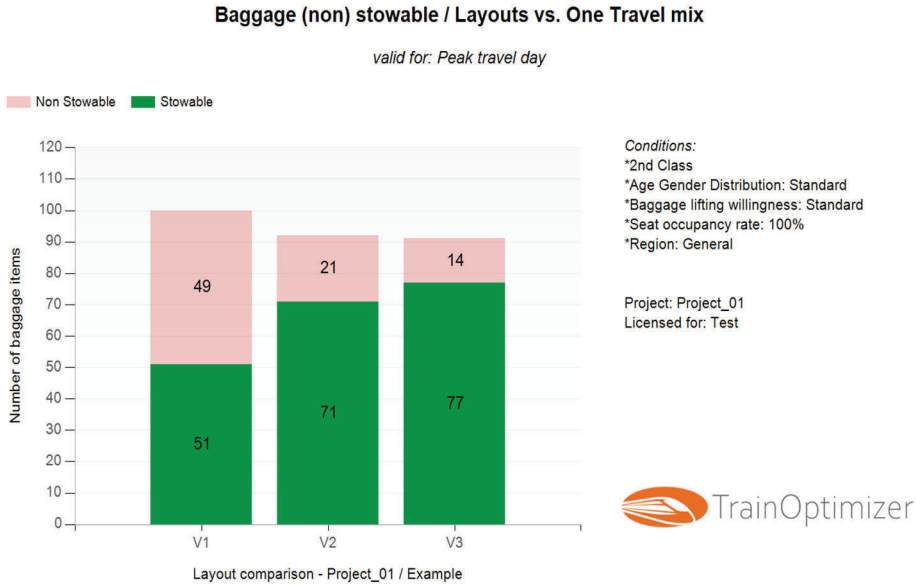


Fig. 6 *Stowable versus non-stowable luggage per variant ©netwiss, created with software TrainOptimizer®*

Obr. 6 *Skladná verzus neskladiteľná batožina podľa variantu ©netwiss, vytvorený pomocou softvéru TrainOptimizer®*

8 PASSENGER CHANGEOVER TIME

There are even greater differences between the three variants in terms of passenger changeover time. The effects with regard to the passenger changeover time are characterised by the following influencing parameters:

- Variant with high number of seats and low baggage stowage capacity - V1
- Variants with lower number of seats (but higher defacto capacity) and higher baggage stowage capacity - V2 and V3
- Variants with the doors at the ends of the carriages - V1 and V2
- Variant with the doors approximately at the quarter points, allowing the passenger flow to be divided - V3
- In all versions, the door width is 90cm and the aisle width 55cm.
- Variants with three entry steps (V1, V2, V3), with one entry step (V1, V2, V3) and with level entry including gap bridging (V3)

The right-hand pair of doors was selected for the display of the passenger changeover time. ***fig. 7*** shows the time required for a 60% passenger changeover. This means that 60% of the passengers, in relation to the available number of seats, get off and another 60% get back on***. fig. 8*** shows the progression of the passenger changeover time over the number of people who can mathematically board each door. The values on the abscissa refer to passengers getting on and off the train; for example, the value 30 shows the total time required for 30 passengers getting on and off the train.

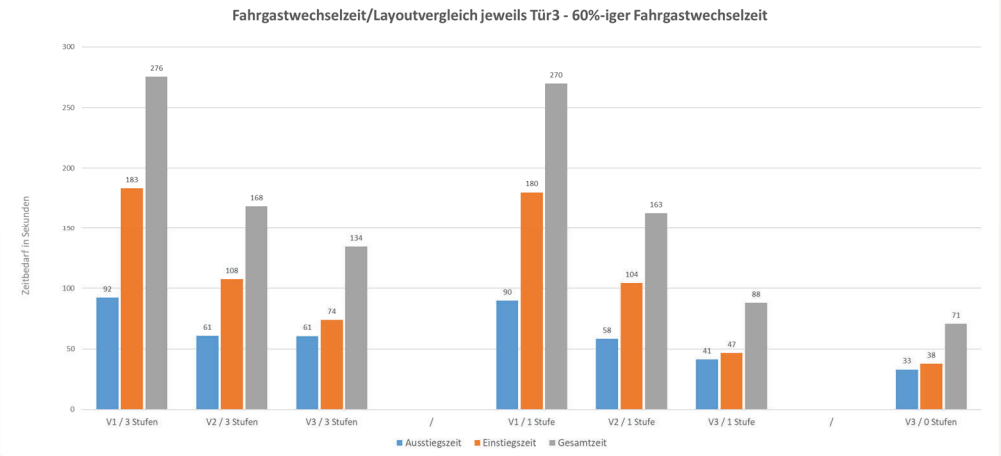


Fig. 7 *Passenger changeover time for a 60% passenger changeover ©netwiss, created from softwre TrainOptimizer®*

Obr. 7 *Čas výmeny cestujúcich pre 60 % výmenu cestujúcich ©netwiss, vytvorený zo softvéru TrainOptimizer®*

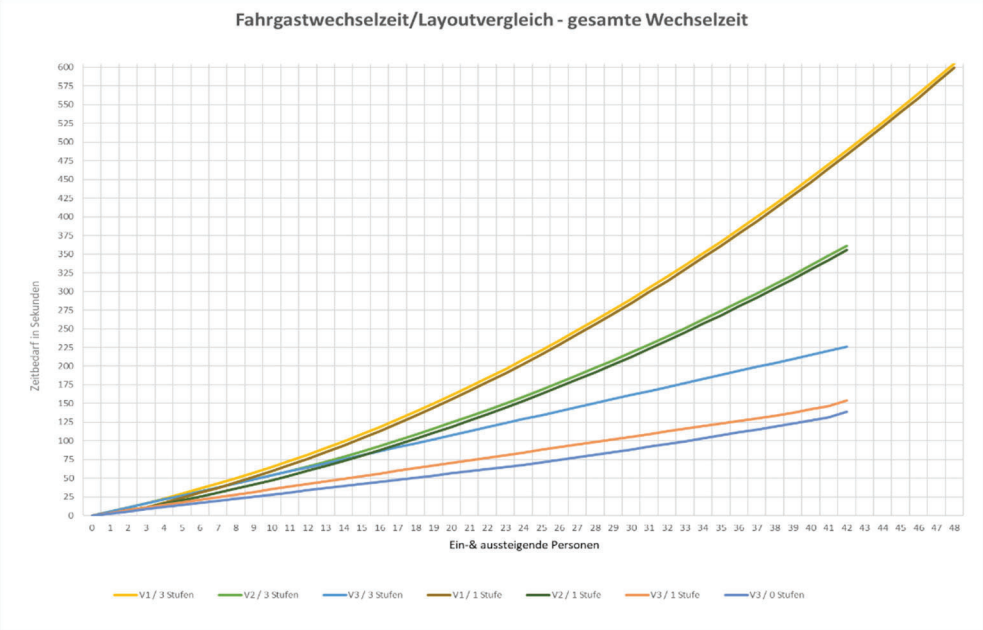


Fig. 8 *Passenger changeover time (boarding and alighting time) - progression over all passengers ©netwiss, created from software TrainOptimizer®*

Obr. 8 *Čas prestupu pasažierov (čas nástupu a výstupu) - priebeh cez všetkých cestujúcich ©netwiss, vytvorený zo softvéru TrainOptimizer®*

The following findings can be read with regard to the passenger changeover time:

Influence of luggage storage and door arrangement

When comparing the variants V1 and V2 with three steps, it can be seen that the 60% passenger changeover in the seat-maximised variant V1 with an average of 276sec takes 65% longer than in the variant V2 with adapted luggage accommodation capacity. Compared to variant V3 with the doors in the quarter points and also with three steps, the passenger changeover even takes slightly more than twice as long. Even if the number of passengers is normalised to a certain value in

Fig. the corresponding differences can be seen.

This comparison shows that with practically the same defacto seating capacity, the passenger changeover time can be significantly reduced by taking into account suitable and customer/interior-friendly luggage racks; if the door position is also taken into account, this time can even be halved.

Influence of the number of steps and the door arrangement

The number of steps generally has a noticeable influence on the passenger changeover time, as people need longer to negotiate several steps, especially in combination with luggage, than with level entrances or only one step. Nevertheless, it can be seen in ***fig. 7*** and in ***fig. 8***

Fig. that the influence of the number of steps has to be put into perspective, especially in long-distance traffic with a high share of luggage. With the V1 and V2 variants, it can be seen that despite a difference in the number of steps, with one and three steps respectively, there is hardly any difference in terms of passenger changeover time. At the exit, the difference is generally less noticeable; at the entrance, the influence of the adjacent

passenger compartment is clearly evident in both variants. In both variants, even in the "faster" variant V2 with higher luggage stowage capacity, the backlog from the interior already has an effect after a few passengers. Thus, after a few passengers, the bottleneck is no longer at the boarding door but in the interior of the vehicle. The time difference is therefore only a few seconds. Nevertheless, for reasons of passenger comfort and accessibility, the number of steps should always be kept as low as possible and, ideally, level access should be provided.

When considering variant V3, in which there is a splitting of the passenger flow after boarding the vehicle and thus the backlog effects from the interior spaces are significantly reduced, the difference in passenger changeover time between the presence of three steps, one step and a level boarding with gap bridging can be clearly seen. Due to the good passenger flow inside the vehicle, the boarding door now becomes the bottleneck again. With three steps, the passenger changeover time takes about 50% longer than with one step. With a level entrance with gap bridging, the passenger change takes only half as long as with three steps. Despite the passenger flow distribution, with a higher proportion of passengers at level boarding, a backlog effect from the interior becomes noticeable again, albeit to a lesser extent.

9 CONCLUSION

Dwell time is an important lever for increasing operational efficiency. Shorter dwell times in a clockface timetable mean lower required travel speeds with corresponding potential energy savings, higher travel time reserves and thus improved punctuality and, conversely, offer the possibility of reducing the travel time to achieve required edge travel times and help to avoid possibly expensive infrastructure expansions.

In order to be able to reduce the holding time accordingly to generate the above-mentioned benefits, the following factors are decisive and must be taken into account:

1) Sufficient and properly designed luggage racks
2) Avoiding unpopular areas, especially in local transport vehicles
3) Door arrangements shall be such that a division of passenger flow can be achieved after boarding.
4) As few entry steps as possible, ideally a level boarding with gap bridging, should be provided.
5) Door widths of at least 90 cm for long-distance traffic and at least 160 cm for short-distance traffic shall be provided.
6) After the boarding space, good passenger flow shall be provided, with aisle widths of at least 60cm and open areas such as multi-purpose compartments at the beginning of the aisle.
7) Vehicle concepts such as double-decker trains, multiple unit trains and trains with shorter car bodies and Jacob's bogies or single wheels lead to a reduction in structural weight per passenger with corresponding energy efficiency. Likewise, such vehicles also largely increase capacity.

If the above-mentioned design rules for rail vehicles are fully taken into account from the outset, the efficiency in the rail system can be significantly increased without additional expenditure, as an increase in capacity, a lower energy requirement, higher punctuality and, if necessary, the avoidance of more expensive route extensions can be achieved.

References

sources beyond the author's personal research knowledge:

[1] Frederich F.: ZEV-Glasers Analen 110 (1986), S124-134. **[2] Plank V**., Dimensionierung von Gepäckablagen in Reisezügen, Diploma thesis TU-Wien, 2008. **[3] Rüger B., Zajicek**

J., Turk M., Schöbel A.; Energy efficiency by optimizing passenger-changeover in the station, Third UIC Energy Efficiency Conference, Portoroz, 2007. **[4]** Application of the TrainOptimizer® simulation tool

♠ ♠ ♠

Summary

The vehicle design has a significant influence on the possible capacity and thus the performance of a route as well as on operational requirements such as punctuality, the achievement of edge running times and turnaround times, but also on economic and environmental criteria such as energy consumption.

Resumé

Konštrukcia vozidla má významný vplyv na možnú kapacitu, a tým aj výkonnosť trasy, ako aj na prevádzkové požiadavky, ako je presnosť, dosahovanie okrajových dôb a dôb obratu, ale aj na ekonomické a environmentálne kritériá, ako je spotreba energie.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.26

MODERNÍ SOUPRAVA METRA PRO ROZHOCHOD 1435 MM

MODERN METRO TRAIN FOR GAUGE 1435 MM

Pavel SÁLA[*)], **Kyrylo SKRYPACHOV**

1 ÚVOD

ŠKODA TRANSPORTATION a.s. vyhrála v roce 2020 významnou zakázku na dodávku 37 souprav metra pro město Varšava. Tato souprava metra pro rozchod 1435 mm je odvozená ze souprav metra pro město Petrohrad s rozchodem 1520 mm. Moderní souprava metra pro rozchod 1435 mm pro město Varšava je navržena podle norem EN. Tuto soupravu je možné dodávat kromě Varšavy také do dalších evropských měst, jako je Praha, Sofie, a Budapešť. Design soupravy metra pro město Varšava je uveden na ***obr. 1***. Fotografie je pořízena na ZŽO Velim, kde byla provedena řada testů a zkoušek.



Obr. 1 *Testování soupravy metra Varšava na ZŽO Velim*

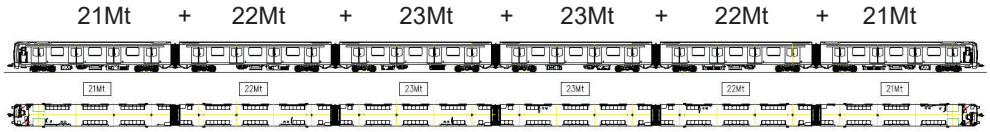
Fig. 1 *Testing of the Warsaw metro trainset at the ZŽO Velim*

[*)] **Ing. Pavel SÁLA, Ph.D.,** Rolling Stock Development, Product & project engineering management, Metro, ŠKODA TRANSPORTATION a.s, Emila Škody 2922/1, 301 00 PLZEŇ, M.: +420 378 186 067, e-mail, pavel.sala@skodagroup.com. 48 years old, Leader of Product Management Metro, deals with the development and construction of metro vehicles.

Ing. Kyrylo SKRYPACHOV, Tel. +420 378 186 605, e-mail: kyrylo.skrypachov@skoda group.com. 37 years old, Leader of Main Project Engineers Metro, deals with the development and construction of metro vehicles

2 ZÁKLADNÍ USPOŘÁDÁNÍ SOUPRAVY

Každá souprava metra se skládá z 6 vozů, které jsou navzájem spojeny pomocí mezivozových spřáhel a přechodových měchů. Souprava je plně průchozí, což znamená, že během jízdy vlaku mohou cestující volně procházet mezi jednotlivými oddíly po celé délce vlaku. Složení soupravy je uvedeno na ***obr. 2***.



Obr. 2 *Uspořádání vozů soupravy metra pro město Varšava*

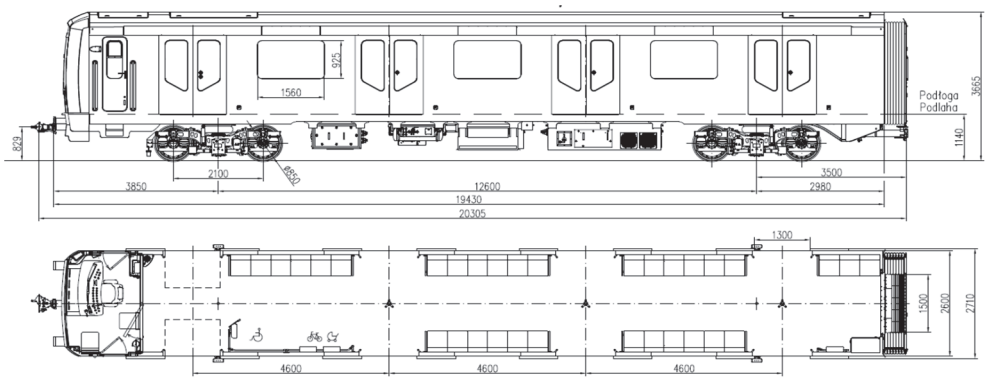
Fig. 2 *Arrangement of metro vehicle for the city of Warsaw*

Šestivozová souprava je tvořena dvěma shodnými trainsety ve složení 21Mt+22Mt+23Mt, které jsou spojeny a provozovány zády k sobě (zrcadlově). Hlavový motorový vůz typu 21Mt a motorový vložený vůz typu 22Mt jsou uloženy vždy na dvou dvounápravových trakčních podvozcích. Vložený bezmotorový vůz s označením 23Mt je uložen na dvou dvounápravových běžných podvozcích. Pro rychlý nástup a výstup cestujících jsou všechny typy vozů opatřeny na každé straně vozu čtyřmi dvoukřídlými dveřmi posuvnými po bočnici.

2.1 Technické parametry moderní soupravy metra

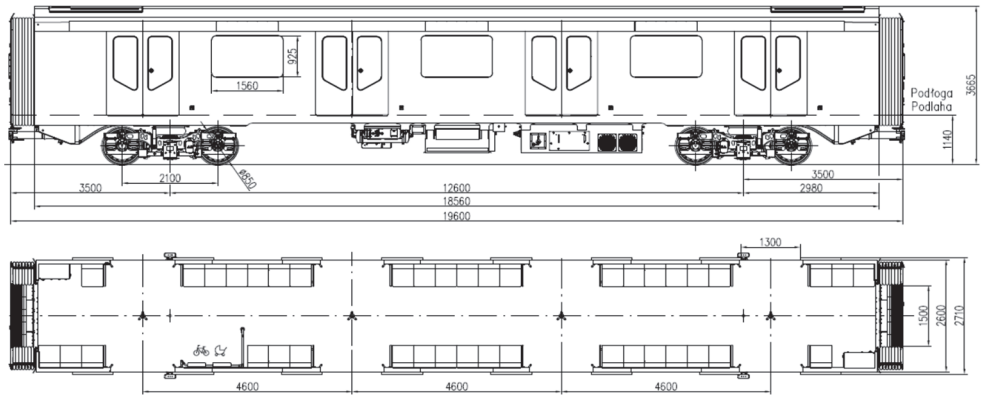
Základní rozměry vozů soupravy metra jsou uvedeny na ***obr. 3*** až ***obr. 5***. Technické parametry moderní soupravy metra pro město Varšava jsou následující:

Rozchod koleje	1 435 mm
Celkový počet sedících	230 osob
Celkový počet sedících + stojích (7 os./m^2) / (8 os./m^2)	1 500 / 1 680 osob
Celková hmotnost soupravy	160 400 kg (±5%)
Celková délka soupravy přes čela / přes spřáhla	118 300 mm / 119 010 mm
Trvalý výkon trakčních motorů	16 x 150 kW
Rozsah pracovních teplot	- 35°C až + 40°C
Maximální provozní rychlost	90 km/h
Průměrné zrychlení (0 – 25 km/h)	1,25 m/s^2
Jmenovité trakční napětí	750 V DC $^{+200V\ DC}$ / $_{-250V\ DC}$
Jmenovité napětí pomocné sítě	3x400 V/230 V, 50 Hz
Jmenovité napětí baterie	110 V DC
Maximální stoupání	45 ‰
Minimální poloměr oblouku na trati / v depu	190 / 70 m
Výška podlahy nad temenem kolejnice	1 140 mm
Průměr kol (nová/plně opotřebená)	850/780 mm
Požární odolnost	EN 45545-2, úroveň HL3



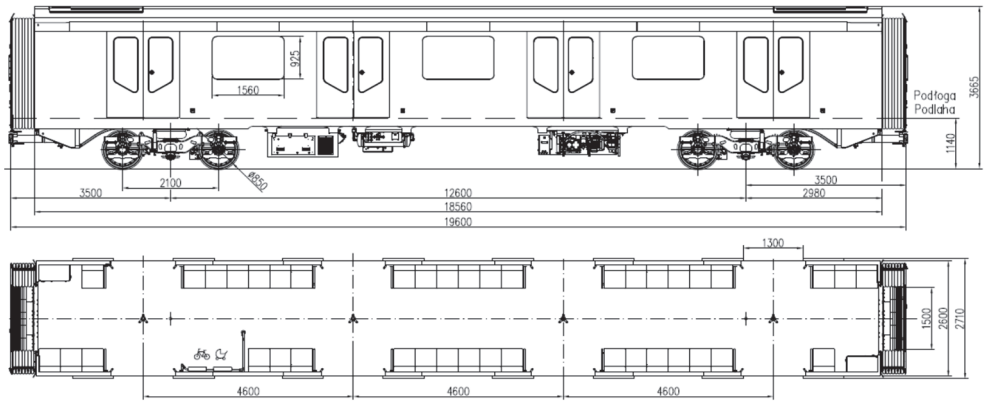
Obr. 3 *Základní rozměry vozu typu 21Mt*

Fig. 3 *Basic dimensions of the vehicle type 21Mt*



Obr. 4 *Základní rozměry vozu typu 22Mt*

Fig. 4 *Basic dimensions of the vehicle type 22Mt*



Obr. 5 *Základní rozměry vozu typu 23Mt*

Fig. 5 *Basic dimensions of the vehicle type 23Mt*

Obsaditelnost jednotlivých typů vozů soupravy metra a další parametry jsou uvedeny v následující ***TAB. 1***.

***TAB. 1** Základní parametry vozů soupravy metra pro město Varšava*
***TABLE 1** Basic parameters of metro vehicles for the city of Warsaw*

Popis parametrů vozů soupravy metra	Typy vozů		
	21Mt	22Mt	23Mt
Hmotnost prázdného vozu [kg] ± 3 %	29 500	27 500	23 200
Uspořádání náprav	Bo´ Bo´	Bo´ Bo´	2´ 2´
Počet míst k sezení	33	41	41
Obsaditelnost vozu sedící + stojící 7 osob/m^2	244	253	253
Obsaditelnost vozu sedící + stojící 8 osob/m^2	274	283	283

2.1 Technické parametry infrastruktury

Základní technické parametry infrastruktury metra Varšava jsou následující:

Rozchod koleje	1 435 mm
Minimální horizontální poloměr oblouku v tunelu	150 m
Minimální horizontální poloměr oblouku v depu	300 m
Minimální vertikální poloměr oblouku	1 500 m
Maximální sklon	45 ‰
Délka nástupiště	120 m
Výška nástupiště měřená od úrovně TK	1090 -1100 mm

3 SKŘÍŇ VOZU

3.1 Hrubá stavba

Hrubá stavba skříně vozů je svařená z hliníkových extrudovaných profilů. Hrubá stavba je složena z následujících modulů:

- Spodek
- Bočnice
- Střecha
- Čelní stěna

Konstrukce hrubé stavby splňuje normy:

- konstrukční a pevnostní požadavky EN 12663-1, kategorie P-III;
- nárazové požadavky na skříně kolejových vozidel EN 15227, kategorie C-II.

3.2 Interiér vozu

Podlaha vozu je vytvořena z vodovzdorné překližky o tloušťce 15 mm. Překližka je přilepená k hliníkovým profilům lepícím tmelem. Na překližku je přilepena podlahová krytina s protiskluzovou úpravou.

Dveře pro cestující jsou dvoukřídlé, posuvné po bočnici s elektrickým pohonem. Elektrický pohon je realizován jedním elektromotorem pro každé dveře. Řízení elektromotoru zajišťuje řídící jednotka umístěná u každých dveří.

Okna interiéru pro cestující jsou montovaná do pryžového profilu. Dvě okna v oddílu pro cestující, vždy jedno na každé straně vozu, zajišťují nouzový východ pro cestující.

Sedadla v salónu pro cestující jsou podélně uspořádaná plastové konstrukce doplněné látkovým potahem. Madla pro cestující jsou vyrobena z nerezové oceli opatřena povrchovou úpravou, která je provedena práškovou barvou. Interiér pro cestující je dále vybaven informačním systémem, kamerovým systémem a dvěma řadami osvětlovacích LED těles.

Přísun čerstvého vzduchu cestujícím zajišťuje ventilační systém. Množství dodávaného vzduchu je regulováno v závislosti na počtu cestujících, čidlu CO_2 a teplotě vzduchu v oddílu pro cestující. Maximální dodávané množství vzduchu je 7 900 m^3/h. Dvě ventilační jednotky umístěné na koncích vozu. Z ventilačních jednotek je vzduch distribuován centrálním kanálem. Vzduch z centrálního kanálu vstupuje do interiéru perforovaným stropem.

3.3 Z Kabina strojvedoucího

Uspořádání kabiny strojvedoucího je ovlivněno čelním evakuačním výstupem. Čelní evakuační výstup je umístěn v levé části kabiny ve směru jízdy. Z uvedeného důvodu je pult umístěný v pravé části kabiny. Dveře mezi prostorem pro cestující a kabinou strojvedoucího jsou umístěny v levé části kabiny, naproti evakuačním dveřím. Čelní evakuační výstup je řešen jako bezrámový, proto čelní sklo je nedělené, elektricky vyhřívané.

Příjemné pracovní prostředí v kabině zajistí klimatizační jednotka umístěná na střeše vozu. Klimatizační jednotka je vybavená topením. Přistup do kabiny zajišťují dvoje boční dveře.

4 ELEKTRICKÁ VÝZBROJ

4.1 Řídící obvody soupravy

Souprava je vybavena redundantním systémem nadřazeného řízení, které pracuje na bázi mikroprocesorové techniky. Nadřazené řízení zajišťuje sběr dat z jednotlivých subsystémů soupravy, které dále využívá pro řízení dalších subsystémů soupravy. Současně nadřazené řízení provádí diagnostiku vybraných subsystémů.

Řídící obvody jsou napájeny z průběžné bateriové sítě 110 V DC. Bezúdržbové baterie 110 V DC s centrálním doléváním jsou umístěny na bezmotorových vozech typu 23Mt pod vozem.

4.2 Trakční a pomocné obvody

Trakční měniče jsou řešeny inteligentními IGBT moduly, které jsou chlazené vzduchem a jsou umístěny v trakčních kontejnerech, které jsou zavěšeny pod vozem motorových vozů typu 21Mt a 22Mt. Řešení trakčních obvodů umožňuje realizovat elektrodynamickou brzdu s rekuperací, případně rekuperační brzdu v kombinaci s odporovou brzdou, včetně možnosti samotné odporové brzdy pro případ, že napájecí síť není schopna přijímat žádnou energii. Brzdové odporníky jsou přirozeně chlazené vzduchem.

Pomocné pohony jsou umístěny na vozech typu 23Mt společně s bateriovou skříní a kompresorem. Pomocné pohony obsahuji nabíječ vozové baterie a střídač pro napájení příslušných pomocných pohonů – kompresorového soustrojí, klimatizací kabiny.

5 BRZDOVÁ VÝZBROJ

Hlavní provozní brzdou soupravy metra je elektrodynamická brzda s možností rekuperace, případně s možností mařit energii v brzdovém odporníku. Souprava je vybavena elektropneumatickou jednopotrubní brzdou, která je v případě výpadku elektrodynamické brzdy schopna zajistit dostatečný brzdový účinek. V případě výpadku

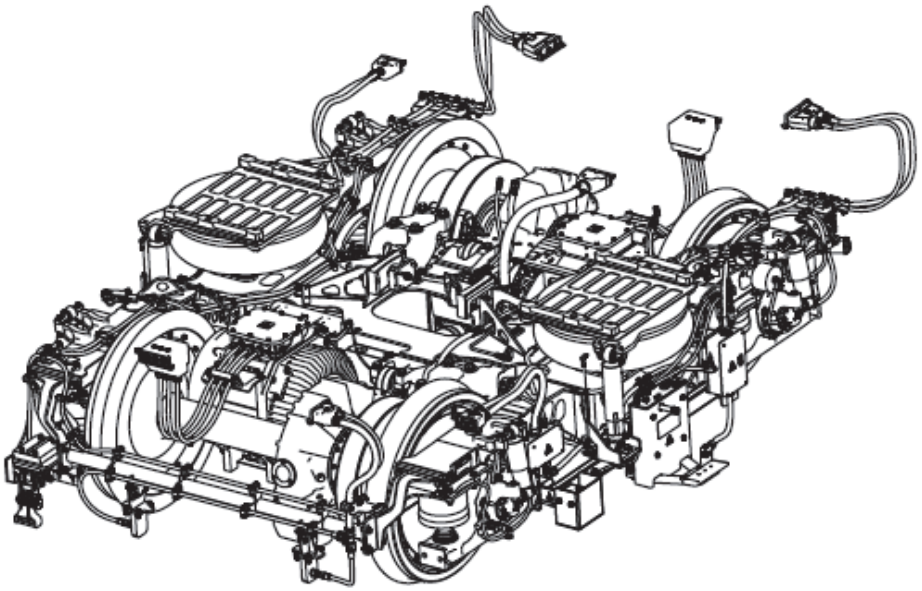
elektrodynamické brzdy je elektropneumatická brzda řízena v závislosti na velikosti požadované brzdné síly.

6 PODVOZKY SOUPRAVY METRA

Na soupravě pro metro Varšava jsou použity dva typy podvozků. Vývoj obou typů podvozků vycházel ze zkušeností stavby podvozků pro metro Petrohrad a zkušebních podvozků typu 11Mt. Koncepce podvozků je zvolena s ohledem na dlouhou životnost s minimálními udržovacími náklady.

6.1 Trakční podvozek

Konstrukce trakčního podvozku zajišťuje dobré jízdní a chodové vlastnosti do maximální konstrukční rychlosti vozidla (90 km/h). 3D pohled na dvounápravový trakční podvozek je uveden na ***obr. 6***.



Obr. 6 *Trakční podvozek*

Fig. 6 *Traction bogie*

Rám podvozku je otevřeného typu H složený ze dvou podélníků, hlavního příčníku a dvou čelníků. Jednotlivé podsestavy rámu podvozku jsou svařovány z plechů a odlitků.

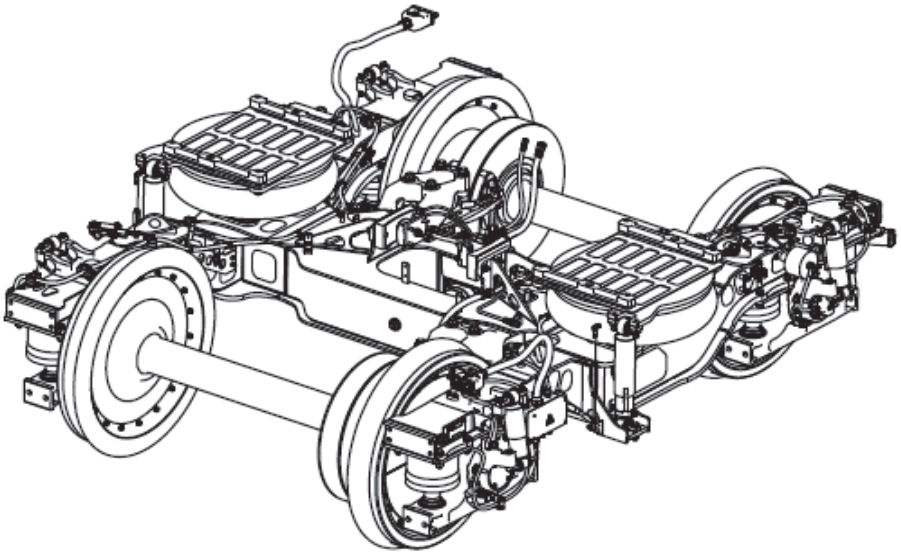
Individuální pohon dvojkolí trakčního podvozku zajišťují dva příčně uložené trakční asynchronní motory, přišroubované ke střednímu příčníku podvozku. Přenos výkonu z motoru na dvojkolí je realizován jednostupňovou závěskovou převodovkou a zubovou spojkou. Mechanická zubová spojka umožňuje vzájemné relativní radiální, axiální a úhlové pohyby mezi trakčním motorem a převodovkou.

Trakční i běžný podvozek je vybaven dvoustupňovým, tj. primárním a sekundárním vypružením. Primární vypružení je realizováno pryžokovovou pružinou. Sekundární vypružení je tvořené vzduchovým měchem doplněným do série pryžovou pružinou. Primární vypružení je doplněno svislými tlumiči a sekundární vypružení je doplněné svislými a příčnými hydraulickými tlumiči.

Trakční a brzdné síly jsou z rámu podvozku na skříň vozu přenášeny přes podélné narážky a otočný čep. K omezení maximálního příčného pohybu slouží pryžové narážky s pevným dorazem.

6.2 Běžný podvozek

Jedním z cílů při vývoji obou typů podvozků byla snaha o maximální možné sjednocení použitých komponentů. Oba podvozky mají většinu komponent shodnou, běžný podvozek není vybaven komponenty souvisejícími s trakčním pohonem, obě nápravy každého běžného podvozku jsou vybaveny parkovací (střadačovou) brzdou. 3D pohled na běžný podvozek je na ***obr. 7***.



Obr. 7 *Běžný podvozek*
Fig. 7 *Trailer bogie*

5 ZÁVĚR

Vývoj moderní soupravy pro město Varšava byl významným milníkem v produktu metra v ŠKODĚ TRANSPOTATION a.s. Tento vývoj přinesl novou soupravu, která je navržená podle norem EN. Důslednou optimalizací každého komponentu šestivozové soupravy bylo dosaženo velmi nízké hmotnosti soupravy 160,4 t. Souprava plní pevnostní požadavky EN 12663-1, kategorie P-III; nárazové požadavky podle normy EN 15227, kategorie C-II a také normu požární odolnosti EN 45545-2 pro nejvyšší úroveň HL3. Souprava metra je vybavena diagnostickým systémem všech důležitých komponent. Tyto skutečnosti pomohly dosáhnout zvýšení komfortu a bezpečnosti obsluhy i cestujících. Na základě zkušeností z předchozích projektů byla provedena optimalizace jednotlivých údržbových intervalů, což by mělo přinést snížení nákladů na údržbu a opravy.

Jak již bylo řečeno v úvodu, jedná se o významnou zakázku, která pomohla vyvinout soupravu metra evropských parametrů vhodnou pro střední Evropu a východní Evropu.

Literatura

[1] Sála, P. Červenka Z., Hora. M.: Výzkum v oblasti jízdních vlastnosti podvozků typu 11Mt vozu metra a využití výsledků u projektů vozů metra. Sborník přednášek XXIV Medzinárodná konferencia Súčasné problémy v koľajových vozidlách – PRORAIL 2019, VTS pri Žilinskej univerzitě, 2019 ISBN (978-80-89276-59-2). **[2] Sála, P.**: Souprava metra NeVa pro rozchod 1520. Sborník přednášek XXII Medzinárodná konferencia Súčasné problémy v koľajových vozidlách – PRORAIL 2015, VTS pri Žilinskej univerzitě, 2015 ISBN (978-80-89276-49-3). **[3] Sála, P. Vápeník Z.**: Prototypová souprava metra pro rozchod 1520 mm. Sborník přednášek XIX. Konference s mezinárodní účastí Současné problémy v kolejových vozidlech, Univerzita Pardubice, 2009 ISBN (978-80-7395-199-3).

♠ ♠ ♠

Resumé

Příspěvek popisuje základní parametry šestivozové soupravy vozů metra pro rozchod 1435 mm. V úvodu článku je uvedeno uspořádání šestivozové soupravy, která je složena ze dvou shodných trainsetů ve složení 21Mt+22Mt+23Mt. Tyto trainsety jsou spojeny a provozovány zády k sobě (zrcadlově). Jedná se o hlavový motorový vůz typu 21Mt a motorový vložený vůz typu 22Mt a vložený bezmotorový vůz typu 23Mt. Dále jsou uvedeny základní technické parametry jednotlivých typů vozů a parametry šestivozé soupravy (např. základní rozměry vozů a soupravy, obsaditelnost vozů a soupravy, hmotnosti vozů, a další parametry), které jsou doplněny typovými listy jednotlivých vozů. Následuje kapitola s názvem Hrubá stavba, ve které je popsaná konstrukce hrubé stavby. Hrubá stavba skříně vozu plní pevnostní požadavky podle EN 12663-1, kategorie P-III a požadavky na nárazovou odolnost podle EN 15227, kategorie C-II. Popis základních elektrických komponent a jejich rozmístění je uveden v kapitole elektrická výzbroj a popis pneumatické výzbroje soupravy metra v kapitole brzdová výzbroj. Souprava je vybavena trakčním a běžným podvozkem shodné konstrukce, jejichž popis je uveden v kapitole podvozky. Podvozky jsou klasické konstrukce s rámem typu H. Individuální pohon náprav zajišťuje trakční asynchronní motor, zubová spojka a jednostupňová závěsková převodovka.

ŠT vývojem získala moderní novou soupravu metra s nízkou hmotností, která je navržená podle norem EN. Souprava metra plní požární odolností podle EN 45545-2 pro nejvyšší úroveň HL3. Souprava metra je vybavena diagnostickým systémem všech důležitých komponent. Tyto skutečnosti pomohly dosáhnout zvýšení komfortu a bezpečnosti obsluhy i cestujících.

Summary

The paper describes the basic parameters of a six-car set of metro for a gauge of 1435 mm. In the introduction of the paper, the layout of the six-car set is presented, which is composed of two identical trainsets of 21Mt+22Mt+23Mt. These trainsets are connected and operated back to back (mirror). There are the 21Mt head motor car and the 22Mt motor intermediate car and the 23Mt trailer intermediate car. The following are the basic technical parameters of the individual car types and the parameters of the six-car set (e.g. basic dimensions of the cars and the set, occupancy of the cars and the set, car weights, and other parameters), which are supplemented by the type list of the individual cars. This is followed by a chapter titled car body structure, which describes the construction of the body structure. The body structure of the car fulfils the strength requirements according to EN 12663-1, category P-III and the crashworthiness requirements according to EN 15227, category C-II. A description of the basic electrical components and their arrangement is given in the electrical equipment chapter and a description of the pneumatic equipment of the metro set in the braking

equipment chapter. The traction unit is equipped with traction and trailer bogies of identical design, the description of which is given in the chapter on bogies. The bogies are of conventional construction with a frame type H. The individual axle drive is provided by a traction asynchronous motor, a toothed clutch and a single-speed overdrive gearbox.

Through the development, ŠT has acquired a modern new low-weight metro set designed according to EN standards. The metro set meets the fire resistance requirements of EN 45545-2 for the highest level HL3. The metro set is equipped with a diagnostic system for all important components. These facts have helped to achieve an increase in comfort and safety for both operators and passengers.





26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.27

VÝZKUM SNÍŽENÍ NÁSLEDKŮ NEHOD TRAMVAJÍ S AUTY

RESEARCH ON REDUCING THE CONSEQUENCES OF ACCIDENTS BETWEEN TRAMS AND CARS

Jakub SEIDL[*)]

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 tramvají 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 odklízení následků nehod je daný úsek tramvajové trati neprůjezdný, což vede ke zpoždění ostatních tramvajových spojů, nutnosti zavádět objízdné trasy a nelibosti cestujících. [1]

Podle vyhodnocení statistiky nehodovosti tramvají na území České republiky za roky 2016 až 2018 bylo v 7 městech zaznamenáno 5 046 nehod tramvají s auty, to je více než 4 nehody denně. Typem nehod s nejzávažnějšími následky na zdraví řidičů aut byl náraz čela tramvaje do boku auta. Při tomto typu nehod došlo ke zranění 141 řidičů v autech (při 17 % ze všech nehod tohoto typu). [1]

Většina dopravních nehod byla nejčastěji způsobena lidskou chybou. V silniční dopravě je bohužel často za tyto chyby placeno cennou nejvyšší, a to zdravím nebo životem. Návrh nově



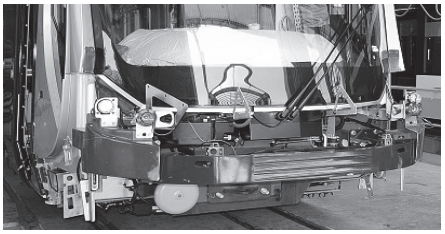
Obr. 1 *Následky nehody tramvaje s autem, zdroj: idnes.cz.*

Fig. 1 *Consequences of a tram-car accident.*

[*)] **Ing. Jakub SEIDL,** 29 let, Fakulta strojní ČVUT v Praze, doktorand na ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel, školitel doktoranda je doc. Ing. Josef Kolář, CSc., tel.: +420 728 874 324, email: jakub.seidl@fs.cvut.cz.

konstruovaných vozidel musí být prováděn s vědomím, že lidé dělají chyby a že nelze s absolutní jistotou zabránit vzniku dopravních nehod. Nově konstruovaná vozidla tak musí být vybavována dokonalejšími prvky pasivní bezpečnosti, které povedou k mírnění následků nehod. Tento přístup 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 pravidla a opatření dopravního systému a vozidel, 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 ***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.*

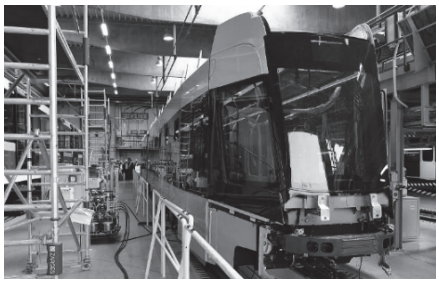
Fig. 2 *Tram bumper.*



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

Fig. 3 *Tram crush box.*

V průběhu zkoumaného období 2016 až 2018 byly na území České republiky provozovány většinou tramvaje staršího data výroby, které nebyly konstruovány podle požadavků normy EN 15227. Například lze uvést tramvaje typu T3, ŠKODA 14T a ŠKODA 15T. V posledních letech dochází u dopravních podniků v ČR k obnově vozidlového parku. Například lze uvést nové tramvaje od firmy Stadler a ŠKODA, které jsou v provozu v Ostravě, viz obrázky ***obr. 4*** a ***Obr. 5***. Tyto tramvaje jsou konstruovány podle požadavků normy EN 15227. Vliv zavedení normy EN 15227 na následky nehod tramvají s auty tak nemohl být vyhodnocením vytvořené statistiky nehodovosti stanoven. [1]



Obr. 4 *Tramvaj ŠKODA 39T Ostrava, zdroj: sokolovsky.denik.cz.*

Fig. 4 *Tram ŠKODA 39T Ostrava.*



Obr. 5 *Tramvaj Stadler Tango NF2, zdroj: cs-dopravak.cz.*

Fig. 5 *Tram Stadler Tango NF2.*

Pro možnost posouzení vlivu konstrukce EN 15227 na následky nehod tramvají s auty byly vytvořeny zjednodušené simulační modely nehod tří tramvají s auty. Zvolené tramvaje reprezentovaly různé tramvaje provozované v roce 2022 na území České republiky s rozdílnou konstrukcí čel. Tramvaje byly označeny jako tramvaj typu A, B a C, viz obrázek ***obr. 6***. Tramvaje byly v modelech reprezentovány pouze jejich kabinami, kterým byly přiřazeny hmotové parametry celých tramvají. [1]

Riziko zranění řidičů aut bylo vyhodnocováno podle biomechanického kritéria člověka 3 ms, které stanovuje riziko zranění z průběhu zrychlení hlavy řidiče. Podle požadavků organizace Euro NCAP nesmí být zrychlení hlavy řidiče po dobu 3 ms větší než 72 g. [4]



Obr. 6 *Modely nehod tramvají typu A, B a C s autem.*

Fig. 6 *Models of an accident between trams type A, B and C and a car.*

Z vyhodnocení simulací vyplynulo, že největší riziko vzniku zranění řidičů v autech hrozí při nehodě s tramvají typu B, která byla konstruována podle požadavků normy EN 15227. Nejmenší riziko zranění řidiče auta hrozilo při nehodě s tramvají typu A, která nebyla konstruována podle požadavků normy EN 15227 a přitom měla největší kolizní hmotnost. Z výsledků simulací byl stanoven závěr, že konstrukce čel tramvají podle požadavků normy EN 15227 vede ke snížení následků nehod cestujících v tramvajích, ale může vést ke zhoršení následků nehod cestujících v kolizních vozidlech. [1]

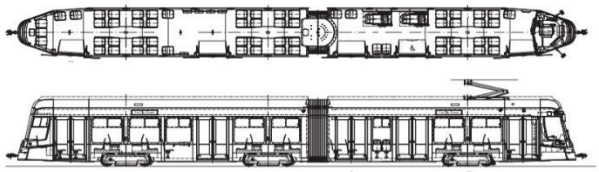
Tento článek uvádí závěry z dílčích prací na výzkumu snížení následků nehod tramvají s auty, který je prováděn na fakultě strojní ČVUT v Praze. První část článku je věnována popisu tvorby komplexního simulačního modelu tramvaje typu B. Druhá část článku je věnována analýze parametrů deformačních prvků tramvají na následky nehod tramvají s auty.

2 TVORBA KOMPLEXNÍHO SIMULAČNÍHO MODELU

Z provedených simulací se zjednodušenými simulačními modely bylo dosahováno nejvyššího rizika zranění cestujících v autech při nehodě s tramvají typu B. Tramvaj typu B byla proto zvolena pro další výzkum snížení následků nehod tramvají s auty.

Zjednodušené simulační modely reprezentovaly pouze kabinu zvolených tramvají, kterým byly přiřazeny hmotnostní parametry celých tramvají. Výhodou zjednodušených modelů byla jejich snadnější tvorba a kratší výpočtový čas simulací. Omezením zjednodušených simulačních modelů bylo nerespektování reálné koncepce tramvaje, rozložení hmotnost tramvaje a nepostihnutí pohybů tramvaje při nehodě. Pro zpřesnění simulačních výsledků a reprezentace reálné nehody bylo přistoupeno k tvorbě komplexního simulačního modelu tramvaje typu B. [5]

Simulační model tramvaje typu B byl vytvořen s ohledem na co největší přesnost reprezentace reálné tramvaje. Model tramvaje byl vytvořen podle volně dostupných podkladů a zkušeností pracovníků ú12120 na fakultě strojní ČVUT v Praze.



Obr. 7*Typový výkres tramvaje typu B, zdroj: Skodagroup.com.*

Fig. 7 *Drawing of a tram type B.*

Tramvaj typu B je dvoučlánková tramvaj se třemi podvozky. Délkové rozměry tramvaje a pozice podvozků a sedaček cestujících byly odměřeny z typového výkresu tramvaje, viz obrázek ***obr. 7***. Přední podvozek byl v simulačním modelu uvažován jako netrakční a oba podvozky zadního článku byly uvažovány jako trakční. [5]

2.1 Hmotnostní analýza tramvaje typu B

Hmotnostní analýza tramvaje typu B byla provedena podle zkušeností pracovníků ú12120 na fakultě strojí ČVUT v Praze a znalosti kolizní hmotnosti tramvaje 38 935 kg. [6]

Kolizní hmotnost tramvaje byla rozdělena do těchto hlavních konstrukčních celků: přední a zadní článek, cestující v předním a zadním článku, elektrická výzbroj na střeše a podvozky tramvaje. Hmotnostní analýza je uvedena v tabulce ***TAB. 1***.

TAB. 1 *Hmotnostní analýza tramvaje typu B. [6]*

TABLE 1 *Mass analysis of tram type B.*

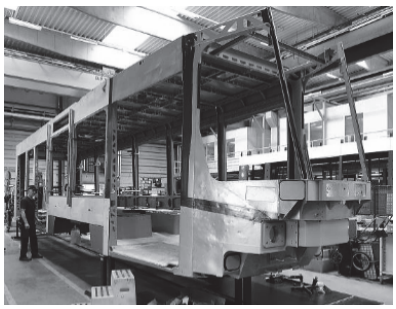
Popis konstrukčního celku	**Hmotnost [kg]**
Přední článek	10 177
Zadní článek	12 373
Elektrická výzbroj (přední článek)	1 015
Elektrická výzbroj (zadní článek)	1 570
Podvozek 1 (netrakční)	2 900
Podvozek 2 a 3 (trakční)	4 400
Cestující (přední článek)	770
Cestující (zadní článek)	1 330
Kolizní hmotnost tramvaje	**38 935**

2.2 Tvorba 3D modelu tramvaje typu B

3D model celé tramvaje byl vytvořen v programu CATIA V5 jako podklad pro tvorbu MKP modelu jednotlivých článků a podvozků a stanovení hmotových parametrů jednotlivých částí modelu, které byly v simulačním modelu definovány pomocí hmotných bodů, tedy pro modely cestujících a elektrické výzbroje. [5]

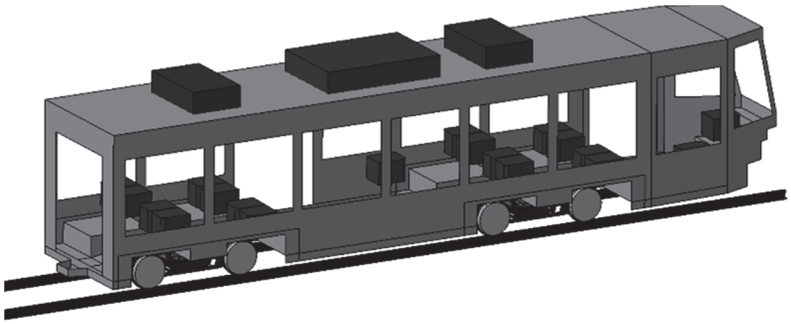
Rozměry hrubých staveb článků byly odměřeny z typového výkresu tramvaje, viz obrázek ***obr. 7***, a volně dostupných fotografií konstrukce tramvaje, viz obrázek ***obr. 8***. [5]

Finální podoba 3D modelu zadního článku tramvaje je znázorněna na ***obr. 9***.



Obr. 8 *Konstrukce tramvaje typu B, zdroj: zdroj: plzensky.denik.cz*.

Fig. 8 *Construction of a tram type B.* *plzensky.denik.cz*.



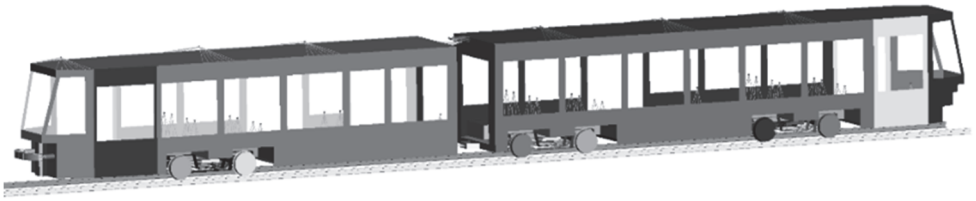
Obr. 9 *Simulační model tramvaje typu B. [5]*

Fig. 9 *3D model of the rear article of tram type B.*

2.3 Tvorba simulačního modelu tramvaje typu B

Simulační model tramvaje byl vytvořen v softwarech Ansys a LS-Prepost z dříve vytvořeného 3D modelu. Při tvorbě modelu byl zaveden předpoklad, že z důvodu vysoké pevnosti hrubých staveb článků tramvají nedochází př nehodě s auty k jejich plastické deformaci. Argumentací byla velikost podélných sil, které musí být hrubé stavby článků schopny přenést po celou dobu životnosti, a maximální síly deformující deformační prvky tramvají. Podle uvedeného předpokladu byly modely článků při výpočtu uvažovány jako dokonale tuhá tělesa. Tento předpoklad měl za následek menší chybu výzkumu, než kdyby byly modely tramvají uvažovány jako poddajné a při simulacích docházelo k nereálným deformacím tramvají a menším deformacím aut. [5]

Jednotlivé části simulačního modelu byly mezi sebou propojeny silovými prvky reprezentující vazby a prvky vypružení. Typy silových prvků v simulačním modelu byly voleny tak, aby byla co nejvěrněji reprezentována konstrukce reálné tramvaje. Finální podoba simulačního modelu tramvaje typu B je znázorněna na obrázku ***obr. 10*** [5]



Obr. 10 Simulační model tramvaje typu B. [5]

Fig. 10 Simulation model of tram type B.

3 ANALÝZA VLIVU PARAMETRŮ DEFORMAČNÍCH PRVKŮ TRAMVAJÍ NA NÁSLEDKY NEHOD NA AUTA

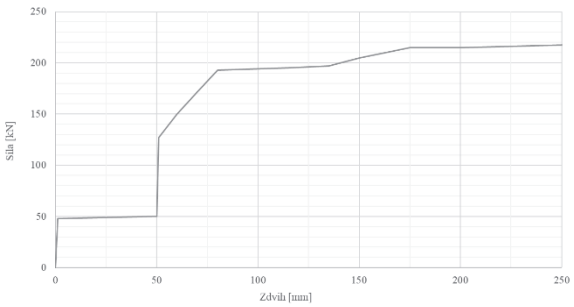
Snížení následků nehod tramvají s auty může být dosaženo aplikací poznatků z oblastí kompatibility tuhostí a geometrie silničních vozidel při nehodě na parametry deformačních prvků tramvají, jelikož jsou prvním prvkem tramvaje, který při nehodě přichází do kontaktu s kolizním vozidlem.

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 typu B. 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.

3.1 Vliv charakteristiky 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 umístění měkčích absorpčních prvků před nárazník či progresivní počátek charakteristiky současných nárazníků při zachování zbylého průběhu charakteristiky deformačních prvků. Při nehodě by tak měla být energie absorbována oběma vozidly a ne pouze lehčím vozidlem, tedy autem.



Obr. 11 *Uvažovaná charakteristika deformačních prvků*.

Fig. 11 *Considered characteristic of the deformation element.*

Cíl výzkumu nebylo konstrukční řešení navrhovaných úprav, ale stanovení vlivu těchto změn na následky nehod. Z tohoto důvodu bylo možné obě navrhovaná řešení v simulačním modelu reprezentovat stejně, a to zvětšením zdvihu deformačních prvků a změkčením počátku deformační charakteristiky. Ukázka uvažované deformační charakteristiky je znázorněna na obrázku ***obr. 11.***

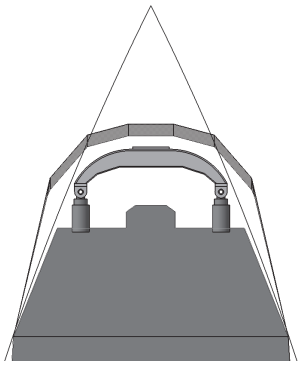
Při výzkumu byla uvažována tuhost změkčené charakteristiky deformačních prvků v rozpětí 50.0 kN/mm do 112.5 kN/mm s krokem 12.5 kN/mm. Původní charakteristika deformačních prvků tramvaje typu B má počátek v tuhosti 125 kN/mm. Simulace nárazu byly provedeny pro každou tuhost změkčené charakteristiky deformačních prvků. Výsledky biomechanického kritéria člověka 3 ms pro jednotlivé tuhosti jsou uvedeny v ***TAB. 2***.

TAB. 2 *Vyhodnocení biomechanického kritéria 3 ms pro jednotlivé tuhosti.*

TABLE 2 *Evaluation of the 3 ms biomechanical criterion for individual stiffnesses*.

Tuhost [kN/mm]	Hodnota kritéria [-]	Hodnota kritéria [%]
50.0	84.7	78.0
62.5	98.5	90.7
75.0	100.8	92.8
87.5	106.5	98.0
100.0	107.3	98.8
112.5	107.9	99.4
125.0	**108.6**	**100.0**

3.2 Vliv výškové pozice deformačních prvků nad rovinou TK



***Obr. 12** Kontrola přesahu obrysu.*

***Fig. 12** Check of tram envelope.*

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 [7], a požadavkem na tvar čela s ohledem na bezpečnost chodců při nehodě s tramvají, viz technická zpráva [8]. Návrh parametrů nárazníků je jinak zcela v kompetenci výrobce tramvaje. 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. 12***.

Při výzkumu byla uvažována výšková pozice deformačních prvků v rozpětí od 400 mm do 700 mm s krokem 100 mm. Simulace byly provedeny pro každou výškovou pozici deformačních prvků. U původní konstrukce tramvaje typu B byly osy deformačních prvků umístěny ve výšce 775 mm nad rovinou TK. Výsledky biomechanického kritéria 3 ms pro jednotlivé výškové pozice deformačních prvků jsou uvedeny v tabulce ***TAB. 3***.

***TAB. 3** Vyhodnocení biomechanického kritéria 3 ms pro jednotlivé výškové pozice.*

***TABLE 3** Evaluation of the 3 ms biomechanical criterion for individual vertical positions.*

Výšková pozice [mm]	Hodnota kritéria [-]	Hodnota kritéria [%]
400	44.9	41.4
500	57.8	53.2
600	78.8	72.6
700	100.9	93.0
775	**108.6**	**100.0**

4 ZÁVER

Úpravou obou parametrů deformačních prvků došlo ke zmenšení rizika vzniku zranění řidiče auta při nehodě s tramvají oproti počáteční koncepci čela tramvaje.

Změna počátku charakteristiky deformačních prvků nevedla k poklesu hodnot biomechanického kritéria 3 ms pod limitní hodnoty, a tak stále hrozí riziko těžkého zranění řidiči auta. Změna výškové pozice deformačních prvků nad rovinou TK vedla k poklesu hodnot biomechanického kritéria 3 ms pod limitní hodnoty. Umístěním deformační prvků do výšky 400 mm nad rovinu TK, do výšky, kde jsou umístěny podélné prahy aut, došlo ke snížení hodnoty kritéria skoro o 60 %. Při nehodě auta s tramvají při rychlosti 25 km/h by řidiči auta nehrozil vznik těžkého zranění.

Z výzkumu vyplynulo, že pouhou výškovou pozici deformačních prvků lze výrazně snížit riziko zranění cestujících v autech. Oproti úpravě charakteristiky nevede změna výškové ke složitější konstrukci deformačních prvků a tím i zvýšení pořizovací ceny a hmotnost deformačních prvků.

V rámci dalšího výzkumu bude provedeno posouzení navržených úprav čel tramvají na následky nehod s ostatními účastníky silničního provozu, jako jsou nákladní auta a autobusy. Navržené změny nesmí snížit odolnost při nehodě s jiným vozidlem a tím zvýšit riziko zranění cestujících a posádek tramvají. Závěr výzkumu bude vytvoření metodiky pro návrh čel tramvají s ohledem na snížení následků nehod tramvají s auty.

Zkušenosti získané při řešení tohoto výzkumu budou aplikovány na výzkum snížení následků nehod regionálních železničních vozidel s auty, který je řešen v rámci projektu TN01000026 na stejném pracovišti.

Literatura

[1] Seidl, J.: The influence of the construction of tram fronts on the consequences of accidents with passenger cars. Fakulta dopravní. ČVUT v Praze. 2022. **[2] Holst, H.; Nygren, A.; Thord, R.**: Transportation, Traffic Safety and Health. SpringerVerlag GmbH. Berlín, Německo. 1997. ISBN 978-3-662-03409-5. **[3] Česká technická norma:** ČSN EN 15227, Železniční aplikace – Požadavky na kolizní odolnost kolejových vozidel. Český normalizační institut. Praha. 2021. **[4] Euroncap.com:** Assessment protocol aop v913. Dostupné online: euroncap.com (přístup 15. srpna 2022). **[5] Seidl, J.:** Tvorba simulačního modelu nehody tramvaje s autem. Česká Třebová. Fakulta stavební, ČVUT v Praze. 2023. **[6] Seidl, J.:** Vliv konstrukce čela tramvaje na následky nehod s osobními automobily. Jihlava. Fakulta stavební, ČVUT v Praze. 2022. ISBN 978-80-01-07046-8. **[7] Česká technická norma:** ČSN 28 0318: Průjezdné průřezy tramvajových tratí a obrysy pro vozidla provozovaná na tramvajových dráhách. Český normalizační institut. Praha. 2015. **[8] Technické doporučení:** CEN/TR 17420, Railway applications – Vehicle end design for trams and light rail vehicles with respect to pedestian safety. European committee for standardization. Brusel, Belgie. 2020.

♠ ♠ ♠

Resumé

Článek shrnuje dosud získané poznatky v oblasti snížení následků nehod tramvají s auty. První část článku uvádí čtenáře do problematiky nehodovosti tramvají a důvody, proč je nutné se problematice snížení následků nehod tramvají věnovat. Druhá část článku popisuje tvorbu simulačního modelu nehody tramvaje s autem, na kterém byl prováděn výzkum. Poslední část článku představuje analýzu parametrů deformačních prvků na následky nehod tramvají s auty.

Summary

The paper summarizes the findings obtained so far in the research of reducing the consequences of tram and car accidents. The first part of the article introduces the reader to the issue of tram accidents and the reasons why it is necessary to address the issue of reducing the consequences of tram and car accidents. The second part of the article describes the development of a simulation model of a tram and car accident on which the research was conducted. The last part of the paper presents the analysis of the parameters of the deformation elements on the consequences of tram and car accidents.

Acknowledgments

The paper was created with the financial support of the Technology Agency of the Czech Republic, project No TE01020054 „Božek Vehicle Engineering – National Competence Center“.

26th INTERNATIONAL CONFERENCE
„CURRENT PROBLEMS IN RAIL VEHICLES - PRORAIL 2023“
September 20 – 22, 2023, Žilina, Slovakia

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.28

METROLOGICAL CONFIRMATION OF THE TRACK GEOMETRY MEASURING SYSTEMS BY THE DB NETZ AG

METROLOGICKÉ SKÚŠKY SYSTÉMOV NA MERANIE GEOMETRIE TRATE U DB NETZ AG

Bohdana SLOVÁK, Jörg SCHMEISTER[*)]

1 INTRODUCTION

Among other things, the quality of the track and in particular good track geometry is indispensable for safe and reliable railway operation. As part of quality assurance and the legal requirements resulting from the national railway regulations, the railway network must be regularly inspected and maintained. To obtain information about the current track condition as quickly and effectively as possible, DB Netz AG uses several different track recording vehicles equipped with highly complex different measuring systems. However, before such measuring vehicles can be used, the measuring and evaluation technology must be tested in advance against the DB requirements.

2 MEASUREMENT OF TRACK GEOMETRY

The principal parameters describing the track geometry such as track gauge, longitudinal level, alignment, cross level, and twist are defined in the European Standard EN 13848 - 1 [1]. This document also specified the minimum requirements for measurement and analysis procedures. The main goal of this standardization is to ensure the comparability of results between different measuring systems.

2.1 Testing of track geometry recording systems according to EN 13848-2

The requirements for track geometry measuring systems are described in different parts of EN 13848. For the track recording vehicles used for regular inspection of the track geometry quality, the procedure defined in Part 2 of EN 13848 [2] is relevant.

To ensure effective and correct operation of the measuring equipment and the corresponding processing system, the measuring system and the entire measuring process must be tested regularly. This includes calibration and adjustment of the sensors as well as validation by static and dynamic tests.

[*)] **Dr.-Ing. Bohdana SLOVÁK**, DB Netz AG, Richelstraße 3, 80634 Munich, Germany, +49 15237538571, bohdana.slovak@deutschebahn.com, 46 years, concerned with vehicle-track interaction; responsible for metrological assessment of measuring systems used for track inspection by DB.

Dipl.-Ing. Jörg SCHMEISTER, DB Netz AG, Pionierstraße 10, 32423 Minden, Germany, +49 571 393 5222, joerg.schmeister@deutschebahn.com, 57 years, responsible for development and maintenance of on-board measuring systems used by DB.

Static tests mainly concern gauge and cross level measurements. As a rule, the measured value is compared with a defined reference. As a reference high-precision hand-held measuring devices can be used.

The dynamic tests concern all parameters of the track geometry according to EN 13848-1. The measurement outputs of successive test runs recorded under the same or changing measurement conditions are compared together. The test conditions shall represents the normal operation of the track recording vehicle at different speeds, measurement directions and measurement orientations of the vehicle.

For use on conventional lines, the track geometry recording system must be validated in a wide range of track design features, such as curves with different radii and directions, significant cant, frequent alternation of curves and straight lines.

The track geometry quality of the test track should preferably include standard deviations from class A to class C according to EN 13848 – 6 [3] for a speed range of 120 to 160 km/h.

2.2 Validation method

The validation method according EN 13848-2 preferred for track recording cars is based on comparisons of runs for the same vehicle. An example of the test configuration required in EN 13848- 2 is shown in ***fig. 1***.

Condition number	Speed	Measuring direction	Vehicle orientation
1a	V1	A→B	
1b	V1	A→B	
2a	V2	A→B	
2b	V2	A→B	
3a	V1	A←B	
3b	V1	A←B	
4a	V2	A←B	
4b	V2	A←B	
5a	V1	A←B	
5b	V1	A←B	
6a	V2	A←B	
6b	V2	A←B	
7a	V1	A→B	
7b	V1	A→B	
8a	V2	A→B	
8b	V2	A→B	

Fig. 1 *Required test conditions according EN 13848-2*

Obr. 1 *Požadované testovacie podmienky podľa normy EN 13848 - 2*

For each specified test configuration, a run with the assessed vehicle has to be made on a predefined test track.

In EN 13848-2, the assessment of the performance of measuring systems is based on the evaluation of repeatability and reproducibility. For this purpose, predefined runs are compared in pairs and the differences between these runs are statistically evaluated. The 95% quantile of the distribution of the calculated differences must not exceed the specified limits.

2.3 Disadvantages of normative validation of track geometry measuring systems

Even though the method described above for the validation of measuring systems is widely used in Europe, some deficits can be identified. The normative validation method is based on the recorded data of the same vehicle, a comparison with a standard or a reference measuring system is not required. In addition, due to the small number of measurement series required and the paired comparison of two measurements under the same conditions, it is not possible to detect a systematic error in the measurement process. Furthermore, the evaluation criteria of reproducibility and repeatability are not correlated with the characteristic tolerances of the individual track geometry parameters.

With the increasing number of different measuring systems at DB Netz AG, the methodology of system testing and validation has also developed further. It is largely based on the methods of modern quality management and includes the complete chain from the definition of the measured quantity, through the characteristic tolerances to the complete measurement result, including all metrological information for determining the measurement uncertainty.

3 METROLOGY AND CONFIRMATION OF TRACK GEOMETRY MEASURING SYSTEMS BY THE DB NETZ

When reporting the result of a measurement, quantitative indication of the quality of the result should be given to assess its reliability. Without such an indication, measurement results cannot be compared, either among themselves or with reference values given in a specification or a standard.

According to EN ISO 10012:2003 [4], an effective measurement management system must ensure that measuring equipment and measurement processes are fit for their intended use. An important part of the measurement management system is the metrological confirmation including estimation of measurement uncertainty. The commonly used method for the estimation of measurement uncertainty is described in ISO/IEC Guide 98-3 (previous GUM - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) [5].

3.1 Measurement uncertainty

The measurement uncertainty is a parameter, associated with the result of a measurement, that characterizes the dispersion of the values that could reasonably be attributed to the measurand. Measurement uncertainty generally comprises many components. Some of these components can be assessed from the statistical distribution of the results of measurement series and can be characterized by experimental standard deviations. The other components, which can also be characterized by standard deviations, are assessed from assumed probability distributions based on experience or other information.

Regarding the measurement uncertainty in track geometry measurement, the measurement result is influenced by various factors. The correlations between the measured variable and the measurement result can be represented in a simplified way by a model of the measurement, the so-called Ishikawa or cause-effect diagram, see ***fig. 2***.

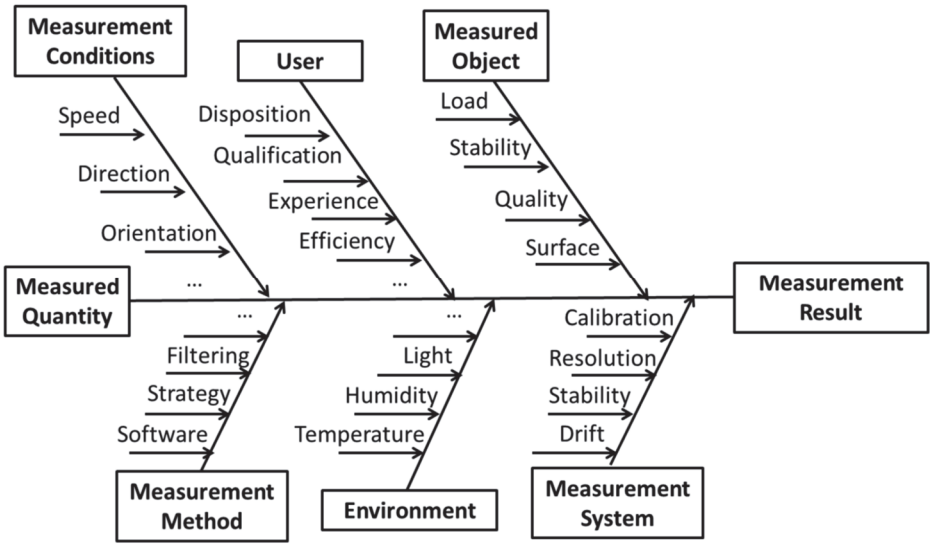


Fig. 2 *Metrological model of track geometry measurement*

Obr. 2 *Metrologický model merania geometrie trate*

The most important influences that contribute to the measurement uncertainty in track geometry measurement should always be considered when validating the measuring systems. These include the measuring system itself, especially the calibration of the individual sensors and their adjustment, data processing such as filtering and positioning, but also the measurement conditions and the measured object.

3.2 Measurement campaign

The validation of new measuring systems as well as the annual repeat testing of all measuring systems at DB is carried out on two defined reference lines that fulfil all normative requirements for track layout and track geometry quality.

A high number of measurements under varying measurement conditions is required in order to conduct well-founded statistical analysis of the measured data. The measurements take place in a narrow time frame so that the measured object does not change significantly during the campaign. ***Fig. 3*** provides an example of the RAILab 3 measurement campaign provided on one of the reference tracks.

For the assessment of the measuring system performed on the reference track, relevant track sections are used. The total length of these reference sections is more than 18 km, at a sampling rate of 16 cm this results in at least 112500 measuring points per recorded quantity, at which the reproducibility of the measurement is evaluated. The standard deviation of the measured values is calculated at each measuring point.

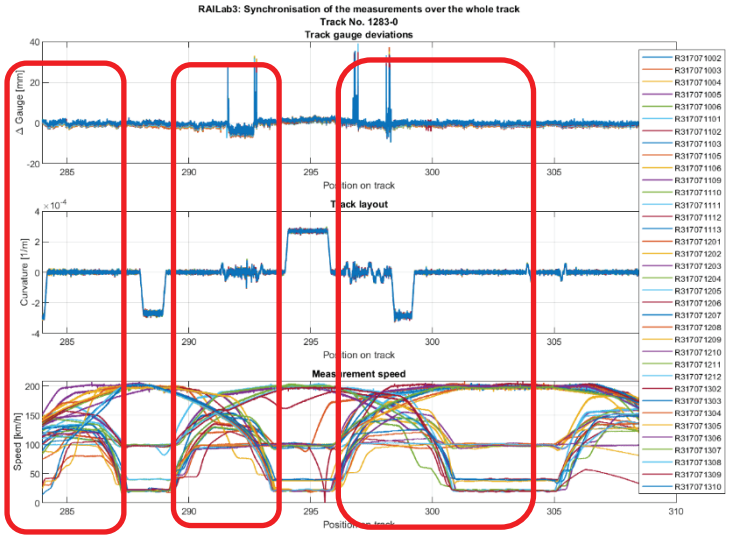


Fig. 3 *Example of a RAILab3 validation campaign on one selected reference track*

Obr. 3 *Príklad validačnej kampane systému RAILab3 na jednej vybranej referenčnej trati*

In order to perform a correct evaluation, an exact synchronisation of the measurement data must first be carried out. This requires a division of the evaluation routes into shorter subsections of around 200 m length, where the odometer wheel shift and slip are negligible. The track gauge is used as a suitable parameter for synchronisation. An example of the synchronised evaluation in a 200 m subsection is shown in ***fig. 4***.

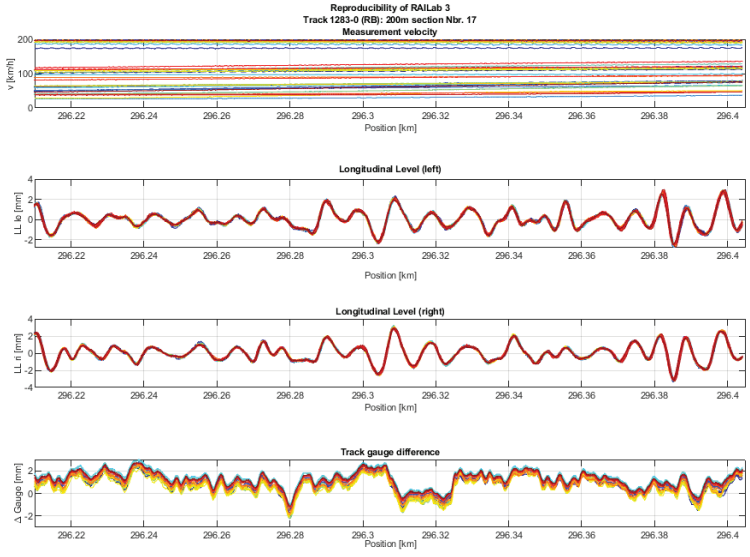


Fig. 4 *Example of a fine synchronised 200 m subsection*

Obr. 4 *Príklad presne synchronizovanej 200 m dlhej podsekcie*

After a successful fine synchronisation, standard deviations of the measured data are calculated at each measuring point over all subsections. Then the frequency distribution of the standard deviations is determined, see ***fig. 5***.

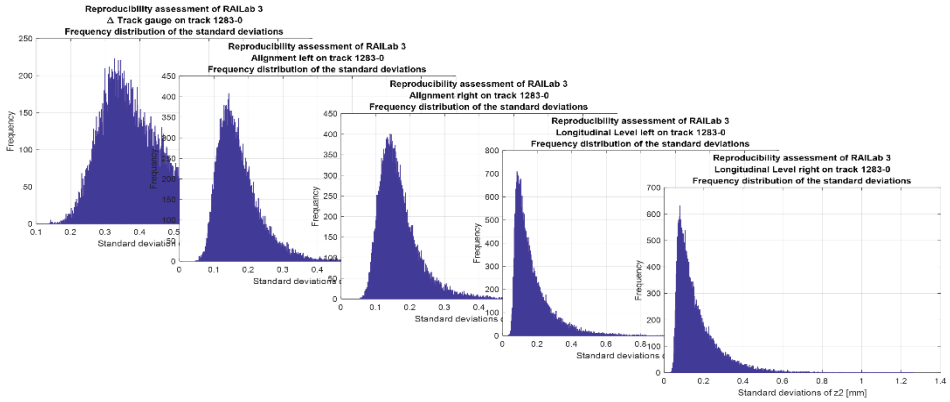


Fig. 5 *Frequency distribution of the standard deviation in track geometry measurement*

Obr. 5 *Rozdelenie početnosti štandardných odchýlok pri meraní geometrie trate*

Finally, the 95% quantile is calculated from the cumulative frequency as an estimate for the measurement uncertainty. These results are compared with the permissible measurement uncertainties.

3.3 Tolerances and permissible measurement uncertainty

The consideration of the measuring system capability would be meaningless without taking into account the tolerances of individual track geometry quantities. These tolerances result from the minimum distances between the Intervention Limit (SR_{100}) and the Immediate Action Limit (SR_{lim}). These are two important levels for assessment of track geometry specified in the DB regulation RIL 821.2001 [6]. The tolerances of the track geometry parameters and the permissible measurement uncertainties derived from them are listed in ***TABLE 1***.

TABLE 1 *Tolerances and permissible measurement uncertainty according RIL 821.2001*

TAB. 1 *Tolerancie a prípustná neistota merania podľa predpisu RIL 821.2001*

Track geometry quantity	Tolerance [mm]	Permissible measurement uncertainty [mm]
Track gauge	Not defined	0,5
Longitudinal level	2	0,5
Alignment	2	0,5
Cross level (filtered)	2	0,5
Cross level	5	1,25

4 COMPARABILITY OF TRACK RECORDING SYSTEMS

In the quality assurance of track geometry inspection is not only the ability of the individual measuring systems important, but also their comparability. During the annual metrological verification, all measuring systems of DB Netz AG are examined, if possible, simultaneously or at short period of time, see example in ***fig. 6***.



***Fig. 6** Metrological assessment of track recording vehicles by DB Netz AG*

***Obr. 6** Metrologické posúdenie traťových meracích vozidiel spoločnosťou DB Netz AG*

4.1 Method of comparability assessment

During the measurement campaign, several data sets are recorded per each track recording vehicle. From all synchronised measurements of each vehicle, an average measurement is determined per parameter as an estimate for the true measured variable. ***Fig. 7*** shows an example for the comparison of alignment and longitudinal level measurement provided by different track recording vehicles.

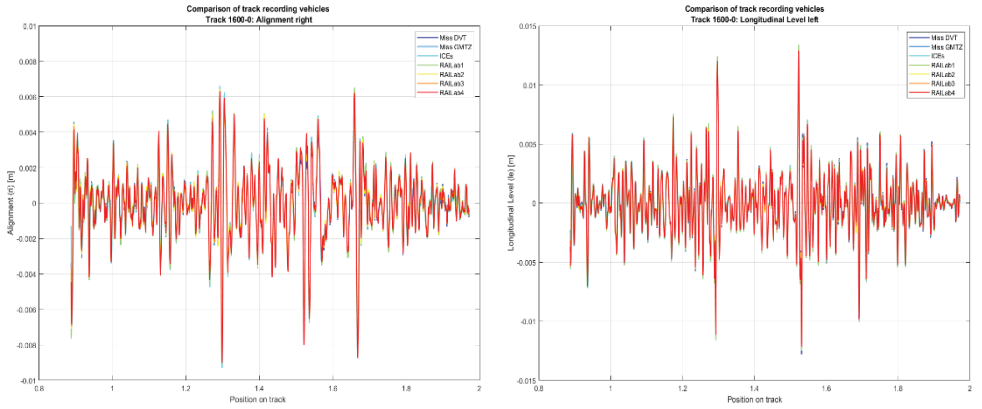


***Fig. 7** Comparability of track recording vehicles, example of alignment and longitudinal level measurement*

***Obr. 7** Porovnateľnosť traťových meracích vozidiel, príklad merania smeru a výšky.*

These average measurements of the vehicles are then statistically evaluated with each other. For this purpose, the difference to the mean value is calculated per vehicle. From the cumulative frequency of the differences, the 95% value serves as a key indicator for comparability.

The criteria for assessing comparability are also linked to the tolerances of the individual measured track geometry parameters. This ensures that the deviations between the measuring systems are within the range of the permissible measurement uncertainties.

5 CONCLUSION

Measuring systems must be metrologically verified in accordance with the standards of measurement quality management and the quality assurance processes of DB Netz AG.

Accordingly, an effective measurement management system ensures that measuring equipment and measurement procedures are suitable for the intended use. In addition, the quality objectives for the products can be better achieved and the risk of faulty measurement results can be better controlled.

Proof of the suitability of a measuring system is a prerequisite for metrological approval for track geometry testing in accordance with RIL 821.2001 in DB Netz AG.

The complex validation of the measuring systems at DB is not only carried out when new systems are introduced into operation; all measuring systems are validated annually. This is the only way to obtain high-quality data that serves as the basis for a proper assessment of the track condition. Maintenance measures derived from the recorded data enable a good quality of the track geometry and safe railway operation. High demands are also placed on data quality when using the measurement data for simulations and for the design of new rolling stock.

References

[1] EN 13848 - 1.: Railway applications – Track – Track geometry quality – Part 1: Characterization of track geometry, 2019. **[2] EN 13848 - 2.**: Railway applications – Track – Track geometry quality – Part 2: Measuring systems – Track recording vehicles, 2020. **[3] EN 13848 - 6.**: Railway applications – Track – Track geometry quality – Part 6: Characterization of track geometry quality, 2020. **[4] EN ISO 10012**: Measurement management systems - Requirements for measurement processes and measuring equipment (ISO 10012:2003), 2004-03. **[5] ISO/IEC Guide 98-3:** Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of the uncertainty in measurement (GUM:1995), 2008. **[6] RIL 821.2001:** Prüfung der Gleisgeometrie mit Gleismessfahrzeugen Version 17.0 - Gültig ab 15.11.2020.

♠ ♠ ♠

Summary

The reliability and accuracy of the measured data provided by the track recording systems are important not only for the assessment of the track quality and the derivation of the necessary maintenance work. These data are also an important part in the design and homologation process of new rolling stock. Validation and confirmation of the capability of the measuring systems at DB is not only carried out when new systems are introduced into the service, but also as part of their annual evaluation. This article focuses on the procedure and criteria for this validation

Resumé

Spoľahlivosť a presnosť nameraných údajov, ktoré poskytujú traťové meracie systémy, sú dôležité nielen na posúdenie kvality trate a odvodenie potrebných údržbových prác. Tieto údaje sú tiež dôležitou súčasťou procesu navrhovania a homologizácie nových koľajových vozidiel. Validácia a potvrdenie spôsobilosti meracích systémov v DB sa vykonáva nielen pri zavádzaní nových systémov do prevádzky, ale aj v rámci ich každoročného prehodnocovania. Tento článok sa zameriava na postup a kritériá tohto overovania .

26th INTERNATIONAL CONFERENCE
„CURRENT PROBLEMS IN RAIL VEHICLES - PRORAIL 2023“
September 20 – 22, 2023, Žilina, Slovakia

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.29

MODERN APPROACHES TO CONDITION MONITORING OF RAILWAY ASSETS

MODERNÉ PRÍSTUPY K MONITOROVANIU STAVU ŽELEZNIČNÉHO MAJETKU

Dušan STAMENKOVIĆ*), Milan BANIĆ, Aleksandar MILTENOVIĆ, Miloš SIMONOVIĆ

1 INTRODUCTION

Safety is most important in the process of organizing railway traffic. Railway traffic is performed using vehicles as mobile technical means and infrastructure as stationary technical means. These means are very complex and they consist of many different construction, mechanical, electrical and electronic elements. Each of these elements needs maintenance to keep functional condition. Maintenance can be performed sometimes, very often or continuously, but the maintenance activities must not suspend railway traffic, and traffic safety must be provided. Because of that, condition based preventive maintenance is performed in railway. Division of diagnostic systems in maintenance of railway vehicles are described in [1]. There are on-board and stationary diagnostic systems for monitoring of the railway vehicles condition. On-board detection systems are installed in a vehicle and are used for vehicle devices continuous monitoring in period of regular service. Stationary detection systems are used for a casual-periodic inspection of rolling stock and these are installed directly on the track or very near track and condition monitoring of vehicles is performed in time of regular operation, without stopping.

Many researchers deal with condition monitoring of railway vehicles. Vinberg et al. [2] compare some practical applications of diagnostic systems and types of sensors used for monitoring specific parameters. Description of different types of wayside detectors and evaluation of wayside condition monitoring technologies for condition-based maintenance of railway vehicles is presented in [3]. Ngig et al. [4] compare the modern techniques used for condition monitoring of railway vehicle dynamics by analysing the advantages and shortcomings of these methods. Furthermore, research by Zheng [5] is performed to improve rolling stock and infrastructure reliability, availability, maintainability, and safety,

*) **Prof. dr Dušan STAMNEKOVIĆ**, Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 NIŠ, Serbia. Tel.: (+381 18) 500 635, e-mail: dusan.stamenkovic@masfak.ni.ac.rs 66 years. His research relates to design and maintenance of rail vehicles.

Prof. dr Milan BANIĆ, Tel. (+381 18) 500 635, e-mail: milan.banic@masfak.ni.ac.rs, 44 years, his research relates to design of rail vehicles and robotic applications in railways.

Prof. dr Aleksandar MILTENOVIĆ, Tel. (+381 18) 500 635, e-mail: aleksandar.miltenovic@masfak.ni.ac.rs, 4 years, his research relates to robotic applications in railways.

Prof. dr Miloš SIMONOVIĆ, Tel. (+381 18) 500 635, e-mail: milos.simonovic-@masfak.ni.ac.rs, 50 years, his research relates to automatics and control.

through the development a novel remote condition monitoring system based on the integration of acoustic emission and vibration analysis. Using the collected information from on-board diagnostic systems it is possible to analyse the condition of the vehicle components, but also the condition of the railway track. Tsunashima et al [6] describe the tests that were conducted in Japan Railway to research the possibility of condition monitoring of railway track using in-service vehicle. This track-condition-monitoring system is based on measuring the vertical and lateral acceleration of the car body, as well as measuring noise in vehicle cabin. Results of the field tests showed that the condition monitoring of railway track using the developed probe system provide the useful information for condition-based-maintenance. Paper [7] investigate the measuring of transversal position of the wheels on the track in running condition. Using the onboard high-speed stereo camera system can perform defects identification of the wheel and the track (such as deformation of rail head edge, lateral wear, worn wheels, cracks in wheel and rail, corrugation, and other irregularities). Hodge et al. [8] describes the research of wireless sensors network technology for monitoring in the railway industry for analysing systems, structures, vehicles, and machinery. In recent years sensor devices have become cheaper, thus leading to their rapid expansion in condition monitoring.

Diagnostic of railway vehicles and infrastructure condition is the most important activity of railway maintenance and traffic safety. This paper describes current methods of diagnostic failures of railway technical means. Furthermore, paper presents the undercarriage railway inspection robot developed at Faculty of Mechanical engineering, University of Niš.

2 MAINTENANCE DIAGNOSTIC METHODS IN RAILWAY

Condition monitoring is the basic part of technical means maintenance. The maintenance of railway vehicles includes the inspections implemented on daily basis before, during and after the performed transport and it represents the permanent monitoring. New types of railway vehicles are equipped with modern diagnostic systems, and maintenance interventions are based on the data from the sensors during operation. Monitoring of railway infrastructure, especially the track usually is performed by observation and by measuring certain parameters using the special measuring vehicles. Monitoring of the railway vehicles condition can be performed by on-board diagnostic systems and by stationary diagnostic systems. One of the challenges with implementing condition monitoring is to establish the right diagnostic method, since reliable measurements are necessity for successful condition monitoring. Relevant and correct measuring parameters should be determined to provide the most relevant measuring data, that can then be used as decision support in the maintenance management process. Most of the condition-monitoring systems for railway vehicles are focused on the wheel and bogies. Derailment of the train can appear caused of wheels damage, and the early detection of wheel failures is essential for the railway safety. It is important to monitor the condition of wheel-rail contact to avoid accidents, as a derailment and possible injuries.

2.1 On-board detection of vehicle condition

On-board systems are installed on the vehicles, and they are used for vehicle's components continuous monitoring in regular service. On-board diagnostic system is often aimed at monitoring vehicle running gears using the sensors for measuring the temperature, vibration, pressure, force, etc. Vehicle assemblies, which are in permanent contact with the infrastructure, as pantograph with catenary and wheel with rail, are the most loaded and exposed to wear. Because of that, on-board diagnostic systems for continuous monitoring of these assemblies are developed. Image of contact pantograph-catenary in running condition obtained by an infrared camera mounted on the roof of the locomotive is presented in ***fig. 1***.

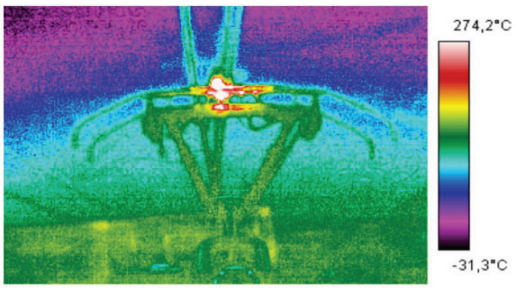


Fig. 1 *Thermal image of pantograph-catenary in operating condition [10]*

Obr. 1 *Tepelná snímka pantograf-trolej v prevádzkovom stave [10]*

Acceleration sensors are installed on the modern locomotives/trains for monitoring the vibrations. The rolling stock accelerations measurement system consists of sensors which are installed on body, bogies and axle box. Measuring data are integrated with speed values and with the train location on the railway line. On-board diagnostic system of ICE trains, among others, contains of eight acceleration sensors per single bogie, for measuring the bearing and bogie frame vibrations (***fig.2***) [1].

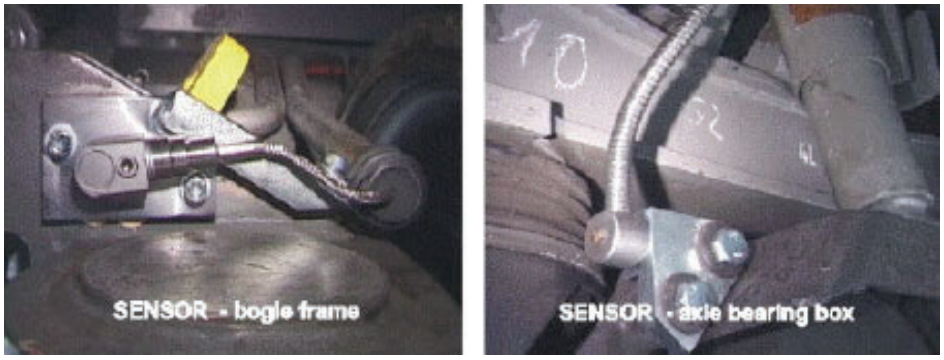


Fig. 2 *Accelerometers placed on bogy frame and axle box on ICE trains [1]*

Obr. 2 *Snímače zrýchlenia umiestnené na ráme podvozku a nápravové ložisko na vlaku ICE*

Acceleration measurements are used to evaluate ride comfort and vibration transmission from axle boxes to bogies (primary suspension), and from bogies to the vehicle body (secondary suspension). Kawasaki developed on board Bogy Instability Detection system (BIDS) active suspension system that improves passenger comfort and ensure safety and running stability. Such systems provide effectively maintain bogies and tracking system and significantly reduce track maintenance costs [11]. The main task of active suspension system is to detect vehicle vibration using sensors and to generate some force on electric actuator mounted in connection of bogie and vehicle body to cancel out vehicle vibration ***(fig. 3***). This system has been adopted in Shinkansen train and other highspeed vehicles.

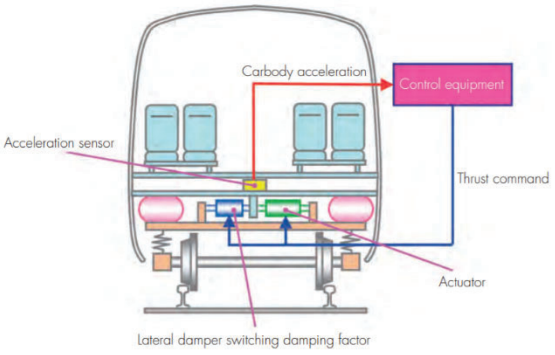


Fig. 3 *Active suspension system [11]*

Obr. 3 *Systém aktívneho vypuženia*

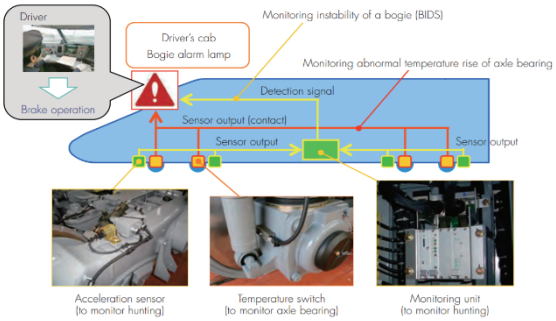


Fig. 4 *System configuration of BIDS [11]*
Obr. 4 *Konfigurácia systému BIDS*

The BIDS system includes an acceleration sensor, mounted on a bogie frame, which measures lateral vibration and, in this way, detects hunting at the monitoring unit. Measured data are notified to the driver who safely decelerates the vehicle. Drive transmission systems are monitored mainly by the temperature sensors, and abnormal rises in temperature are directly notified to the driver's cab (***fig. 4***). In addition to these vehicle components, on-board diagnostic systems are widely used in assemblies such as diesel engines, electromotors, brake systems, etc. Diesel and electric motors are one of the most expensive parts of railway vehicles, and periodic inspection is not the most convenient procedure. Continuous monitoring is the better solution, and this approach allows maintenance when it is necessary. A failure diagnosis can greatly predict the time required for repair. Rolling stock brake system is of great importance for safety. In most cases, when train drivers report any problem with brake system in running condition, it is difficult to reproduce failure when the vehicle is in stationary state in the depot. Because of that, real-time monitoring is much more effective, so "recording" the braking cycle and monitoring the wear of the brake pads can give indications of failure in the development phase. Such a failure detected at an "early stage" is much easier to eliminate and it enable lower maintenance cost.

2.2 Stationary diagnostic systems of vehicle condition

Stationary diagnostic systems are installed in depot or near the rail. If these diagnostic devices are installed in the workshop, then the condition of certain vehicle assemblies that are excluded from traffic is determined, as part of the inspection. If the diagnostic devices are installed on a regular route, directly to the railway, then the monitoring of certain vehicle assemblies is performed within the framework of regular operation, without stopping. To make inspection in depots more successful and to perform them in shorter time, specific diagnostic systems were developed such as TrainScanner developed by Alstom and shown in ***fig. 5*** [12]. While the train is passing through the stationary measuring devices with a small speed, numerous vehicle parameters are measured and recorded.

There are different types of wayside detectors as: detector for train gauge measurement, hot bearing detectors, wheel impact load detectors, overload and imbalanced load detectors, truck performance detectors, wheel profile detectors, hot wheel detectors, acoustic bearing detectors, etc. Main advantage of these methods of condition monitoring of vehicles is that they are performed within the regular operation, without train stopping. In addition, the advantage of wayside detection is that one

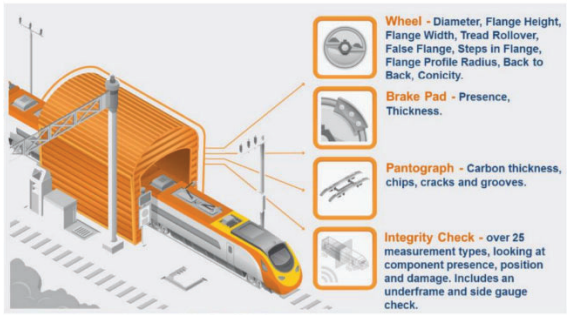


Fig. 5 *Alstom TrainScanner [12]*
Obr. 5 *TrainScaner Alstom*

detection system is used for all vehicles on that line, which is very rationally. The guide [13] reviews the most common wayside detector systems in North America's rail network that are used to inspect and monitor rolling stock condition, particularly in terms of the wheel and rail related defects and irregularities. These wayside detectors are [13]:

- TADS - system for acoustic identification of bearing defects (total 19 devices);
- HBD – hot bearing detection (more than 6000 devices along freight network);
- HWD – hot wheel detection (most of them are integrated with HBD);
- TBOGI – detection system for measuring of geometric performance of car bogies (28 devices);
- THD – truck hunting detection system using strain-gages or laser-based (total 94 devices);
- TPD - system for evaluating the suspension performance of bogies along S curve section of track (total 28 devices);
- WILD – system for detecting the wheel defects like flat, thermal cracks or other analyzing the wheel impact loads (total 185 devices);
- WTD – system for detecting hot wheel due to locked brake and cold wheel due to inoperative brake system using infrared technology (more than 700 devices).



Fig. 6 *Acoustic detection system [1]*
Obr. 6 *Systém akustickej detekcie*

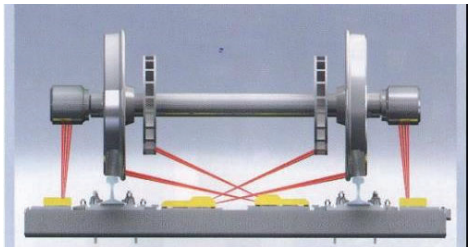


Fig. 7 *System for detection of preheated wheels, bearings and brake discs [14]*
Obr. 7 *Systém detekcie prehriatych kolies, ložísk a brzdových kotúčov*

Acoustic detection systems are preventive systems for axle bearing maintenance developed to identify bearings with internal defects in the early stages of failure. System consists of a series of microphones placed near the track that record data about the soundtrack of each axle bearing (***fig. 6***).

Hot bearing detectors are the most common wayside detectors in many railroads worldwide. But measuring of wheel and brake disk temperature is also applied. The system presented in ***fig. 7*** uses thermal imager technology. This system consists of three modular scanners covering wheels, axle bearings and brake discs.

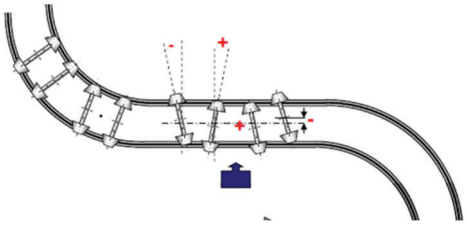


Fig. 8 *T-BOGI detection system [15]*
Obr. 8 *Detekčný system T-BOGI*

An example of T-BOGI (optical control of bogies geometry) of the Canadian company WID is presented in ***fig. 8***. This product is an optical monitoring system for measuring the angle of attack and the lateral position of the wheels in relation to the rail. The system uses a laser and camera to measure the position of the wheel axle.

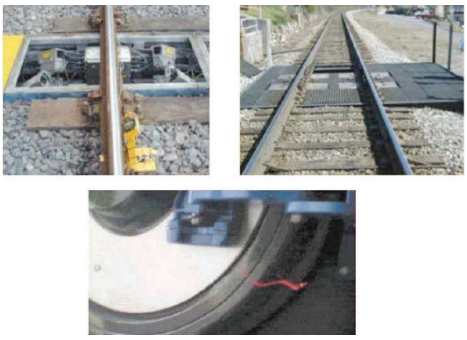


Fig. 9 *System for laser-based measurement of wheel profile [1]*

Obr. 9 *Systém na laserové meranie profilu kolesa*

Laser and camera wheel profile measurement technologies are methods of non-contact wheel condition measurement. ***fig. 9*** shows a system for laser measurement of wheel rim profiles. The laser-obtained images are automatically processed by computers to extract the wheel profile (***fig. 10***). It is possible to measure parameters such as: the thickness of the wheel rim, damage to the running surface of the wheel and the height of the rim. The ability to predict the wear of each wheel individually allows the maintenance service to plan proactive wheel maintenance to ensure the maximum life of the wheel axles [1].

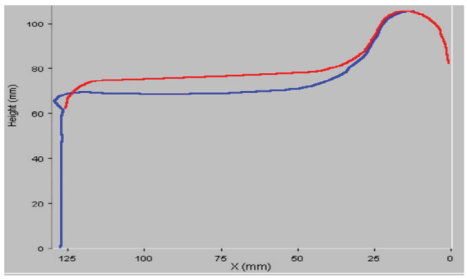


Fig. 10 *Display of measured and standard wheel profile [1]*

Obr. 10 *Zobrazenie meraného a štandardného profilu kolesa*



Fig. 11 *Pantograph monitoring system [16]*

Obr. 11 *Systém monitorovania pantografu*

The pantograph damaged carbon strips cause additional stress on the contact wire, which can cause the break of the contact and break in rail traffic. The pantograph monitoring system (***fig. 11***) monitors the condition of the carbon strips in pantographs on electric traction units [16]. The pantograph monitoring system (***fig. 11***) includes a radar, a flash unit and a camera. The radar detects an oncoming train and recognizes its speed, distance and direction of travel. The camera can capture all active pantographs on the train.

2.3 Detection of railway infrastructure condition

Railway infrastructure management performs regular track and overhead contact line inspections to maintain and improve safety, reliability, and comfort. There are different diagnostic methods. Main diagnostic systems include in infrastructure condition monitoring are: track measurements (track geometry, rail profile, rail corrugation, etc), overhead line measurement (geometry measurement, contact wire wear, pantograph interaction, electric parameters, etc), vehicle dynamic measurement (ride quality, axle boxes/bogie/body vibrations, wheel/rail contact, etc), visual inspection (rail surface defects detection, overhead line defects detection, train gauge, etc) [17].

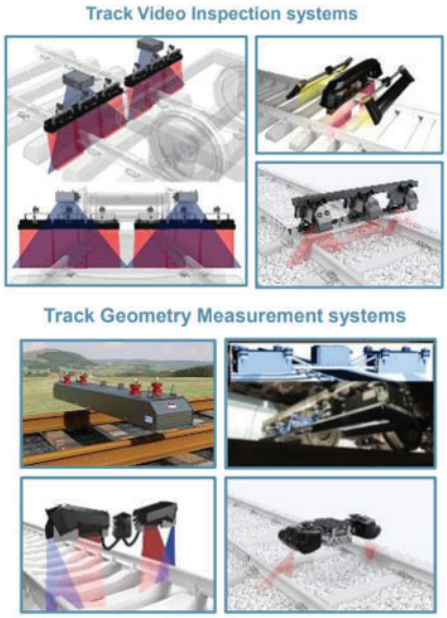


Fig. 12 *System for train gauge control [12]*
Obr. 12 *Systém na monitorovanie parametrov koľaje*

Infrastructure managers use specialized track monitoring vehicles with a variety of advanced measurement equipment which are used to inspect the rail, on annual or semiannual infrequent basis. Deformation of rail head edge, such a lateral wear, worn wheel bandages, variations in width of rail and other irregularities, lead to increase of lateral forces in the track. By passing the measurement vehicle on a certain track section and performing measurements, a software package analyses the measured data and generates a inspection report. The diagnostics car is usually equipped with diagnostics measuring systems which consist of ultrasonic and eddy-current equipment. Authors in the paper [18] described visual inspection of rails, ultrasonic and eddy current testing methods for detection of surface defects, which are in use in DB. The ultrasonic inspection is applied on railway tracks primarily for detection and evaluation of internal rail defects. The basic configuration of the ultrasonic technique on DB inspection trains consists of beam transducer with 0°, 35°, 55° and 70°. Alstom have been also developing a system called “TrackTracer”, wherein equipment fitted on service trains provides monitoring of the infrastructure. This system currently uses cameras and sensors to monitor overhead line and rail condition, geometry and quality (***fig. 12***).

3 AUTONOMOUS ROBOT FOR TRAIN UNDERCARRIAGE VISUAL INSPECTION



Fig. 13 *ATUVIS positioned on the track, below the train*
Obr. 13 *ATUVIS umiestnený v koľaji pod vlakom*

Autonomous robot for train undercarriage visual inspection - ATUVIS [19] is currently TRL8 patent pending solution developed within consortium of CAM Engineering d.o.o, Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš and Institute Mihajlo Pupin, University of Belgrade. ATUVIS represents an innovative solution to boost further digitalization of the processes in the railway industry. ATUVIS as autonomous robot that is replacing the traditional way of visual undercarriage visual inspection performed by humans in the inspection pit. ATUVIS can carry out a full visual inspection directly on a track by moving the robot below the stationary train as shown on ***fig. 13***. In such way it is not necessary to transport the train to the inspection pit which provides significant operational costs reduction.

The innovative system encompasses two components: hardware (autonomous robot) and software (based on Artificial Intelligence) for visual inspection and defects identification. The robot caries high quality action camera that can be moved in direction perpendicular to the track and rotated about vertical and horizontal axis. Such technical solution enables positioning of camera to any position below the train (***fig. 14***). The components are photographed with camera and than processed by artificial intelligence to identify changes from the nominal state (***fig. 15***). Beside robot localisation by odometry and Inertial Measurement Unit (IMU), ATUVIS use cognitive positioning/machine recognition of undercarriage components to position itself for image acquisition. ATUVIS robot can move and autonomously maintain direction in the limited space between track on rough terrain due to sleepers and broken stone tamping. It is completely wireless controlled robot equipped with four motors connected to traction wheels which allows the robot to slightly change direction and to follow pathway between tracks. All the acquired images are stored in the cloud which enables tracking of component state over time and planning of maintenance based on actual condition of the components

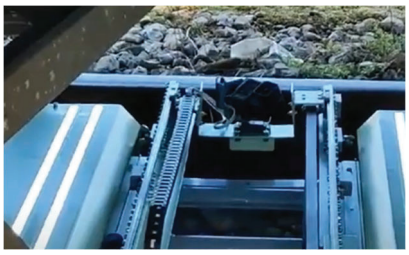


Fig. 14 *Camera positioning below the train*
Obr. 14 *Kamera umiestnená pod vlakom*



Fig. 15 *Identification of defect*
Obr. 15 *Identifikácia defektu*

4 CONCLUSION

The most effective maintenance of railway vehicles and infrastructure is a continuous control their condition without interrupting operation. There are different diagnostic methods applicated in railway, like visual inspection, geometric measurement, temperature measurement, acoustic measuring, force measuring, etc. Vibration measurement is a method that is increasingly used in technical diagnostics in last time. Continuous measurement of vibrations while running with precise GPS positioning of the vehicle on the track can be significant indicators of the vehicle or the track condition. In this way, the occurrence of a defect can be determined at an early stage, and adequate maintenance activity can be undertaken. In this way, railway safety can be improved. Accelerated development of technologies has led to the application of very advanced diagnostic systems on the railway. Each of them has certain advantages and disadvantages. Therefore, modern maintenance should be based on the use of different diagnostic methods, and decision can be made comparing their measured data. Such robotic system for autonomous identification of undercarriage defects and condition monitoring is briefly presented in this paper.

References

[1] D. Stamenković: Maintenance of railway vehicles, Mechanical Engineering Nis, 2011. **[2] E. M. Vinberg, M. Martin, A. H. Firdaus, Y. Tang:** Railway Applications of Condition Monitoring, Technical Report, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm 2018. **[3] Lagnebäck R.:** Evaluation of wayside condition monitoring technologies for condition-based maintenance of railway vehicles, Luleå University of Technology-Sweden, 2007. **[4] Ngigi,**

R, Pislaru, Crinela, Ball, Andrew and Gu, Fengshou: Modern techniques for condition monitoring of railway vehicle dynamics, Journal of Physics Conference Series, 2012. **[5] Zheng Huang:** Integrated Railway Remote Condition Monitoring, doctoral thesis, University of Birmingham, 2016. **[6] Tsunashima, H, Naganuma, Y., Matsumoto, A., Mizuma, T., Mori ,H.:** Condition Monitoring of Railway Track Using In-service Vehicle, Reliability and Safety in Railway, Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics 3(1),2012. **[7] Ćirić, I., Banić, M., Simonović, M., Miltenović, A., Stamenković, D., Nikolić, V.:** Towards Machine Vision Based Railway Assets Predictive Maintenance, Facta Universitatis, Series: Automatic Control and Robotics, University of Niš, pp. 125 - 136, 2020. **[8] V.J. Hodge, S. O'Keefe, M. Weeks, A. Moulds:** Wireless sensor networks for condition monitoring in the railway industry: A survey. IEEE Transactions on intelligent transportation systems, 2015**. [9] R. Đuričić, B. Bošković, S. Rosić:** European concept of railway safety; Doboj 2017. **[10] A. Balestrino, O. Bruno, A. Landi, L. Sani:** Automatic processing analysis of infrared images for monitoring pantograph catenary interactions, WIT Transactions on Modelling and Simulation, Vol 46, Computational Methods and Experimental Measurements XIII 819, 2007. **[11] https://global.kawasaki.com/en/corp/rd/magazine/177/pdf/n177en08.pdf. [12] https://www.shm-france.fr/wpcontent/uploads/20190314-SHM-France-11-Alstom.pdf. [13] U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration:** An Implementation Guide for Wayside Detector Systems, Washington, 2019. **[14] https://publik.tuwien.ac.at/files/pub-bi_5916.pdf. [15] Kakui S, Muto Y, Isogawa K, Mano T:** Study on some problems about wheel tread, WCRR Edinburgh Scotland; Congress proceedings pp.93-100, 2003. **[16] Leinonen, J.:** Wayside Rolling Stock Monitoring and Railway Inspection in Finland, B. Research Reports and Compilations 22/2020. **[17] S. Jovanovic, A. Zoeteman:** Modern condition-based railway infrastructure asset management, First International Conference on Road and Rail Infrastructure CETRA 2010, Croatia. **[18] A. Dey, J. Kurz, L. Tenczynski:** Detection and evaluation of rail defects with nondestructive testing methods, 19th World Conference on Non-Destructive Testing 2016. **[19] Simonović, M., Banić, M., Miltenović, A., Stamenković, D., Rajić, M., Perić, M., Rangelov, D., Tomić, M., Pavlović, V.:** Autonomous Robot for Train Undercarriage Visual Inspection, XX Scientific-Expert Conference on Railways - RAILCON '22, October 13-14, 2022, Niš, Serbia, pp. XI – XVIII.

♠ ♠ ♠

Summary

The permanent condition monitoring of railway technical means condition is the basic maintenance activity, and it is essential for the safety of railway traffic. Infrastructure managers are responsible for correctness of track and other infrastructure objects and railway operators are responsible for operational availability of trains, and according to that, these railway undertakings must perform maintenance of their technical means. There are on-board and stationary diagnostic systems for monitoring of the railway vehicles condition. On-board systems are installed on the vehicles and stationary diagnostic systems are placed on the track or near the track. But some sensors of on-board diagnostic system can be used not only for measuring the vehicle performances but also for detect track irregularities. This paper describes methods of condition monitoring of railway technical means which are in use on railway today. The paper also presents an undercarriage railway inspection robot, developed at Faculty of Mechanical Engineering, University of Nis.

Resumé

Trvalé sledovanie stavu technických prostriedkov železníc je základnou údržbárskou činnosťou a je nevyhnutné pre bezpečnosť železničnej dopravy. Manažéri infraštruktúry

zodpovedajú za dobrý stav tratí a ostatných objektov infraštruktúry a dopravcovia zodpovedajú za prevádzkovú dostupnosť vlakov a podľa toho musia títo dopravcovia vykonávať údržbu svojich technických prostriedkov. Na monitorovanie stavu železničných vozidiel sú k dispozícii palubné a stacionárne diagnostické systémy. Na vozidlách sú inštalované palubné systémy a na trati alebo v blízkosti trate sú umiestnené stacionárne diagnostické systémy. Niektoré senzory palubného diagnostického systému však možno použiť nielen na meranie výkonu vozidla, ale aj na zisťovanie nepravidelností trate. Tento článok popisuje metódy monitorovania stavu železničných technických prostriedkov, ktoré sa dnes na železnici používajú. Článok tiež predstavuje robota na kontrolu podvozkov železníc, vyvinutý na Strojníckej fakulte Univerzity v Niši.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.30

RACIONALIZACE PRACOVIŠTĚ DYNAMICKÉHO ZKUŠEBNÍHO STAVU JAKO HLAVNÍ NÁSTROJ KE ZVÝŠENÍ EFEKTIVITY PRÁCE

RATIONALIZATION OF THE DYNAMIC TEST BENCH WORKPLACE AS THE MAIN TOOL TO INCREASE WORK EFFICIENCY

Radek STUCHLÍK, Jiří SOUKUP, Jaroslav BRABEC[*)]

1 ÚVOD

Článek se zabývá aplikací nástrojů vedoucích ke zvýšení efektivity práce KAIZEN na Dynamickém zkušebním stavu Výzkumného Ústavu Železničního. KAIZEN znamená v překladu neustálé zlepšování. Jeho prvky, které se v Japonsku zaváděly po druhé světové válce, vedly k vysoké produktivitě, a především kvalitě vyráběných produktů. Dnes se KAIZEN v oblasti strojírenství používá ke zvýšení efektivity, zavedení autonomní údržby k omezení poruchovosti strojů (TPM), zabránění plýtvání neboli MUDA (např. nadvýroba, řízení zásob, transporty, čekání, pohyb, zmetkovitost, složité operace a také nevyužívání lidského potenciálu), 5S, standardizaci, vizualizaci atd. Jedním z prvních nástrojů KAIZEN, který byl implementován, je systém 5S, jenž v pěti krocích zpřehledňuje a zjednodušuje pracoviště. Jednotlivá pracoviště jsou rozdělena, setříděna a vyčištěna od nežádoucích a nepotřebných věcí, nástrojů a nářadí, jsou zachovány pouze potřebné nástroje pro daný výkon práce a pracoviště samotné je standardizováno. Posléze je pracoviště kontrolováno, auditováno a zlepšováno.

Druhým nástrojem se stalo vytvoření tzv. digitálního dvojčete zkušebny, v jehož rámci je digitalizován (převeden do virtuální 3D podoby) prostor pro výkon zkoušek, přilehlá skladovací místa, bezpečnostní koridory, toky materiálů, ale i samotné přístrojové vybavení a univerzální přípravky používané při zkouškách. Posledním nástrojem zavedeným do praxe je systém autonomní údržby (TPM), který má za cíl maximalizovat efektivitu všech strojů a technických zařízení. TPM slouží k předcházení nehodovosti strojů plánovanou údržbou a kontrolou. Celý tento systém zvyšuje efektivitu prací, snižuje čas na přípravu projektů, snižuje chybovost při návrzích sestav zkoušek, zvyšuje kvalitu, snižuje prostoje strojů, a především zlepšuje pracovní zázemí pro zaměstnance.

2 POPIS PRACOVIŠTĚ

Hala dynamického zkušebního stavu (DZS) je tvořena hlavní zkušební halou se dvěma odpruženými zkušebními bloky v centrální části, na kterých probíhá většina zkušební

[*)] **Ing. Radek STUCHLÍK,** Výzkumný Ústav Železniční, a.s., Zkušební centrum VUZ Velim, 281 02 Cerhenice, Česká republika. Tel.: +420 601132164, e-mail: stuchlikr@cdvuz.cz, 32 let. Specialista zkoušek senior.

Ing. Jiří SOUKUP, Výzkumný Ústav Železniční, a.s. Tel.: +420 602551851, e-mail: soukupji@cdvuz.cz, 40 let. Vedoucí Dynamického zkušebního stavu.

Ing. Jaroslav BRABEC, IWE, Výzkumný Ústav Železniční, a.s. Tel.: +420 722952148, e-mail: brabecj@cdvuz.cz, 45 let. Vedoucí Business development.

činnosti – zkoušky rámů podvozků, systémů upevnění kolejnic, únavové zkoušky kol a náprav atd. – a menšími zkušebními oddíly na periferii haly, ve kterých se provádí jednoúčelové zkoušky – výkonnostní zkoušky nápravových ložisek, termomechanické zkoušky kol, zkoušky táhlových a narážecích ústrojí, betonových pražců atd. Široké spektrum činností DZS vyžaduje v různých sekcích použití specifického montážního vybavení a měřicí techniky, ale také skladování velkého množství specifických i standardních přípravků pro provádění zkoušek. Součástí infrastruktury haly je také rozvod stlačeného vzduchu a hydraulického oleje vyžadující včasnou údržbu, aby byla zachována kontinuita zkoušek a bylo zamezeno nežádoucím odstávkám.

3 SYSTÉM 5S A STANDARDIZACE JEDNOTLIVÝCH PRACOVIŠŤ

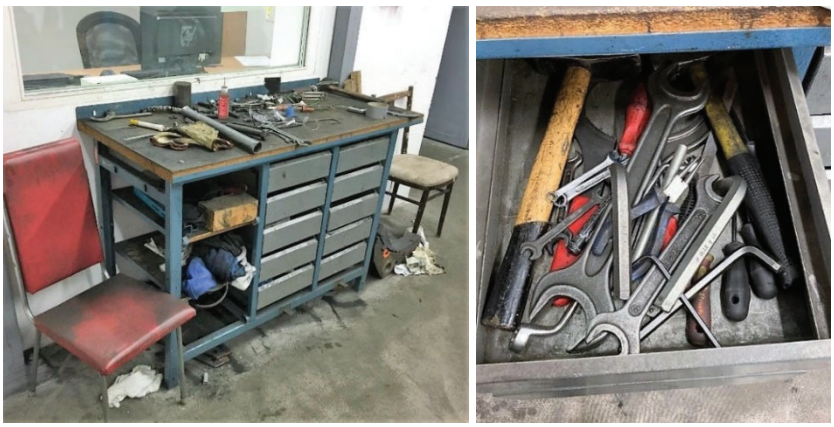
3.1 Systém 5S a jeho všeobecné použití

Jedná se o systém pěti kroků vedoucích k vytvoření čistého a organizovaného pracoviště. Označení „5S“ vychází z japonštiny (Seiri = roztřídění; Seiton = uspořádání; Seiso = čištění a kontrola; Seiketsu = standardizace, pravidla; Shitsuke = dodržování pravidel). Jejich cílem je zlepšení toku materiálu a informací, zvýšení produktivity práce, zlepšení kvality a bezpečnosti práce, ochrana životního prostředí a vytvoření příjemného pracovního prostředí [1].

Přínosem zavedení systému 5S je mimo pozitivní vliv na zákazníka také snazší detekce závad na strojích a nářadí, eliminace překážek a zbytečného hledání potřebných nástrojů či materiálů a zvýšení podnikové kultury.

3.2 Příklad standardizace pracoviště

Jako příklad standardizace pracoviště poslouží pracovní stůl v místnosti termomechanických zkoušek kol. Na ***obr. 1*** lze vidět velké množství neroztříděného nářadí, pracovní rukavice a další množství blíže nespecifikovaného materiálu. V okolí stolu jsou dvě nepotřebné židle a na zemi se povalují hadry. Šuplíky jsou vyplněny dalším množstvím neuspořádaného nářadí.



Obr. 1 *Pracovní stůl v místnosti termomechanických zkoušek – před standardizací*

Fig. 1 *Workbench in the thermomechanical testing room – before standardization*

Aplikací pravidel systému 5S bylo pracoviště uklizeno a bylo vytříděno nářadí potřebné k instalaci předmětu zkoušky do sestavy zkoušky a montáži měřicí techniky. Nářadí a další vybavení bylo rozmístěno do jednotlivých šuplíků na předem připravené a popsané pozice, aby bylo možné zachovat pracovní plochu stolu prázdnou. Z okolí stolu byly odstraněny všechny věci, které byly z hlediska účelu pracovního místa nepotřebné,

případně nesplňovaly podmínky BOZP. Na základě takto uspořádaného pracovního místa byl vytvořen standard (viz ***obr. 2***), který byl umístěn v blízkosti stolu a pracovníkům vykonávajícím montáž slouží jako vzor a výchozí stav, do kterého je nutné uvést pracoviště po dokončení prací.



Obr. 2 *Vytvořený standard pracovního místa*

Fig. 2 *Established workplace standard*

4 DIGITÁLNÍ DVOJČE

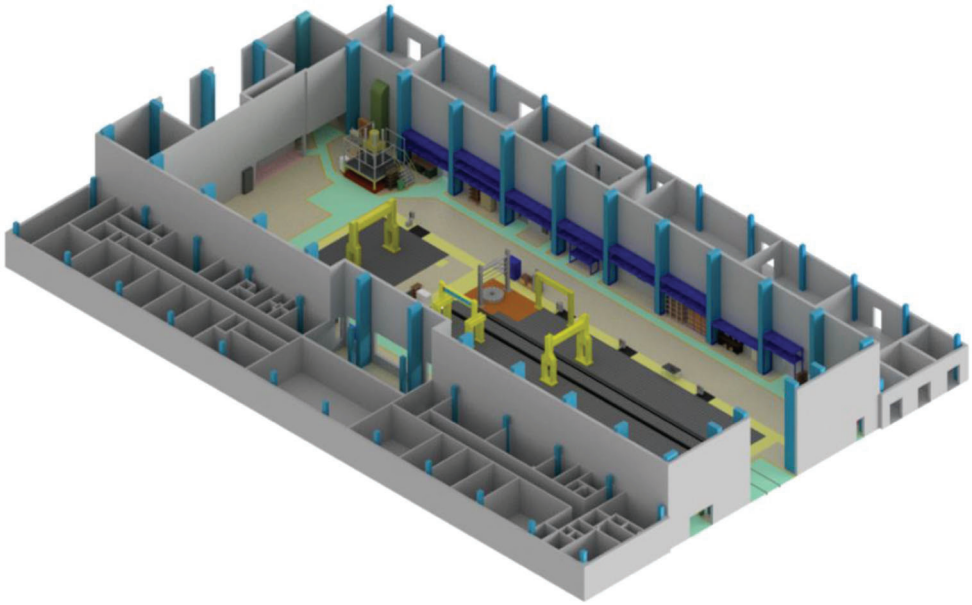
Účelem tvorby digitálního dvojčete je vytvoření kopie fyzického systému zkušebního střediska DZS, tzv. 3D layoutu, pomocí kterého bude možné plánovat kapacitu pracovišť a jejich vzájemnou synchronizaci. Digitální dvojče jako celek zahrnuje softwarový 3D model dispozičního řešení DZS, databázi 3D modelů stávajících přípravků a zařízení, normování přípravných časů pro vybrané typy zkoušek a metodiku použití. Implementace těchto prvků do reálných podmínek bude mít za následek zlepšení uspořádání pracoviště, nastavení logistických toků, povede ke snížení časů pro manipulaci, zrychlení přípravných časů, standardizaci jednotlivých pracovišť jako celku a celkovému zvýšení produktivity práce za současného snížení chybovosti. [2].

4.1 3D model pracoviště

Na základě výkresové dokumentace budovy je zhotoven 3D model celé zkušebny (***obr. 3***), v jehož rámci jsou zy nebo revidovány následující prvky:

- základní stavehotovenbní a nosné prvky zkušebny,
- bloky a portály – ověření rozměrů a umístění v hale,

- regálové pozice – zaměření a stanovení skladovacích kapacit,
- interní logistika – skladovací místa standardních přípravků a jejich logistika,
- elektroinstalace – modelace a umístění všech rozvaděčů v layoutu zkušebny,
- hydraulika – stanovení počtu a pozic ventilových jednotek pro realizaci zkoušek,
- požární ochrana – stanovení počtu a pozic hasicích přístrojů a hydrantů,
- další vybavení – modely stolů, PC, odpadových zařízení atd. [2].



Obr. 3 *3D model zkušební haly včetně zázemí*

Fig. 3 *3D model of the test hall including facilities [2]*

Prostřednictvím modelu současného stavu zkušebny je možné ověřovat a optimalizovat dispoziční řešení zkušebny, logistické koridory, skladové prostory a zvyšovat efektivitu využití prostoru zkušebny včetně plánování umístění dalších zkušebních zařízení [2].

4.2 Databáze přípravků a jejich značení

Vzhledem k obrovskému množství komponent (a jejich modifikací) potřebných pro stavbu a provoz zkoušek byla stěžejním bodem jejich identifikace na zkušební hale a následné zhotovení 3D modelu. Pro potřeby rozlišení jednotlivých komponent byla vytvořena karta značení dílů (viz ***obr. 4***), na jejímž základě byly jednotlivé komponenty roztříděny a řádně označeny. Značení dílů probíhalo dle daného schématu (příklad uveden na ***obr. 5***) vždy na dvou viditelných místech.

Roztřídění a identifikace správného počtu skladových zásob jednotlivých komponent hraje důležitou roli při návrhu sestavy zkoušky, kdy si konstruktér danou komponentu pro určitý projekt zarezervuje v centrálním rezervačním systému a po dobu aktivního stavu projektu není možné komponentu použít v jiném běžícím projektu. Nedochází tedy ke vzniku duplicit a následným komplikacím při montáži sestavy zkoušky vlivem vyčerpání zásob.

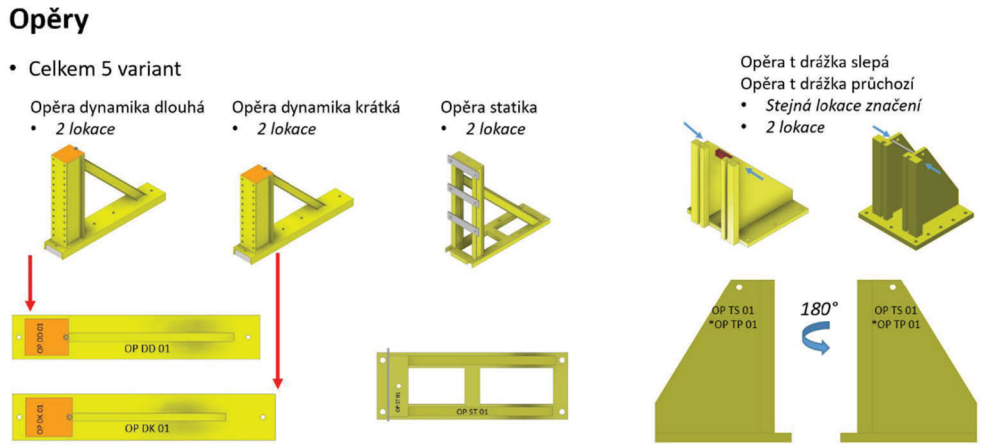
Další nespornou výhodou je možnost generování kusovníku sestavy zkoušky, na jehož základě dokáže montážní pracovník předem vyskladnit potřebné komponenty a

případné nesrovnalosti včas řešit s konstruktérem. Při stavbě sestavy zkoušky pak dochází k eliminaci prostojů způsobených nutností hledání náhrady za chybějící díl.



Obr. 4 Karta značení dílů

Fig. 4 Parts labeling card [2]



Obr. 5 Značení opěr

Fig. 5 Base adapter labeling [2]

4.3 Normování výkonových časů

Bez znalostí časové náročnosti jednotlivých procesů není možné účinně plánovat a celkově hodnotit efektivitu práce zaměstnanců či časových procesů. V rámci tvorby digitálního dvojčete byl prováděn časový náměr činností montážního pracovníka během kompletace vybraných dílů podle metodiky REFA. Náměrový čas byl očištěn od nežádoucích činností (hledání součástí, opravy, operativní řešení z důvodu chybějící součásti) a z hlediska plánování byl při montáži sledován pouze čas na logistiku dílu a samotnou montáž (příklad normovaných časů montáže – včetně logistiky – vybraných hydraulických válců na ***obr. 6***). Normovaný čas montáže jednotlivých dílů dokáže generovat přibližný časový rozsah montážních prací na projektu a u jednodušších a standardizovaných sestav zkoušek výrazně zpřesnit plánovanou kapacitu.

V případě zkoušek nestandardních (typicky zkoušek rámů podvozků) je možné z normovaných časů získat pouze orientační náhled na časový rozsah prací, protože takový rám podvozku je ve většině případů prototypem a navržená sestava zkoušky se dá do jisté míry považovat za sestavu prototypovou. V takovém případě dochází k velkému množství nestandardních montáží, které lze při plánování kapacity odhadnout pouze orientačně. Z provedených náměrů se dá zlepšovat pracovní proces a zvyšovat produktivita práce.

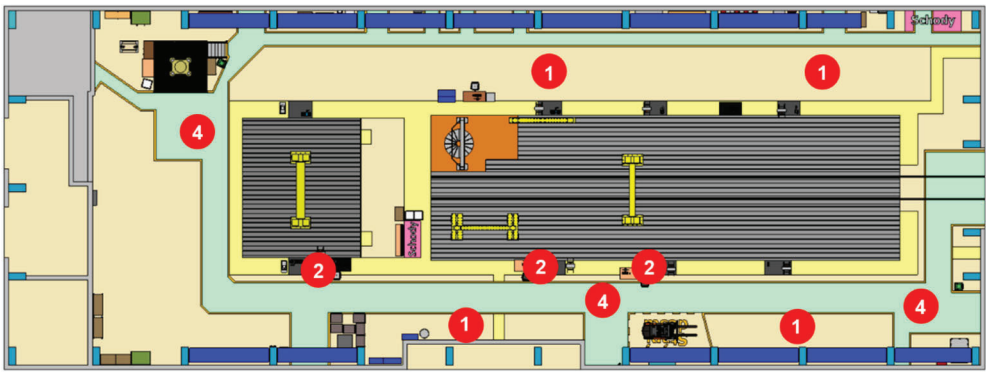
Označení	síla (kN)	Dolní úvrať (mm)	Horní úvrať (mm)	Zdvih (mm)	Celkový počet	**čas montáže (hod)**
HV_630_250_1	630	1160	1410	250	1	**2**
HV_400_100_7	400	992,5	1092,5	100	1	**2**
HV_280_250_8	280	1451,5	1701,5	250	1	**1,5**
HV_100_100_16	100	724,4	824,4	100	1	**1,5**
HV_63_250_17	63	905	1155	250	1	**1**
HV_63_250_18	63	905	1155	250	1	**1**
HV_63_250_19	63	900	1150	250	1	**1**

Obr. 6 *Přehled hydraulických válců s normovaným časem montáže*

Fig. 6 *Overview of hydraulic cylinders with standardized assembly time*

4.5 Logistika, BOZP a ergonomie práce

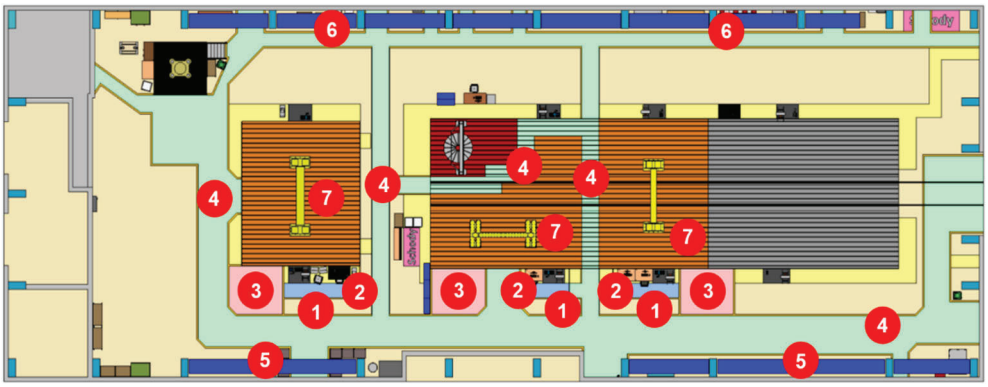
Logistika zkušebních vzorků a komponent sestavy zkoušky je realizována pomocí vysokozdvižného vozíku (VZV) v kombinaci s mostovým jeřábem, který je schopen obsáhnout celou zkušební plochu v hlavní části haly. Podél zkušebních bloků (viz ***obr.***Obr. **7**) byl v minulosti vytvořen hlavní koridor (**4**) šíře 2 m (pro transport objemných těles), který je doplněn o pěší koridor šíře 1 m pro obsluhu místností sousedících s hlavní halou. Pracovní prostor pro obsluhu zkoušky (**2**) bezprostředně sousedil s logistickým koridorem a odkládací místa pro palety (**1**) byla rozeseta po celé hale a zejména před regály, do kterých tak byl omezený přístup pomocí VZV.



Obr. 7 *Původní layout hlavní části zkušebny*

Fig. 7 *The original layout of the main part of the test hall [2]*

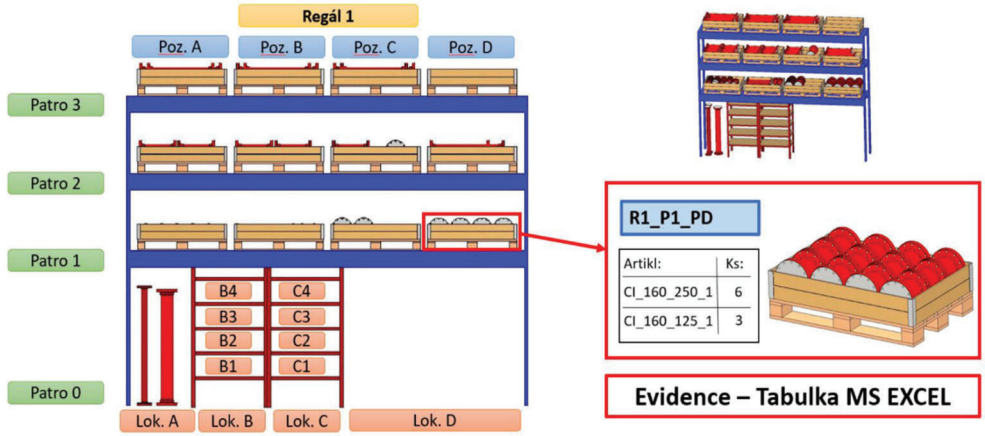
V rámci optimalizace layoutu byla navržena řada změn (viz ***obr. 8***). Došlo k posunu transportních koridorů (**4**) blíže k regálům, čímž je zajištěn přístup VZV do všech pater regálů bez nutnosti manipulace s uskladněnými paletami. V oblastech vymezených pro zkoušky (**7**) na velkém i malém bloku byl vytvořen prostor pro obsluhu zkoušky (**2**), tak aby přímo nesousedil s přepravním koridorem, dále bylo vytvořeno místo pro předmontáž zkoušky (**3**) o rozměru 3 x 3 m, na kterém montážní pracovník připravuje konstrukční celky, jež poté instaluje do sestavy zkoušky. Odkládací místo pro palety (**1**) je určeno pro dočasné uložení drobných komponent a měřicí techniky. [2]



Obr. 8 *Nový layout hlavní části zkušebny*

Fig. 8 *New layout of the main part of the test hall [2]*

Zpřístupnění regálů **(5)** u hlavního přepravního koridoru umožní plné využití těchto skladovacích prostor pro standardní díly používané ve všech typech zkoušek. Regály na opačné straně haly (**6**) budou využity jako skladovací prostor pro vybavení z předchozích zkoušek, nestandardní díly a náhradní díly technologické výbavy zkušebny. V rámci standardních dílů je navržen systém uvedený na ***obr. 9***. Standardní díly jsou uloženy do palet s ohrádkami. Jednotlivé regály jsou rozděleny na patra, v případě pozemního patra 0 na lokace při integraci menších polic na drobné díly. Každá pozice obsahuje definovaný počet dílů, který je uveden na štítku uloženém v magnetické kapse u skladovací pozice. [2]



Obr. 9 *Návrh systému skladování standardních dílů*

Fig. 9 *Design of a storage system for standard parts [2]*

5 AUTONOMNÍ ÚDRŽBA

Třetím z implementovaných nástrojů zvýšení efektivity práce je systém Total Productive Maintenance (TPM), který se také nazývá autonomní údržba. Tento systém byl zaveden pro všechny stroje a zařízení na zkušebně. Jeho úkolem je zvýšení výkonnosti strojů a zařízení prostřednictvím snižování poruchovosti a prodlužování životnosti. Jeden ze zavedených systémů, na kterém VUZ spolupracuje v rámci výzkumného projektu s Akademií Věd ČR (FZÚ), slouží ke zjišťování a vyhodnocování informací potřebných pro

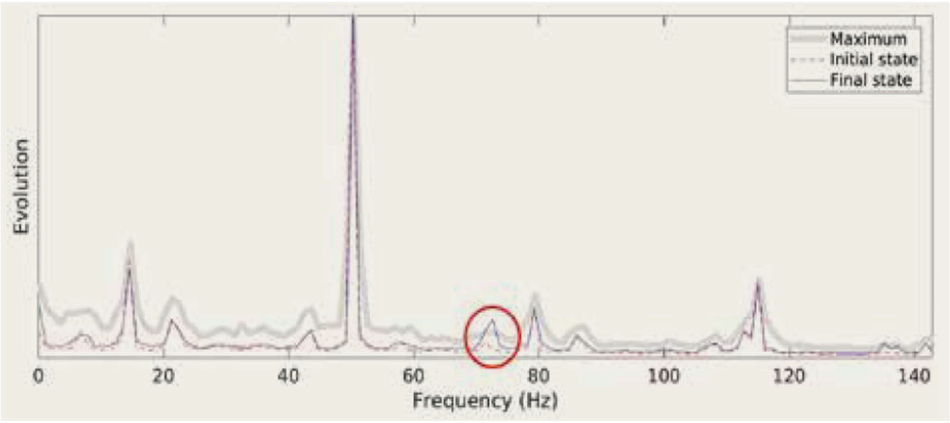
úspěšné zavádění prediktivní údržby. Instalované monitorovací zařízení je umístěno u klíčových pohonů – elektromotorů, pracujících v nepřetržitém režimu (viz.***obr. 10***). [3]



Obr. 10 *Sledované zařízení a umístění prototypu monitorovacího zařízení*

Fig. 10 *Monitored device and location of prototype monitoring device*

Instalované monitorovací zařízení vyvinuté FZÚ AV ČR je schopné zaznamenat i minimální anomálie svědčící o postupné degradaci materiálu, mechanickém poškození ložisek, resp. degradaci maziva a jiné vady. Samotné monitorovací zařízení snímá magnetické pole a pro každé elektrické zařízení vytváří ve frekvenčním spektru svůj specifický obraz. Obraz je navíc tím zřetelnější, čím je větší magnetické pole v okolí zařízení, resp. proud tekoucí přívodním kabelem k takovému zařízení. Obraz takového zařízení zůstává v čase shodný či téměř neměnný. Dochází-li k jeho změnám, pak lze předpokládat změny v technickém stavu zařízení. [3] Příklad takového obrazu se zaznamenanou anomálií lze vidět na ***obr. 11***.



Obr. 11 *Vývoj změny frekvenčního spektra stroje v průběhu týdne*

Fig. 11 *The evolution of the change in the frequency spectrum of the machine during the week [3]*

Snímacích zařízení je ve strojovně DZS umístěno celkem 8. Celý systém je v této specifické aplikaci stále ve vývoji a pro posouzení efektivity je nutné nasbírat velké množství

dat, jež poté bude nutné vyhodnotit a porovnat se skutečnými poruchovými stavy, které se na snímaných strojích reálně vyskytnou.

6 ZÁVĚR

Zavedení systému 5S na různá pracovní místa a skladovací místnosti přineslo výsledky takřka okamžitě. Organizací a uspořádáním pracovišť došlo k celkovému zpřehlednění jednotlivých částí pracovního prostoru, zvýšení BOZP a zefektivnění montážních prací snadnou dostupností potřebného nářadí. Významným benefitem je vyčlenění konkrétních skladovacích míst pro konkrétní nástroje a zařízení, čímž bylo eliminováno hledání potřebné komponenty na širokém spektru míst. Po vizuální stránce došlo ke zlepšení kultury pracovišť – jsou čistá, přehledná a jasně srozumitelná i pro nově příchozí pracovníky.

Projekt digitálního dvojčete byl převzat do užívání teprve před několika měsíci a některé jeho prvky ještě nebyly do systému implementovány. Jedná se například o organizaci regálů a identifikaci úložných prostor nebo zavedení nového layoutu hlavní části zkušebny. V pokročilejší fázi je značení dílů, kde je jednoznačně označeno přes 50 % komponent. Také rezervační systém je v konstrukčním oddělení funkční a tvorbou nových projektů se vychytávají drobné nedostatky. Co naopak stagnuje, je normování práce, které by k posunu vyžadovalo zkušeného normovače, jenž by proces montáže neustále monitoroval a systém zdokonaloval.

Během 2 měsíců ostrého provozu systému TPM lze konstatovat, že technické provedení ověřilo předchozí teoretické a experimentální předpoklady. Vzhledem k účelu použití celého systému je však nutný sběr dalšího množství dat a jejich analýza v souvislosti se vznikajícími poruchami.

VUZ nabízí službu Racionalizace výrobních prostor i pro další společnosti.

Literatura

[1] CPI Web servis s.r.o. *SVĚT PRODUKTIVITY Beta* [online]. 2012 [cit. 2023-06-11]. Dostupné z: https://www.svetproduktivity.cz/slovnik/slovnik-5S.htm; **[2] SYROVÝ, Petr, Martin NEČAS a Jiří KYNCL**. *Projekt: Digitální dvojče VUZ DZS: Závěrečná zpráva projektu*. Praha, 2023; **[3] *Železničář*.** 29. 2022. ISSN 0322-8002. **[4] BRABEC Jaroslav, SOLAŘ Antonín,** RACIONALIZACE VÝROBNÍCH PROCESŮ, TECHMAGAZÍN. 05/2023. ISSN 1804-5412

♠ ♠ ♠

Resumé

Tento příspěvek pojednával o implementaci třech různých nástrojů do systému dynamické zkušebny Výzkumného Ústavu Železničního. V úvodu příspěvku bylo popsáno pracoviště a jeho hlavní činnost. První část příspěvku se zabývá organizačním systémem 5S a standardizací pracoviště, vysvětluje zavedené pojmy a uvádí příklad standardizace pracoviště v místnosti termomechanických zkoušek. Druhá část příspěvku prezentuje projekt digitálního dvojčete a jeho výhod při zvyšování efektivity práce. V rámci digitálního dvojčete byl převeden do digitální podoby zkušební prostor, vybavení zkušebny a byly zavedeny nástroje pro ulehčení montáže sestav zkoušek. Poslední část byla věnována systému TPM (Total Productive Maintenance), který i přes krátkou dobu provozu ukazuje první výsledky a plní teoretická a experimentální očekávání.

Summary

This article discussed the implementation of three different tools into the system of the dynamic testing room of the Railway Research Institute. The workplace and its main activity were described in the introduction to the article. The first part of the contribution deals with the 5S organizational system and workplace standardization, explains the established terms and gives an example of workplace standardization in a thermomechanical testing room. The second part of the contribution presents the digital twin project and its advantages in increasing work efficiency. As part of the digital twin, the test space and the test room equipment were converted into digital form, and tools were introduced to facilitate the assembly of test sets. The last part was devoted to the TPM (Total Productive Maintenance) system, which, despite the short period of operation, shows the first results and fulfils theoretical and experimental expectations.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.31

PRÚDENIE VZDUCHU NA ZOTRVAČNÍKOVOM BRZDOVOM STAVE UIC

THE AIR FLOW FOR THE INERTIA BRAKING STATE UIC

Andrej SUCHÁNEK*), Pavol ŠŤASTNIAK, Jozef HARUŠINEC, Mária LOULOVÁ

1 ÚVOD

V súčasnosti sa železničná doprava využíva na prepravu tovaru a osôb. Pre svoju vysokú kapacitu je dôležité dbať na spoľahlivosť a bezpečnosť pri preprave. [2, 8,] Na zaistenie bezpečnosti železničných vozidiel sa vykonávajú certifikačné skúšky. Tieto skúšky sú vykonávané na brzdových stavoch s ohľadom na príslušné normy, ktoré musia spĺňať aj samotné brzdové stavy. Skúšky sú z časového, priestorového a ekonomického hľadiska výhodnejšie, ako skúšky v reálnych podmienkach. [1, 4, 11,] Avšak pre celkové schválenie do trvalej prevádzky je potrebná aj skúška v reálnych podmienkach.



Obr. 1 *UIC brzdový stav*

Fig. 1 *UIC brake test bench*

*) **Ing. Andrej SUCHÁNEK, PhD.,** Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Univerzitná 8215/1, 010 01 Žilina, Slovenská republika, tel.: +421 41 513 1753, e-mail: andrej.suchanek@fstroj.uniza.sk, zaoberá sa teóriou koľajových vozidiel, pevnostnými a dynamickými výpočtami na vozidlách,

Ing. Pavol ŠŤASTNIAK, PhD., tel.: +421 41 513 2562, e-mail: pavol.stastniak@fstroj.uniza.sk,

Ing. Jozef HARUŠINEC, PhD., tel.: +421 41 513 2570, e-mail: jozef.harusinec@fstroj.uniza.sk,

Ing. Mária LOULOVÁ, PhD., tel.: +421 41 513 2556, e-mail: maria.loulova@fstroj.uniza.sk.

Zotrvačníkový brzdový stav UIC (***obr. 1***) je akreditovaný pre dva typy brzdových skúšok. [3, 9] Súčasťou brzdového stavu je chladiaci okruh, teda vzduchotechnika, ktorá privádza vzduch ku brzdovým komponentom. Toto chladiace médium musí spĺňať parametre predpísané vo vyhláške. Vzhľadom na rôznu konštrukciu jednotlivých brzdových stavov sú predpísané tzv. chladiace konštanty. Tieto konštanty sú stanovené príslušnou metodikou a musia byť pri skúškach dodržané. [5, 10]

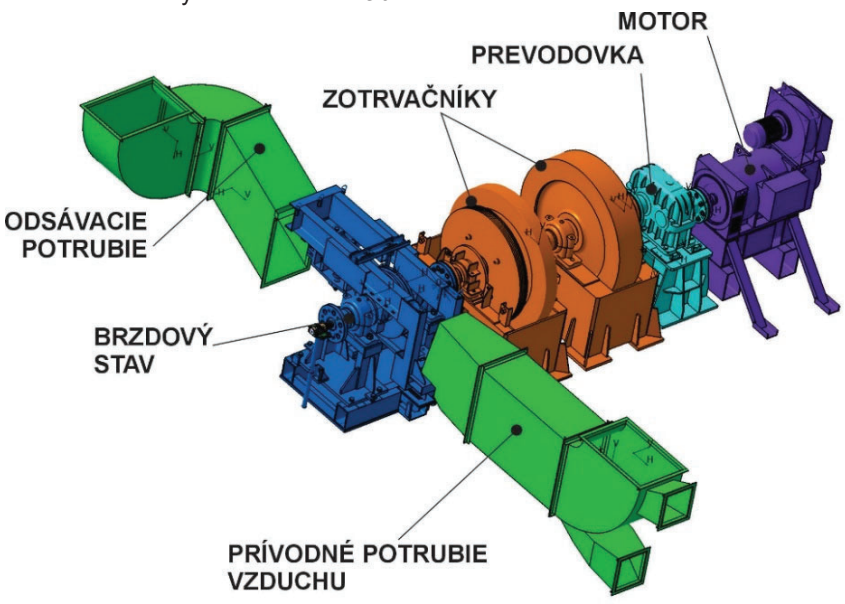
V príspevku sa zameriavame na návrh simulovaných fyzikálnych javov a aplikáciu zodpovedajúcich matematických modelov. Potrebné bolo vytvoriť geometrický model, vytvoriť sieť a stanoviť okrajové podmienky výpočtu.

2 VZDUCHOTECHNIKA BRZDOVÉHO STAVU UIC

Účelom vzduchotechniky brzdového stavu je privádzať vzduch k stanovišťu brzdy v dostatočnom množstve a kvalite a dostatočnou rýchlosťou. [6, 7] Vzduchotechnika zabezpečuje správne podmienky chladenia a zabezpečuje odvod vzduchu za brzdovou jednotkou spolu s ostatnými produktmi brzdenia ako je voda a pevné častice uvoľňujúce sa z komponentov bŕzd.

Vzduchotechnika je poháňaná ventilátormi zabezpečujúcimi prívod vzduchu k brzdovému stavu. Tie sú umiestnené v strojovni vzduchotechniky. Samotné ventilátory, sú poháňané asynchrónnymi trojfázovými elektromotormi prostredníctvom remeňov. Primárny ventilátor v spolupráci s pomocným ventilátorom vedia zabezpečiť rýchlosť vzduchu na ústí prívodného potrubia 27,77 $m.s^{-1}$. Na reguláciu slúži frekvenčný menič.

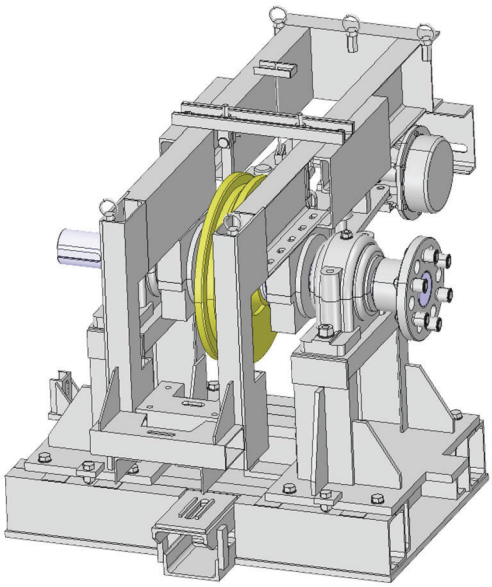
V samotnej miestnosti brzdového stavu je potrubie prívodu vzduchu niekoľkokrát ohnuté – pred aj po rovnom úseku nad velínom, potom ešte trikrát o pravý uhol tak, aby bol vzduch nasmerovaný priamo požadovanou rýchlosťou na brzdené teleso. Za brzdovou jednotkou je umiestnený začiatok odsávania. Vzduch je pomocou ventilátorov vytláčaný potrubím von z budovy na streche. Na ***obr. 2*** sú hlavné časti Zotrvačníkového stavu. [12]



Obr. 2 *UIC brzdový stav s priľahlým potrubím*
Fig. 2 *UIC brake test bench with pipeline*

3 PRÚDENIE VZDUCHU NA BRZDOVOM STAVE

Dôležitou časťou pri simulácii bolo vytvorenie optimálneho 3D CAD modelu brzdového stavu, zjednodušiť kompletný geometrický model na model použiteľný pre CFD simulácie. Model brzdového stavu pred úpravami geometrie je na ***obr. 3***.



Obr. 3 *Brzdový stav pred úpravami geometrie*

Fig. 3 *The test bench before geometry modification*

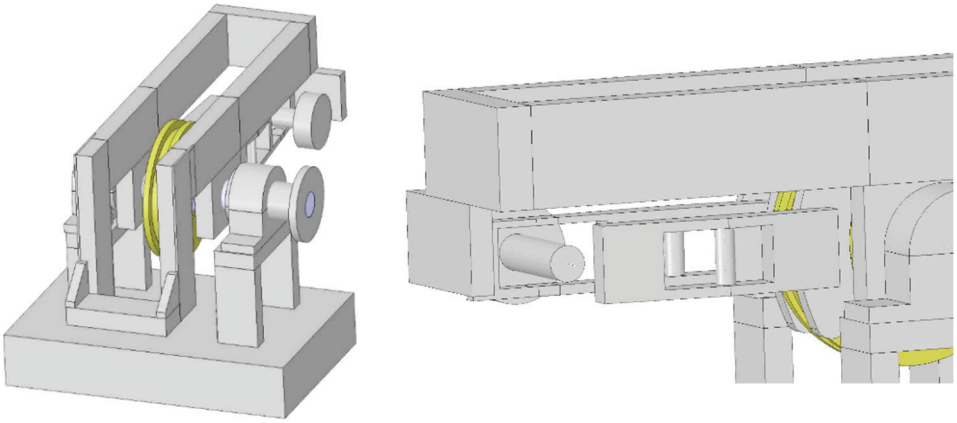
Každý tvarový prvok vyžaduje určitý počet prvkov siete na svoje vlastné rozlíšenie. Na vytvorenie kvalitnej siete je potrebné zmenšiť veľkosť elementov siete alebo odstrániť tvarový prvok. Pri úprave modelu bol braný ohľad na výpočtovú náročnosť úlohy.

Odstránenie malých súčiastok, vyplnenie dier po nich, zjednodušenie kotúča.

Podstavu sme nahradili jednoliatym telesom, odstránený bol držiak snímača, vyplnili sa profily s dutými prierezmi, odstránili sa rebrá podopierajúce stĺpy pod ložiskami.

Zjednodušili sa ložiskové skrine, guľové čapy boli zredukované na valcové objekty, ramená sa zjednodušili drobným posunutím stien.

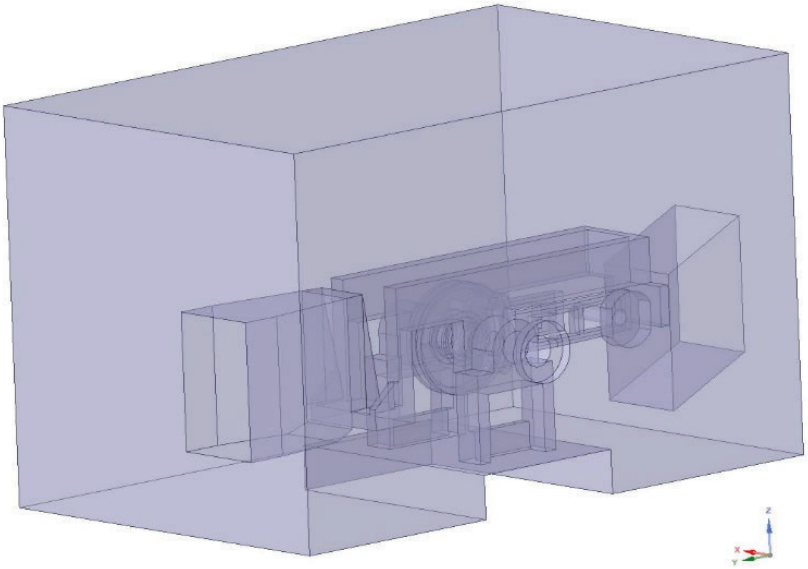
Zjednodušila sa sústava brzdového valca, odstránilo sa zaoblenie ramien. Jedným z najväčších kompromisov je vyplnenie hlavného rámu, ktorým sa zablokuje jedna významnejšia cesta úniku vzduchu od kotúča (zredukovanie prvkov siete o viac ako štvrtinu).



Obr. 4 *Upravený brzdový stav (vľavo predná časť, vpravo zadná časť)*

Fig. 4 *The test bench after modification*

Po vytvorení zjednodušeného modelu (***obr. 4***) sme ho konvertovali do CFD modelu vytvorením telesa reprezentujúceho výpočtovú doménu pre výpočet prúdenia. Obálka bola vytvorená pomocou príkazu „Enclosure“ tak, aby korešpondovala s ochranným posuvným rámom brzdového stanovišťa. Z obálky boli nakoniec odstránené potrubné rúry. Výsledný CFD model je zobrazený na ***obr. 5***. Simulácia bola vykonaná pre ventilovaný a neventilovaný kotúč.



Obr. 5 *CFD model zjednodušeného brzdového stavu*
Fig. 5 *The CFD model of the simplified test bench*

3.1 Neventilovaný kotúč

Úlohou bolo vytvoriť simuláciu prúdenia vzduchu chladiaceho média – vzduchu, ktorá popíše a preukáže správanie vzduchu v priestore brzdového stavu. Sekundárnym cieľom bolo stanovenie možnosti ďalšieho zjednodušenia modelu. Vzhľadom na povahu a zložitosť problému bolo pri tvorbe siete pre tento model nevyhnutných niekoľko kompromisov. Jedným z nich je akceptovanie nízkeho rozlíšenia siete pri stenách symbolizujúcich ochranný posuvný rám brzdového stanovišťa, pri stenách symbolizujúcich prívodné potrubie a podlahu. Takisto je akceptovaná nižšia kvalita siete zo strany ložiskových skríň odvrátených od kotúča.

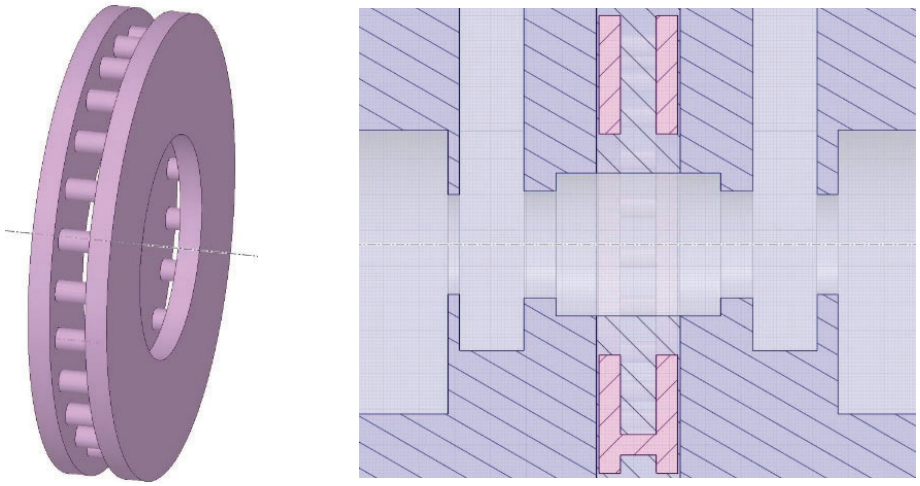
Pre túto simuláciu bol použitý turbulentný model k-ω SST ($y^+ < 5$ na všetkých stenách kotúča, s rastúcou vzdialenosťou od kotúča je akceptovaná aj zhoršujúca sa kvalita siete, a to kvôli výpočtovej náročnosti). Celá výpočtová doména pozostáva z jediného objemového telesa, ktorého materiálom je vzduch. Samotný kotúč je reprezentovaný dutinou kopírujúcou jeho tvar, ktorú musí vzduch obtekať.

Výstupy vzduchu zo simulovanej domény sú dva, jeden z nich predstavuje odsávanie (na tomto výstupe je okrajovou podmienkou prietok odsávania – „mass-flow outlet“) a druhý predstavuje priestor pri podlahe, kadiaľ môže unikať vzduch. Tento druhý výstup je nastavený ako tlakový výstup „pressure outlet“ s vonkajším pretlakom 0 Pa, teda vzduch môže cez túto stenu voľne unikať aj vnikať do systému. Všetky ostatné steny modelu sú nastavené ako fyzické steny, dokonale hladké (zanedbaná drsnosť). Rotáciou kotúča je simulovaná rýchlosť vlaku 60 $km \cdot h^{-1}$.

3.2 Ventilovaný kotúč

Simulácia ventilovaného kotúča sa od simulácie predchádzajúcej líši v dvoch dôležitých faktoroch. V prvom rade je to tvar kotúča, ktorým je teraz zjednodušený ventilovaný kotúč (***obr. 6*** vľavo). Zjednodušenie spočíva v tom, že ventilačné elementy brzdového kotúča koľajového vozidla sú zredukované na obyčajné valčeky (25 valčekov) rozmiestnených v rovnakej vzdialenosti od osi rotácie kotúča. Toto zjednodušenie je kompromisom medzi výpočtovou náročnosťou komplexného ventilovaného kotúča a elementárnou reprezentáciou ventilovaného kotúča. Je zrejmé a predpokladané, že ventilačný efekt, tak, ako funguje v bežnej prevádzke, nebude v tejto simulácii vďaka takému drastickému zjednodušeniu viditeľný, zato však bude vnútro kotúča chladené určitým množstvom pretekajúceho vzduchu.

Druhým faktorom je spôsob rotácie kotúča v rámci simulácie. Tu je využitý princíp „sliding meshes“, tak, ako bol popísaný v prehľade literatúry s jeho výhodami aj nevýhodami. Vnútri statickej domény bola vytvorená valcová doména s dutinou v tvare kotúča (***obr. 6*** vpravo), ktorá sa bude otáčať. Alternatívnym spôsobom je ešte použitie prekrytia sietí (overset), táto možnosť je však pre nedostatok priestoru medzi kotúčom a platničkami zavrhnutá.

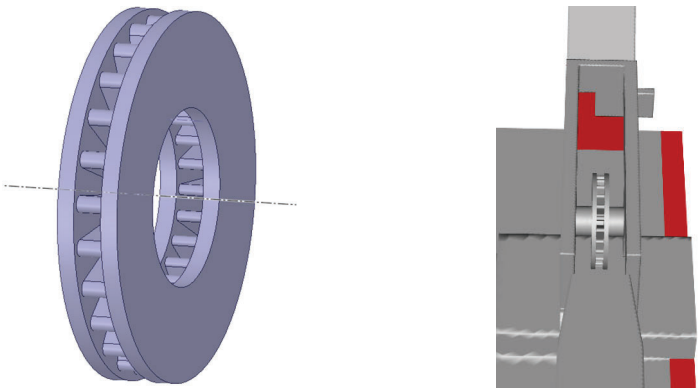


Obr. 6 *Zjednodušený ventilovaný kotúč*

Fig. 6 *The CFD model of the simplified test bench*

Všetky okrajové podmienky z prípadu neventilovaného kotúča sa zhodujú s okrajovými podmienkami v tejto simulácii. Navyše, niektoré ďalšie podmienky sú pridané. Novovytvorená valcová doména je uvažovaná ako samostatná oblasť, ktorá sa pohybuje rotačným pohybom okolo svojej osi. Parametre tohto pohybu sú definované ako simulácia pohybu vlaku rýchlosťou 60 $km.h^{-1}$. Novovzniknuté steny medzi valcovou doménou a pôvodnou obálkou brzdového stavu sú spojené do obyčajného rozhrania. Všetky steny ventilovaného kotúča takisto rotujú rovnakými otáčkami ako celá doména.

Za rovnakých okrajových podmienok bol simulovaný aj ventilovaný kotúč s radiálnymi lopatkami (***obr. 7***). Jedná sa o komplikovanejšiu geometriu ako v predchádzajúcom prípade. Tým je vyžadovaný väčší počet elementov na rozlíšenie samotného kotúča a aby výpočtová náročnosť zostala približne rovnaká, je potrebná ďalšia úprava a zjednodušenie geometrie.

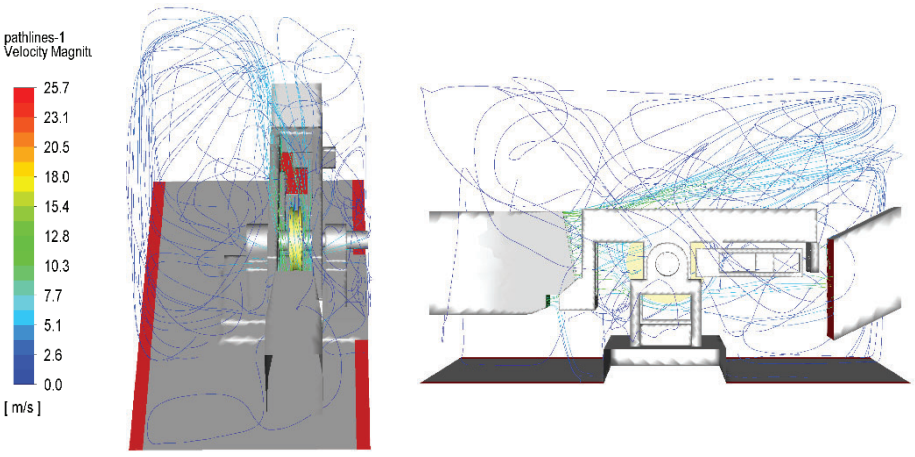


Obr. 7 *kotúč s radiálnymi lopatkami*
Fig. 7 *The disk with radial vanes*

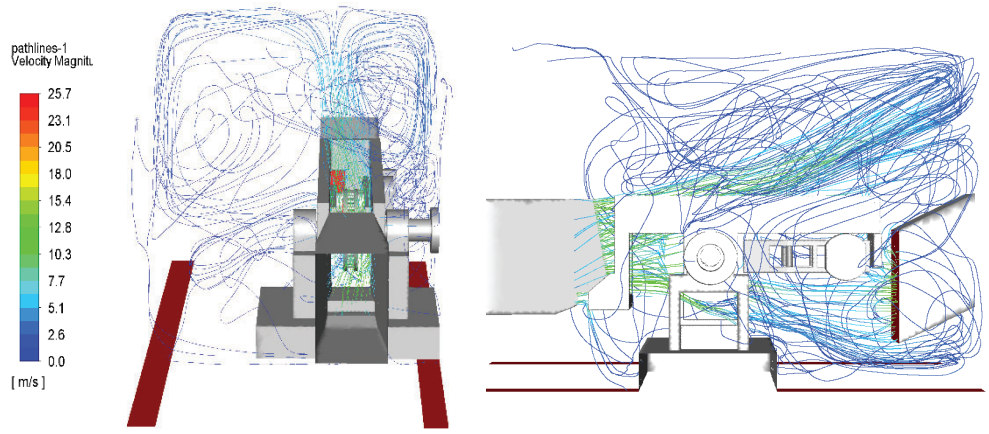
3.3 Výsledky simulácií

Výsledky prúdenia sú prezentované ako súbor porovnaní prípadu ventilovaného a neventilovaného kotúča pri rovnakých simulovaných podmienkach. Všetky prípady uvažujú s rotáciou reprezentujúcou rýchlosť vlaku 60 km.h^{-1}.

Vzhľadom na komplikovanosť geometrie aj po zjednodušení sú jedným z výhodných nástrojov na prezentovanie výsledkov aj v tomto prípade trajektórie myslených bezrozmerných nehmotných častíc vzduchu. Trajektórie sú vyhodnocované s počiatkami v 1100 bodoch umiestnených na vstupe vzduchu, pričom pre prehľadnosť je vždy zobrazený iba náhodný výber z nich (***obr. 8***, ***obr. 9*** a ***obr. 10***).

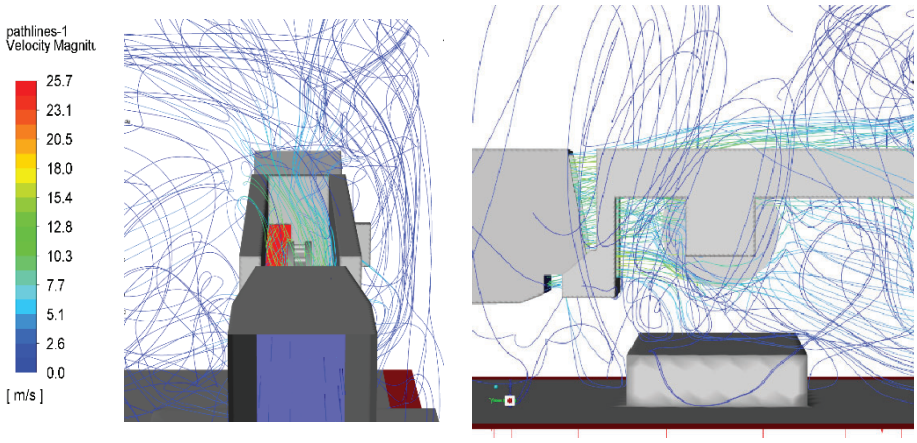


Obr. 8 *Trajektórie prúdenia – neventilovaný kotúč*
Fig. 8 *Flow trajectories – non-ventilated disc*



Obr. 9 *Trajektórie prúdenia – zjednodušený ventilovaný kotúč*

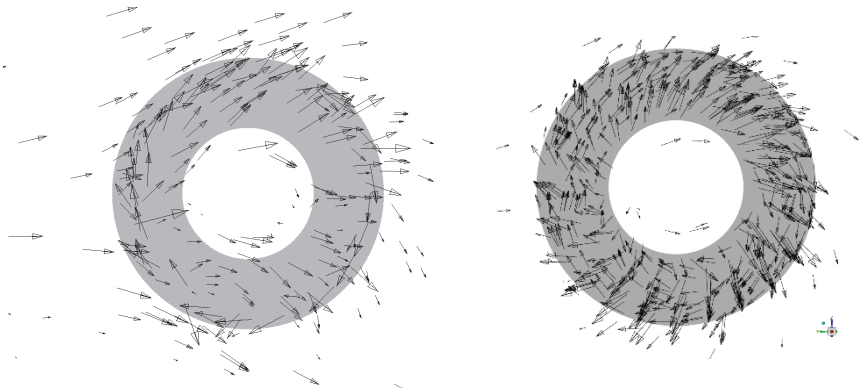
Fig. 9 *Flow trajectories – simplified disc with radial vanes*



Obr. 10 *Trajektórie prúdenia – ventilovaný kotúč s radiálnymi lopatkami*

Fig. 10 *Flow trajectories – ventilated disc with radial vanes*

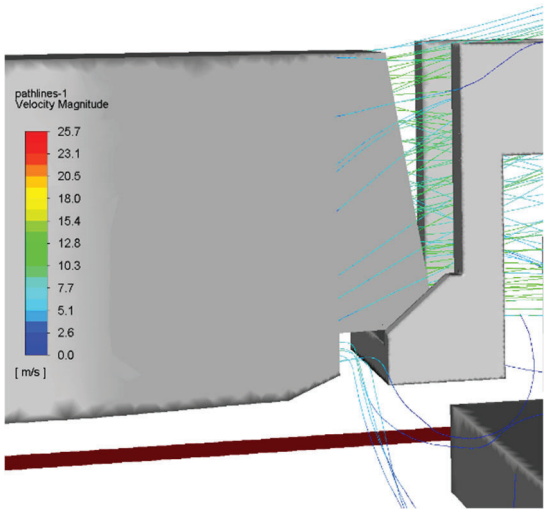
Ventilačný efekt nie je vyvolaný rotáciou zjednodušeného ventilovaného kotúča, respektíve je len zanedbateľný (***obr. 11***). Toto je spôsobené geometrickým zjednodušením ventilačných elementov. Pri kotúči s výraznejším ventilačným efektom sú rozdiely medzi oboma stranami kotúča menšie a teda nerovnomernosť prúdenia vzniknutá vplyvom zakrivenia potrubia alebo geometrie rámu je potláčaná, čo môže mať vplyv na rozdielne teploty trecích povrchov kotúča.



Obr. 11 *Vektory rýchlostí v stredovej rovine kotúčov (zjednodušený vľavo, radiálny vpravo)*

Fig. 11 *Velocity vectors in the center plane of the disks (simplified on the left, radial on the right)*

Na priblíženom pohľade na trajektórie (***obr. 12***) v tesnej blízkosti okolo ústia prívodného potrubia možno pozorovať, že niektoré trajektórie sú rámom odklonené od hlavného prúdu vzduchu smerom pod rám alebo do strany od rámu. Tým je časť vzduchu odvádzaná preč a znižuje sa chladiaci potenciál prúdenia. Je vhodné zistiť, koľko takých trajektórií je, a ktoré to sú. Tým sa dá popísať, ako by bolo vhodné modifikovať tvar rámu alebo potrubia tak, aby tento vzduch ostal v hlavnom prúde, ak je podiel odkloneného vzduchu významný.



Obr. 12 *Miesta unikajúceho vzduchu v prednej časti rámu*

Fig. 12 *Places with escaping air in the front part of the frame*

Je možné identifikovať tri oblasti, odkiaľ je vzduch primárne nasávaný:

- oblasť kotúča, teda vzduch nasávaný z oblasti brzdenia,
- vzduch víriaci nad rúrou odsávacieho potrubia,
- vzduch nasávaný od podlahy, do určitej miery teda vzduch z okolia.

4 ZÁVER

Zostava brzdového stavu je z hľadiska simulácie prúdenia vzduchu v jeho priestore geometricky komplikovaná. Z dôvodu dosiahnutia rozumných výpočtových časov na použitom hardvéri bolo potrebné urobiť niektoré zjednodušenia geometrie zariadenia. Skrutkové spoje, ktoré by vytvárali lokálne komplikované vírenia, avšak z globálneho hľadiska nevýznamné, boli odstránené. Otvorené profily boli uzatvorené, prípadne zjednodušené a detailné rádiusy boli nahradené ostrými hranami. To umožnilo vytvoriť dostatočne kvalitnú sieť a zistiť charakteristické tvary prúdenia v zariadení. Taktiež bola zjednodušená geometria kotúča aj s hriadeľom, nakoľko predstavovali rotačnú doménu simulujúcu rotáciu kotúča pri brzdení. Simulácia bola vykonaná pre rôzne typy kotúčov.

Zo simulácie bolo zistené, že nasávanie vzduchu je ovplyvnené najmä rámom, konkrétne jeho zadnou časťou (a do istej malej miery aj brzdovým ústrojenstvom), ktorá je tvorená U – profilmi a zabraňuje priamemu tečeniu vzduchu od kotúča k odsávaniu. Brzdový stav bol modifikovaný pridaním plechov spájajúcich odsávanie s podstavou brzdového stavu. Tým bolo eliminované prúdenie vzduchu priamo nasávaného od podlahy a odsávací potenciál bol presmerovaný ku kotúču.

Poďakovanie

Táto práca bola vytvorená vďaka podpore projektu VEGA: 1/0513/22 - Výskum vlastností železničných brzdových komponentov v simulovaných prevádzkových podmienkach na zotrvačníkovom brzdovom stave.

Literatúra

[1] Gerlici, J., Gorbunov, M., Kravchenko, K., Kostyukevich, A., Nozhenko, O., Lack, T.: Experimental rigs for wheel/rail contact research. Manufacturing Technology, ISSN 1213-2489, Roč. 19, č. 5 2019, s. 909-916 Scopus. **[2] Lack, T., Gerlici, J.:** Modified Strip Method utilisation for wheel /rail contact stress evaluation. 9th international conference on contact mechanics and wear of rail/ wheel systems (CM2012): 27-30 August 2012, Chengdu, China: proceedings. Session 5: Fundamental contact mechanics. - Chengdu: Southwest Jiaotong University, S. 87-89, 2012. **[3] Gerlici, J., Sakhno, V., Yefymenko, A., Verbitskii, V., Kravchenko, A., Kravchenko, K.:** The stability analysis of two-wheeled vehicle model. Machine modelling and simulations 2017 [electronic]. ISSN 2261-236X. 1. vyd. Londýn: Édition Diffusion Presse Sciences, 2018. s. [1-10]. DOI: 10.1051/matecconf/201815701007. **[4] Lack, Gerlici, J.:** Contact area and normal stress determination on railway wheel/rail contact. Komunikácie - vedecké listy Žilinskej univerzity = Communications - scientific letters of the University of Žilina. - ISSN 1335-4205. - Roč. 7, č. 2 (2005), s. 38-45. **[5] Gerlici, J., Lack, T.:** Analýza geometrie železničnej koľaje. Komunikácie. ISSN 1335-4205. Roč. 5, č. 1 2003, s. 43-51. SCOPUS. **[6] Blatnický, M., Dižo, J., Sága, M., Gerlici, J., Kuba, E.:** Design of a mechanical part of an automated platform for oblique manipulation. Applied sciences [electronic]. Switzerland, ISSN 2076-3417 (online). Roč. 10, č. 23, s. 1-24, 2020. **[7] Gerlici, J., Gorbunov, M., Kravchenko, K., Domin, R., Kovtanets, M., Lack, T.:** Slipping and skidding occurrence probability decreasing by means of the friction controlling in the wheel-braking pad and wheel-rail contacts. Manufacturing technology, ISSN 1213-2489. Vol. 17, no. 2, s. 179-186, 2017. **[8] Lack, T., Gerlici, J.:** Analysis of vehicles dynamic properties from the point of view of passenger comfort. Communications, ISSN 1335-4205. Vol. 10, No. 3, p. 10-18, 2008. **[9] Dižo, J., Blatnický, M., Steisunas, S., Skočilasová, B.:** Assessment of a rail vehicle running with the damaged wheel on a ride comfort for passengers. MATEC Web of Conferences 157, 2018. **[10] Gerlici, J., Fomina, Y., Kravchenko, K.:** The dependance of the aerodynamic drag on the rolling stock motion speed. In Transportation research procedia 55. S. 723-730., 2021. ISSN 2352-1465. **[11] Zhang, S., Zhang, J.:** Modeling and

Analysis on Fluid-solid-thermal Physical Field Coupling of Ventilated Disc Brake. Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Mechanical Engineering, 55(8), pp. 154-164. 2019. **[12] Steisunas, S., Dizo, J., Bureika, G., Zuraulis, V.:** Examination of Vertical Dynamics of Passenger Car with Wheel Flat Considering Suspension Parameters. Transbaltica 2017. Volume, 187, Page 235-241, DOI 10.1016/j.proeng.2017.04.370. 2017

♠ ♠ ♠

Resumé

Príspevok pojednáva o skúmaní prúdenia vzduchu na Zotrvačníkovom brzdovom stave UIC, ktorý je umiestnený v ťažkom laboratóriu na Katedre dopravnej a manipulačnej techniky. Bolo potrebné zjednodušiť celú konštrukciu pre potreby simulácie v programe ANSYS. Simuláciou bolo zistené, že nasávanie vzduchu je ovplyvnené najmä rámom, pre to bol brzdový stav modifikovaný pridaním plechov spájajúcich odsávanie s podstavou brzdového stavu. Výsledkom bolo eliminovanie prúdenia vzduchu priamo nasávaného od podlahy a odsávací vzduch bol presmerovaný ku kotúču.

Summary

The paper deals with the investigation of the air flow on the Inertia braking state UIC, which is located in a heavy laboratory at the Department of Transport and Handling Machines. It was necessary to simplify the whole construction for the necessities of simulation in ANSYS program. The simulation found that the air intake is mainly affected by the frame, so the brake stand was modified by adding sheets connecting the outlet to the base of the brake stand. As a result, the flow of air directly sucked in from the floor was eliminated, and the exhaust air was redirected to the brake disc.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.32

NÁVRH MECHANIZMU PRE SKÚŠKU PARKOVACEJ BRZDY

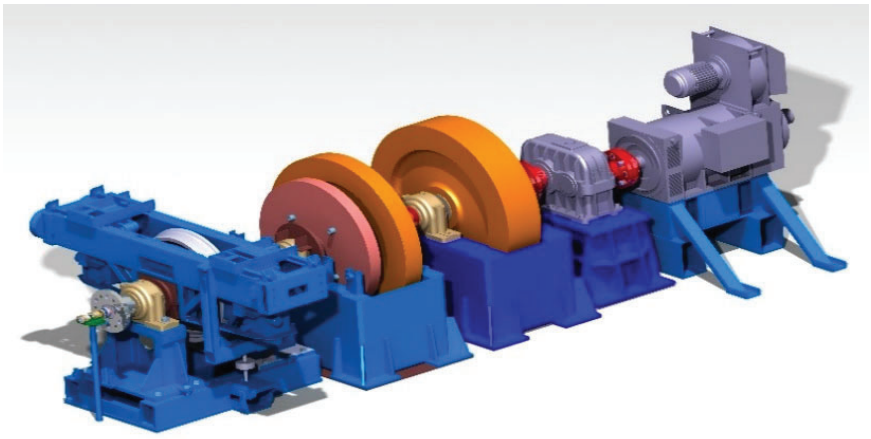
THE MECHANISM DESIGN OF A PARKING BRAKE TEST DEVICE

Andrej SUCHÁNEK*), Pavol ŠŤASTNIAK, Jozef HARUŠINEC, Mária LOULOVÁ

1 1 ÚVOD

Skúšky brzdných zostáv a komponentov vykonávané v simulovaných podmienkach nahrádzajú drahé traťové brzdové skúšky celých vozňov. Skúšky sú predovšetkým zamerané na trecie vlastnosti klátikových a kotúčových bŕzd koľajových vozidiel. [7, 9]

Je potrebné zaistiť, aby rozdielne brzdové stavy v rôznych skúšobniach dosahovali približne rovnaké výsledky uvedených skúšok brzdných komponentov rovnakého druhu a rovnakého výrobcu. [1, 4] Na dosiahnutie porovnateľných a spoľahlivých výsledkov musia byť takéto brzdové stavy schválené a kontrolované skupinou expertov. [6, 12]



Obr. 1 *UIC brzdový stav*
Fig. 1 *UIC brake test bench*

*) **Ing. Andrej SUCHÁNEK, PhD.,** Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Univerzitná 8215/1, 010 01 Žilina, Slovenská republika, tel.: +421 41 513 1753, e-mail: andrej.suchanek@fstroj.uniza.sk, zaoberá sa teóriou koľajových vozidiel, pevnostnými a dynamickými výpočtami na vozidlách,

Ing. Pavol ŠŤASTNIAK, PhD., tel.: +421 41 513 2562, e-mail: pavol.stastniak@fstroj.uniza.sk,

Ing. Jozef HARUŠINEC, PhD., tel.: +421 41 513 2570, e-mail: jozef.harusinec@fstroj.uniza.sk,

Ing. Mária LOULOVÁ, PhD., tel.: +421 41 513 2556, e-mail: maria.loulova@fstroj.uniza.sk.

Na Katedre dopravnej a manipulačnej techniky je inštalovaný zotrvačníkový brzdový stav (***obr. 1***), ktorý bol schválený subkomisiou UIC UK 5T ako univerzálny skúšobný brzdový stav kategórie D podľa Správy ERRI B 126/RP 18. Kategória D je najvyššia kategória certifikovaných zotrvačníkových brzdových stavov, umožňujúca vykonávať všetky predpísané skúšobné programy až do rýchlosti 350 km.h^{-1}. [2] Umožňuje vykonávať skúšky obložení a klátikov železničných bŕzd podľa vyhlášok UIC 541-3 a UIC 541-4 a ďalšie skúšky. [3, 8, 11]

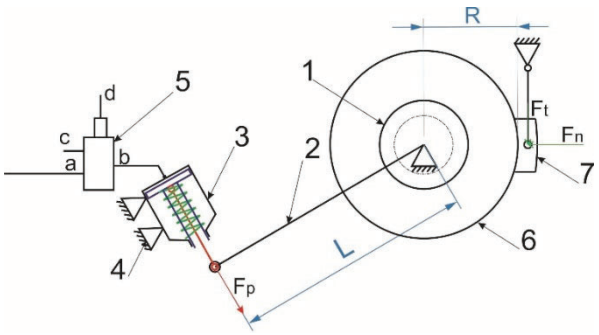
2 NÁVRH ZARIADENIA PRE TESTOVANIE PARKOVACEJ BRZDY

Pri bežných skúškach na zotrvačníkovom brzdovom stave sa pomocou elektromotora vytvára výkon, ktorý sa pomocou spojok a prevodovky prenáša do zotrvačníka, v ktorom sa akumuluje ako energia, ktorá sa využíva na simulovanie hmotnosti pripadajúcej na jednu brzdu. [5, 10] Počas skúšky parkovacej brzdy nie je možné takéto usporiadanie testovacej zostavy, pretože pri nulových otáčkach a postupnom zvyšovaní budiaceho prúdu dochádza k nadmernému zaťaženiu prevodovky, čo má za následok vplyv na poškodenie ozubeného dvojkolesia prevodovky.

Z dôvodu získavania ľahko porovnateľných výsledkov a metodiky založenej na rovnakom princípe pre všetky akreditované skúšobné stavy bola navrhnutá parkovacia brzdy, ktorá umožňuje úplné vylúčenie motora a prevodovky a tým predísť ich poškodeniu. Pri návrhu parkovacej brzdy bolo potrebné brať do úvahy rýchle montážne a demontážne časy a dostatočnú tuhosť sústavy.

2.1 Princíp činnosti

Počas skúšky parkovacej brzdy sa, požadovaným prítlakom, k sebe pritlačia brzdové komponenty trecích dvojíc (brzdové klátiky (7) na jazdný profil kolesa (6) alebo brzdové obloženia na brzdový kotúč) na požadovanom trecom resp. brzdovom polomere R. Takto zaistené koleso resp. kotúč je pomocou pera a hriadeľa spojené pevnou kinematickou väzbou so spojkou BKN (1). K spojke je prostredníctvom 4 čapov pevne pripevnené rameno (2) s osovou vzdialenosťou L.



Obr. 2 *Princíp činnosti parkovacej brzdy*
Fig. 2 *Operation principle of the parking brake*

Na opačnej strane je toto rameno uchytené k piestnici brzdového valca (3). Reakčné sily, ktoré vznikajú pri interakcii brzdového valca a ramena sa prostredníctvom 6 skrutiek prenášajú do rámu parkovacej brzdy (4). Tlak vzduchu v brzdovom valci je regulovaný pomocou proporčného ventilu FESTO MPPE (5). Napájacie napätie elektropneumatického ventilu MPPE je 24 V (DC) a ventil je ovládaný zmenou napätia v rozsahu 0 – 10 V (DC). Proporčným ventilom je umožnená regulácia tlaku vzduchu z hlavného vzduchojemu (0,8 MPa) na 0 – 0,6 MPa v brzdovom valci podľa veľkosti ovládacieho napätia. Schéma znázorňujúca princíp činnosti parkovacej brzdy je na ***obr. 2***.

Pri postupnom zvyšovaní tlaku vzduchu v brzdovom valci dochádza k nárastu sily na piestnici F_P [N], ktorá je definovaná:

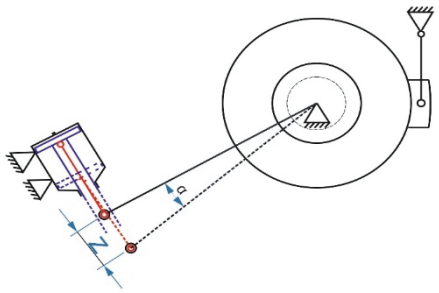
$$F_P = p_{vz} \cdot S_p \tag{1}$$

kde p_{vz} – tlak vzduchu [MPa] a S_p – plocha piesta [mm^2].

Pôsobením sily FP na rameno vzniká krútiaci moment M_k [N.mm], ktorého veľkosť je definovaná:

$$M_k = F_p \cdot L \tag{2}$$

kde: L – osová vzdialenosť stredov uložení ramena [mm].



Obr. 3 *Zmena geometrie pri vysunutej ojnici Z*

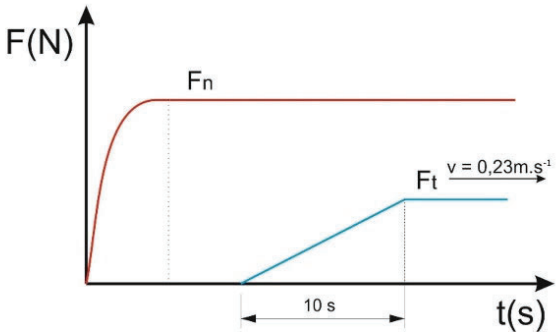
Fig. 3 *Change of the geometry when the rod is extended*

Maximálny možný zdvih piestnice brzdového valca je Z_{max} = 200 mm. Pri takomto posunutí dôjde k zmene geometrie, ktorá je zapríčinená rotačným pohybom ramena.

Zmena geometrie ***obr. 3***, ktorá je zapríčinená vysunutím ojnice *Z,* a tým aj pootočením ramena o uhol *α* ovplyvňuje veľkosť zmeny krútiaceho momentu M_k minimálne.

2.2 Postup vykonania skúšky

Skúška začína zabrzdením skúšaného kolesa (kotúča) požadovanou prítlačnou silou F_n. Po dosiahnutí požadovanej sily F_n začne elektropneumaticky ventil (5) zvyšovať tlak v brzdovom valci a vyvodzovať prostredníctvom páky (2) krútiaci moment. Tento moment je zachytený tiahlom snímača tangen-ciálnej sily F_t osadeným silovým snímačom. Ako vidieť na ***obr. 4*** sila F_t rastie li-neárne, počas desiatich sekúnd, až do momentu, kedy dôjde k prekonaniu trecích síl. Po prekonaní trecích síl a dosiahnutí simulovanej rýchlosti vozidla v = 0,23 m.s^{-1} sa z nameraných hodnôt normálovej a tangenciálnej sily dopočíta súčiniteľ trenia.

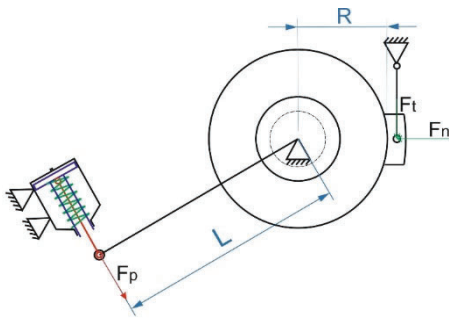


Obr. 4 *Priebeh sily pri teste parkovacej brzdy*

Fig. 4 *The course of the force in the parking brake test*

2.3 Dimenzionálny návrh ramena parkovacej brzdy

Pri návrhu ramena bolo potrebné určiť medznú silu, ktorá bude potrebná pre prekonanie účinku parkovacej brzdy. V návrhovom výpočte sme uvažovali s priemerom kolesa D = 920 mm, s prítlačnou silou 50 kN, súčiniteľom trenia f = 0,5 (-) a priemerom piesta brzdového valca d = 254 mm. Na kolese vzniká momentová rovnováha akčného momentu M_K rovnica (2) a reakčného momentu M_R [Nm] ako je schematický znázornené na ***obr. 5***.



Obr. 5 *Priebeh sily pri teste parkovacej brzdy*

Fig. 5 *The course of the force in the parking brake test*

$$M_R = M_k \tag{3}$$

Reakčný moment M_R je definovaný:

$$M_R = R \cdot F_n \cdot f \tag{4}$$

Po dosadení rovnice (2) a rovnice (4) do rovnice (3) dostávame:

$$R \cdot F_n \cdot f = F_p \cdot L \tag{5}$$

Následne dosadíme rovnicu (1) do rovnice (5):

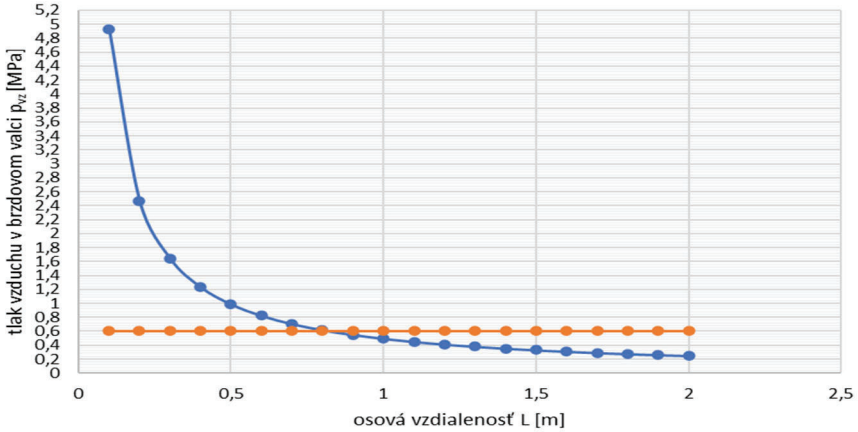
$$R \cdot F_n \cdot f = p_{vz} \cdot S_p \cdot L \tag{6}$$

Vyjadríme si plochu piesta brzdového valca:

$$S_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{7}$$

Po dosadení rovnice (7) do rovnice (6) a následnej úprave dostávame vzťah, ktorý nám určuje závislosť tlaku vzduchu v brzdovom valci p_{vz} k osovej vzdialenosti ramena L:

$$p_{vz} = \frac{4 \cdot R \cdot F_n \cdot f}{\pi \cdot d^2} \cdot \frac{1}{L} \tag{8}$$



Obr. 6 *Priebeh sily pri teste parkovacej brzdy*

Fig. 6 *The course of the force in the parking brake test*

Z grafu na ***obr. 6*** môžeme určiť osovú vzdialenosť *L*, ktorá bude zodpovedať tlaku vzduchu, ktorý je možné regulovať pomocou elektropneumatického ventilu. Po zhodnotení sme zvolili dĺžku osovej vzdialenosti *L* = 1 m.

2.4 Zmena krútiaceho momentu počas zdvihu

Pre určenie zmeny krútiaceho momentu vplyvom pootočenia ramena bolo potrebné najskôr vypočítať uhol pootočenia ramena *α*:

$$\alpha = \frac{Z \cdot 360}{2 \cdot \pi \cdot L}, \tag{9}$$

kde *Z* [m] je vysunutie ojnice.

Následne sa upraví sila vyvolávaná pneumatickým valcom:

$$F_{P,Z=200} = F_P \cdot \cos \alpha \,. \tag{10}$$

Po dosadení rovnice (9) do rovnice (10) vznikla rovnica:

$$F_{P,Z=200} = F_P \cdot \cos \frac{Z \cdot 360}{2 \cdot \pi \cdot L}. \tag{11}$$

Pri pootočení ramena nedochádza len k zmene sily F_P [N] ale aj k zmene kolmej vzdialenosti medzi stredom otáčania a zložky sily kolmej na rameno. Skrátenie vzdialenosti *L´* [m] bolo vypočítané nasledovne:

$$L' = Z \cdot \sin \frac{Z \cdot 360}{2 \cdot \pi \cdot L}, \tag{12}$$

a vzdialenosť *L´´*[m] od stredu otáčania ramena ku kolmému pôsobeniu sily $F_{P,Z=200}$ [N] sa vypočítala:

$$L'' = L - L'. \tag{13}$$

Po dosadení rovnice (12) do rovnice (13) sa získala rovnica:

$$L'' = L - Z \cdot \sin \frac{Z \cdot 360}{2 \cdot \pi \cdot L}. \tag{14}$$

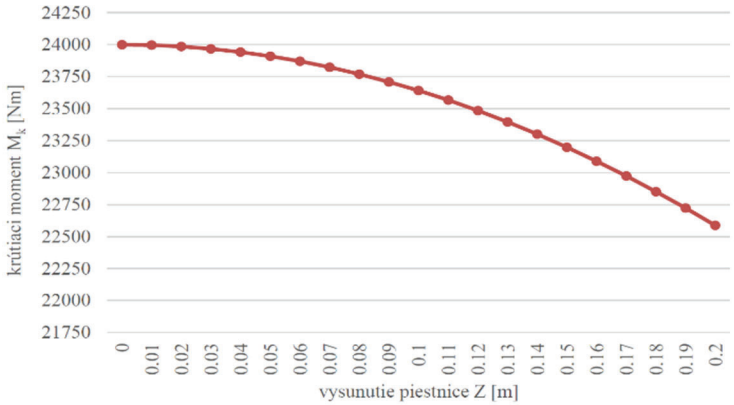
Výsledný krútiaci moment pri vysunutí piestnice $M_{k,Z=200}$ [N.m]:

$$M_{k,Z=200} = F_{P,Z=200} \cdot L'' \,. \tag{15}$$

Po dosadení rovnice (11) a rovnice (14) do rovnice (15) sa získala rovnica:

$$M_{k,Z=200} = F_P \cdot \cos \frac{Z \cdot 360}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(L - Z \cdot \sin \frac{Z \cdot 360}{2 \cdot \pi \cdot L} \right). \tag{16}$$

Pri dosadení vypočítanej osovej vzdialenosti *L* do rovnice (16) je možné určiť celý priebeh zmeny krútiaceho momentu, závislej na zmene geometrie pri vysunutí piestnice *Z* = 0 – 200 m. Priebeh zmeny krútiaceho momentu vplyvom zmeny geometrie je znázornený na ***obr. 7***. Pri poklese momentu je prostredníctvom tangenciálnej sily regulovaný elektropneumatický ventil, ktorý spoľahlivo vyrovnáva tieto straty.



Obr. 7 *Zmena krútiaceho momentu vplyvom vysunutia piestnice*

Fig. 7 *The change of the torque influenced with extension of piston rod*

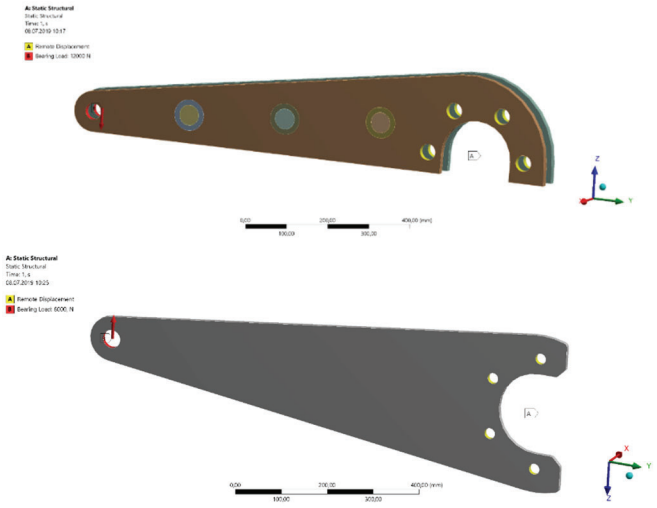
2.5 Návrh konštrukcie ramena parkovacej brzdy

Pri návrhu konštrukcie ramena bolo potrebné určiť veľkosť sily piestnice F_P. Táto sila vychádza z momentovej rovnováhy z rovnice (3), kde po vyjadrení dostávame:

$$F_p = \frac{R \cdot F_n \cdot f}{L}. \tag{17}$$

Pre vybrané hodnoty navrhnuté v dimenzionálnom výpočte a zvolenej dĺžky L dostávame veľkosť sily F_P = 12 000 N.

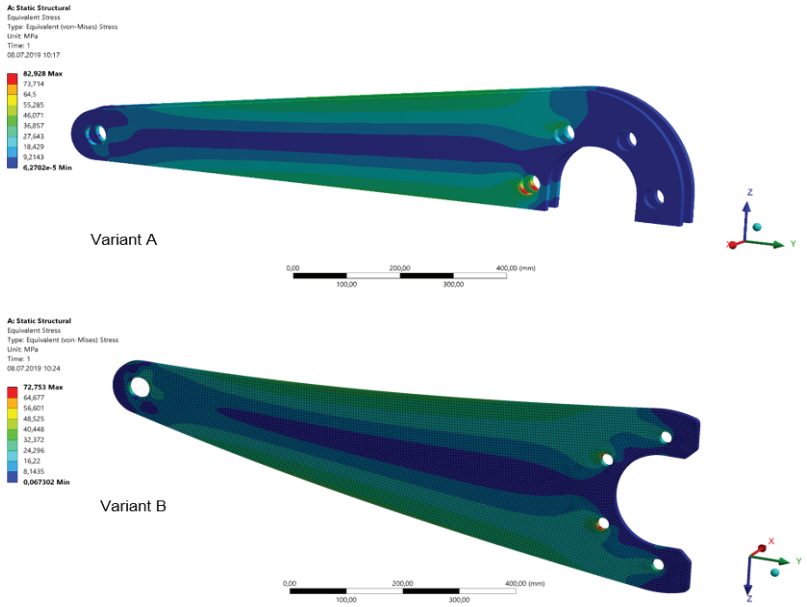
Pri konštrukčnom návrhu sme navrhli dva varianty konštrukcie ramena, ako je možné vidieť na ***obr. 8***. Variant A bol zaťažovaný celkovou silou F_P. Variant B bol zaťažený polovičnou silou F_P, pretože vo výpočte sme uvažovali s ramenom pozdĺžne rozdeleným na dve symetrické časti.



Obr. 8 *Návrh ramena parkovacej brzdy*

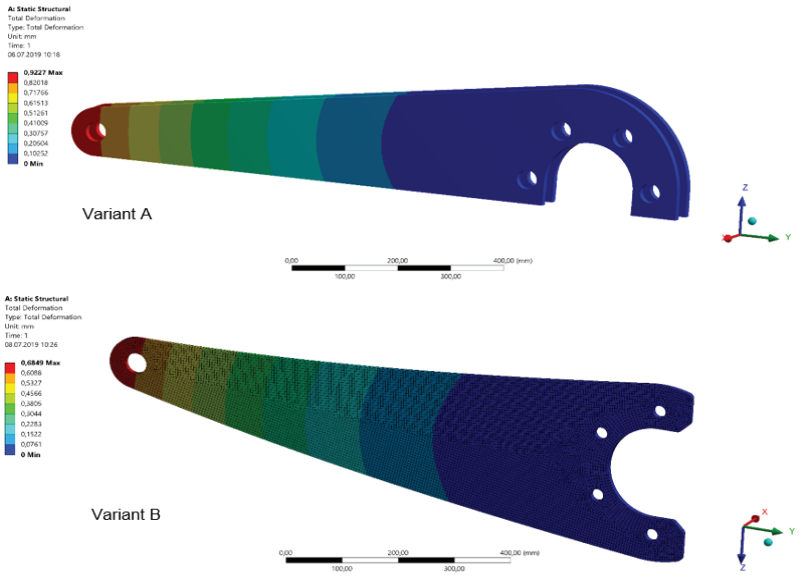
Fig. 8 *Designs of the parking brake arm solution*

Pomocou numerického výpočtu bola v programe ANSYS Workbench vykonaná štrukturálna analýza (***obr. 9*** a ***obr. 10***).



Obr. 9 *Rozloženie ekvivalentného napätia*

Fig. 9 *Distribution of the equivalent stress (von Mises)*



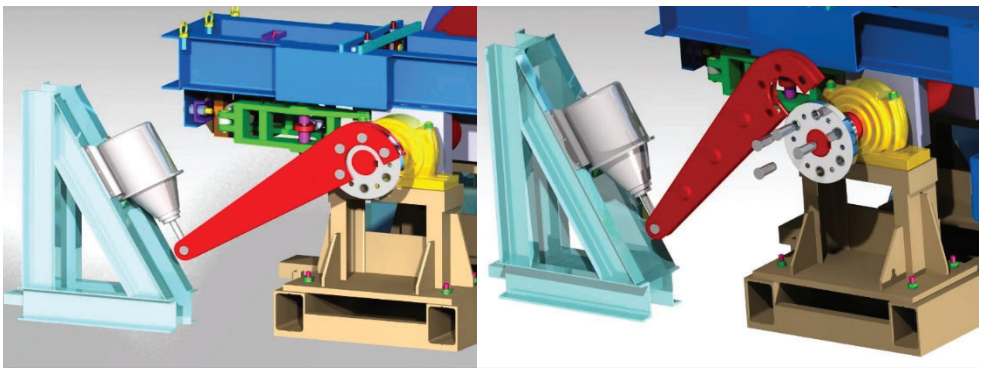
Obr. 10 *Celková deformácia*

Fig. 10 *Total deformation*

V analýze sa zisťovali miesta, v ktorých dochádzalo ku koncentrácií napätí, veľkosti vzniknutých napätí a posunutí vplyvom pôsobenia zaťažujúcich sily F_P. V štrukturálnej

analýze bolo najpodstatnejšou úlohou správne určenie okrajových podmienok tak, aby čo najreálnejšie zodpovedali reálnemu stavu. Vo výpočtoch variantných riešení sme uvažovali s dvomi okrajovými podmienkami. Okrajová podmienka A odoberá všetky stupne voľnosti v mieste uloženia ramena na spojku BKN. Okrajová podmienka B predstavuje silu F_P, ktorá pôsobí v mieste uloženia čapu spájajúceho rameno s piestnicou brzdového valca.

Zhodnotením výsledkov štrukturálnej analýzy sme zistili, že Variant B je vhodnejší ako variant A. Hodnotiacim kritériom boli maximálne ekvivalentné napätia a totálna deformácia. Avšak pri hlbšej analýze montážnych a demontážnych prác sme zistili, že z montážneho hľadiska je variant A výhodnejšou alternatívou. Zmontovaný a demontovaný stav variantu A môžeme vidieť na ***obr. 11***.



Obr. 11 *Návrh ramena parkovacej brzdy*

Fig. 11 *Parking brake arm design*

3 ZÁVER

Článok sa zaoberá problematikou vývoja zariadenia slúžiaceho pre experimentálny výskum trecích vlastností brzdových komponentov koľajových vozidiel. Pomocou tohto zariadenia bude možné vykonávať súbor novo predpísaných skúšok na akreditovanom zotrvačníkovom brzdovom stave. Zariadenie je priamo určené pre skúšobné testovanie parkovacej brzdy a v článku sú popísané princípy, na ktorých toto zariadenie pracuje ako aj samotný postup skúšky, ktorá sa na tomto zariadení vykonáva. Brzdové systémy sú zahrnuté vo viacerých UIC a európskych normách. UIC 541-3 a UIC 541-4 sú najdôležitejšie normy pre skúšanie bŕzd koľajových vozidiel. V ďalšej časti sa článok zaoberá dimenzionálnym návrhom ramena parkovacej brzdy a návrhom konštrukcie ramena parkovacej brzdy. Predstavené sú dve riešenia, na ktorých bola vykonaná štrukturálna analýza a boli zhodnotené výhody a nevýhody týchto variantov. Výsledky z takto navrhnutého zariadenia, pre skúšku parkovacej brzdy, sú jasné a ľahko porovnateľné s výsledkami z ďalších akreditovaných brzdových stavov. V súčasnosti je už parkovacia brzda na zotrvačníkovom brzdovom stave vyrobená a zaradená v procese testovania.

Poďakovanie

Táto práca bola vytvorená vďaka podpore projektu VEGA: 1/0513/22 - Výskum vlastností železničných brzdových komponentov v simulovaných prevádzkových podmienkach na zotrvačníkovom brzdovom stave.

Literatúra

[1] Gerlici, J., Lack, T.: Rail vehicles brake components test bench utilisation. Applied mechanics and material, vol. 486, 2014, s. 379-386, ISSN 1660-9336. **[2] Gerlici, J., Lack,**

T.: Analýza dynamických vlastností skúšobného stavu RAILBCOT. PRORAIL 2015 Súčasné problémy v koľajových vozidlách, ISBN 978-80-89276-48-6, s. 329-343. **[3] Gerlici, J., Nozhenko, O., Cherniak, G., Gorbunov, M., Domin, R., Lack, T.:** The development of diagnostics methodological principles of the railway rolling stock on the basis of the analysis of dynamic vibration processes of the rail. MATEC Web of Conferences 157, 2018. **[4] Gerlici, J., Gorbunov, M., Kravchenko, K., Prosvirova, O., Lack, T.:** Noise and temperature reduction in the contact of tribological elements during braking. MATEC Web of Conferences 157, 2018. **[5] Lack, Gerlici, J.:** The assessment of the integration methods for the rail vehicle ride dynamics solution. MATEC Web of Conferences 157, 2018. **[6] Dižo, J., Blatnický, M., Steisunas, S., Skočilasová, B.:** Assessment of a rail vehicle running with the damaged wheel on a ride comfort for passengers. MATEC Web of Conferences 157, 2018. **[7] Blatnický, M., Dižo, J., Blatnická, M.:** Structural design of soldering station chain conveyor working positions. MATEC Web of Conferences 157, 2018. **[8] Blatnický, M., Dižo, J., Sága, M., Gerlici, J., Kuba, E.:** Design of a mechanical part of an automated platform for oblique manipulation. Applied sciences [electronic]. Switzerland, ISSN 2076-3417 Roč. 10, č. 23, s. 1-24, 2020. **[9] Gerlici, J., Gorbunov, M., Kravchenko, K., Kostyukevich, A., Nozhenko, O., Lack, T.:** Experimental rigs for wheel/rail contact research. Manufacturing Technology, ISSN 1213-2489, Roč. 19, č. 5 2019, s. 909-916 Scopus. **[10] Gerlici, J., Sakhno, V., Yefymenko, A., Verbitskii, V., Kravchenko, A., Kravchenko, K.:** The stability analysis of two-wheeled vehicle model. Machine modelling and simulations 2017 ISSN 2261-236X. 1. vyd. 2018. s. [1-10]. DOI: 10.1051/matec-conf/201815701007. **[11] Gerlici, J., Lack, T.:** Analýza geometrie železničnej koľaje. Komunikácie. ISSN 1335-4205. Roč. 5, č. 1 2003, s. 43-51. SCOPUS. **[12] Lack, T., Gerlici, J.:** Tangenciálne napätie pre neeliptickú kontaktnú plochu počítané pomocou modifikovanej metódy FASTSIM]. Civil-Comp Proceedings, ISSN 1339-4509, Iss. 1, s. 10, 2016.

♠ ♠ ♠

Resumé

Brzdový stav pre skúšanie brzdových komponentov koľajových vozidiel je dôležité zariadenie pre vykonávanie skúšok pre skutočné brzdové zostavy a komponenty v simulovaných podmienkach v laboratóriu. Príspevok pojednáva o návrhu zariadenia určeného na testovanie a výskum trecích charakteristík brzdových systémov. Popísaný je priebeh skúšky parkovacej brzdy, princíp činnosti zariadenia, na ktorom bude test vykonaný a výpočet hlavného konštrukčného prvku tohto zariadenia. Navrhnuté boli dve varianty, na ktorých boli vykonané štrukturálne analýzy s následným vyhodnotením a výberom optimálnej varianty. Výsledky získané pomocou takéhoto zariadenia budú slúžiť na tvorbu nových noriem a pravidiel, ako aj následnú certifikáciu brzdových komponentov brzdových systémov koľajových vozidiel.

Summary

The brake bench for testing brake components of rolling stock is an important device for performing tests for real brake assemblies and components under simulated conditions in the laboratory. The article deals with the design of the device set for testing and researching the frictional characteristics of brake systems. There are described the course of the parking brake, the principle of operation of the device on which the test will be performed and the calculation of the main structural element of this device. Two variants were proposed, on which structural analyzes were performed with followed evaluation and choosing of the optimal variant. The obtained results by using this device will be used for the creation of new

standards and rules, as well as the followed certification of brake components of rail vehicles brake systems.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.33

ŠIROKOROZCHODNÁ VOZIDLA ŠKODA PRO LOTYŠSKO A ESTONSKO

EMUS FOR GAUGE 1520MM FOR LATVIA AND ESTONIA

Radim SÝKORA*), Martin KOPEČNÝ

1 ÚVOD

Příspěvek popisu aktuální projekty firmy Škoda Group, které aktuálně vyrábí pro zákazníky v Lotyšsku a Estonsku. Jedná se o nové projekty přizpůsobené pro provoz v pobaltských zemích, které tvoří novou rodinu jednopodlažních elektrických jednotek pro země s rozchodem 1520 mm.

2 ELEKTRICKÁ JEDNOTKA TYPU 16EV PRO LOTYŠSKO

Elektrická jednotka typu 16Ev je určena pro provoz na území Lotyšska. Smlouva na dodávku jednotek byla podepsána v roce 2019. Kontrakt obsahuje 32 jednotek, vybavení depa pro údržbu jednotek a náhradní díly pro 5let provozu. Koncepce jednotky je 4 vozová jednotka (ve složení vozů typů: G+M+P+G), s 436 místy na sezení, 454 míst pro stojící cestující, 2 místy pro přepravu cestujících na invalidním vozíku. Souprava je navržena pro provoz v pobaltském klimatickém prostředí, provozní rozmezí teplot je -40°C až +40°C.

2.1 Popis hlavového vozu G

Hlavový vůz G je přední vozidlo elektrické jednotky s jedním trakčním podvozkem a jedním netrakčním podvozkem. K ovládání a obsluze jednotky je vůz vybaven kabinou strojvedoucího. Kabina je navržena pro obsluhu jedním řidičem. Elektrická jednotka obsahuje dva shodné hlavové vozy. Oba hlavové vozy G jsou vybaveny kompresorem a trakčním měničem namontovaným na střeše, což zajišťuje redundanci a interiér vozu je maximálně přizpůsoben potřebám a pohodlí cestujících a vlakového personálu. Vozidlo je navrženo převážně jako nízkopodlažní s nástupišti v úrovni nástupiště 550 mm nad temenem kolejnice. Ve voze je umístěno celkem 96 sedadel 2. třídy, z toho 12 je rezervováno dle TSI PRM. Vozidlo je půdorysně rozděleno na tři velkoprostorové oddíly a dva nástupní prostory. Interiér vozu je navržen tak, aby byl maximálně otevřený pro snadnou výměnu a průchod cestujících bez vnitřních dveří a přepážek. Součástí hlavového vozu G je i WC, které svými rozměry vyhovuje potřebám cestujících na invalidním vozíku a které je navíc vybaveno přebalovacím pultem pro miminko. V podélném směru je umístěn i prostor pro přepravu jednoho invalidního vozíku. Výška podlahy prostoru pro cestující vpředu je ve dvou úrovních. Základní uspořádání sedadel je pak 3+2 se třemi sedadly proti

*) **Ing. Radim SÝKORA,** Škoda Transportation, a.s., Hrušovská 2678/20, 70200 Ostrava, radim.sykora@skodagroup.com, Vedoucí úseku Product & Project Engineering Management EMU.

Ing. Martin KOPEČNÝ, Škoda Transportation, a.s., Hrušovská 2678/20, 70200 Ostrava, martin.kopecny@skodagroup.com, Hlavní inženýr projektu.

sobě. Přední vstupní vestibul je vybaven manuálně sklopnými rampami, které umožňují nástup cestujících na invalidním vozíku z nástupišť 200 mm a více nad TK. Oba vstupní vestibuly jsou standardně vybaveny vhodně umístěnými madly pro usnadnění nástupu, nápisy a reproduktory informačního systému a označovači jízdenek.



Obr. 1 *Elektrické jednotky 16Ev.008 a 16Ev.002 v depu Riga*

Fig. 1 *Electric units 16Ev.008 and 16Ev.002 in Riga depot*

2.2 Popis vloženého vozu M

Vložený vůz M je vybaven jedním netrakčním podvozkem a jedním trakčním podvozkem s trakčním měničem namontovaným na střeše vozidla. Vložený vůz je ve své střední části řešen jako nízkopodlažní, s výškou podlahy 600 mm nad TK. Celkem je ve voze 122 pevných sedadel 2. třídy. Schéma uspořádání sedadel je 3+2, přičemž tři sedadla jsou proti sobě. Centrální nízkopodlažní část je dále vybavena dvěma vstupními vestibuly. Oba vstupní vestibuly jsou standardně vybaveny vhodně umístěnými madly pro usnadnění nástupu, nápisy a reproduktory informačního systému a označovači jízdenek. Prosklené zástěny, částečně oddělující prostor pro cestující od vstupního vestibulu a zabraňující přímému vnikání vnějšího vzduchu při otevřených dveřích, jsou umístěny za opěradly sedadel vedle obou vstupních vestibulů.

2.3 Popis vloženého vozu P

Tento vůz je vybaven dvěma netrakčním podvozky. Na střeše vozu jsou namontovány dva pantografy s odpojovačem a odpovídajícím trakčním vybavením. Střecha je připravena pro instalaci trakčního vybavení pro trakci 25kV 50Hz. Interiér vozu je shodný s interiérem vozu M.

2.4 Aktuální stav

Momentálně probíhá výroba souprav zejména v ostravském závodě Škoda Vagonka. Vzhledem k politické situaci na Ukrajině nebylo možné provést transport souprav po železnici s převazem v Hanisce u Košic, proto jsou vystrojené vozové skříně bez podvozků a střešní výzbroje přepravovány nákladními auty přímo do Rigy, kde probíhá finální dokončení a oživení vozidel. V únoru 2023 bylo zahájeno testování souprav v rámci

homologačního procesu. Všechny testovací jízdy probíhají na infrastruktuře v Lotyšsku. Do konce roku je v plánu homologovat a předat zákazníkovi celkem 23 souprav.

3 ELEKTRICKÁ JEDNOTKA TYPU 21EV PRO ESTONSKO

Elektrická jednotka typu 21Ev je určena pro provoz na území Estonska. Smlouva na dodávku jednotek byla podepsána v roce 2020. Při návrhu elektrických jednotek pro osobní dopravu pro společnost „Eesti Liinirongid“ zužitkovalo konsorcium firem ŠKODA Transportation, a.s. a ŠKODA VAGONKA a.s. v maximální možné míře svoje dlouholeté znalosti a zkušenosti a snažila se co nejvíce zohlednit specifika provozního prostředí Estonska. Navržená elektrická jednotka typu 21Ev tak nabízí následující unikátní kombinaci výhod, které jsou z pohledu klíčové pro úspěšný rozvoj AS „Eesti Liinirongid “ a jsou navrženy na míru jejím potřebám:

- Elektrická jednotka je snadno a rychle rozpojitelná na jednotlivé vozy. Tato vlastnost je umožněna použitím klasické koncepce vagonů se dvěma podvozky a rovněž speciálních rychlerozpojitelných mezivozových přechodů. Lze tak v maximální míře zachovat veškeré zvyklosti a postupy při údržbě a manipulacích, jaké existovaly doposud při provozování stávajících jednotek. Tato vlastnost rovněž značně snižuje nároky na depa a potřebná zařízení pro údržbu;
- Jednotka má velmi dobré dynamické parametry i při jiném počtu vozů, než 3-vozové řazení, proto zakládá možnost provozního prodloužení nebo zkrácení jednotky. Druhým příkladem je možnost prodloužit nebo zkrátit jednotku v souladu s reálnými toky cestujících na jednotlivých tratích s cílem optimalizovat provozní náklady;
- Elektrická jednotka je navržena jako dvousystémová pro napájecí systémy 3 kV a 25 kV 50Hz.
- Elektrická jednotka vychází z osvědčené platformy vozidel ŠKODA a je v podstatě modifikací jednotky 16Ev pro Lotyšsko se souvisejícími adaptacemi pro provoz na infrastruktuře v Estonsku.
- Elektrická jednotka má relativně komfortnější chodové vlastností na tratích i horší kvality. Klasická koncepce se dvěma podvozky pod každým vagonem je obecně vhodnější pro tratě s neideální kvalitou kolejí než koncepce používající podvozky typu Jacobs, vyvinutou hlavně pro použití v zemích západní Evropy na krátkých tratích s relativně malým počtem cestujících ve vlaku.

Nově vyrobené elektrické jednopodlažní jednotky odpovídají požadavkům a potřebám dopravce Eesti Liinirongid, jsou navrženy pro provoz na elektrifikovaných tratích s rozchodem kolejí 1520 mm a jsou uzpůsobeny tak aby bezchybně fungovaly i v náročném rychle se měnícím klimatickém prostředí panujícím v Estonsku. Při návrhu jednotek jsou plněny a dodržovány nejnovější mezinárodní standardy TSI i se všemi relevantními bezpečnostními předpisy.

Dále jsou jednotky koncipovány jako ucelené elektrické jednotky pro obousměrný provoz s kabinami na obou koncích a mohou dosáhnout maximální provozní rychlost až 160 km/h. Jednotka je vybavena trakčním systémem, který jí umožní plynulou jízdu a dostatečné zrychlení bez omezení komfortu pro cestující. Konstrukce jednotky z lehkých protlačovaných hliníkových profilů a klasického konceptu uspořádání dvou podvozků na vůz umožňuje rychle a snadno rozpojit jednotlivé vozy od sebe, a tím rychle reagovat na potřeby údržby či případné opravy. Všechny prvky vyžadující pravidelný přístup jsou rozmístěny tak, aby byly přístupné bez nutnosti demontáže jiného zařízení. Vnější část jednotky je konstruována tak, aby vozy odolaly nárazům předmětů zvednutých turbulencí, a aby odolávaly povětrnostním podmínkám s ohledem na hromadění sněhu.



***Obr. 2** Elektrická jednotka typu 21Ev – designový návrh*

***Fig. 2** Electric unit type 21Ev - design proposa*

Při konstrukci a výrobě jednotek vychází ŠKODA Transportation, a.s., a ŠKODA VAGONKA a.s. z letitých zkušeností ve výrobě elektrických jednotek. Zkušenosti sahají do 70. let minulého století až po současnost, kde jsou zkušenosti čerpány z nejnovějších projektů jednopodlažních jednotek RegioPanter, InterPanter a 16Ev pro Lotyšsko. Při návrhu jednotek jsou také uplatněny zkušenosti a poznatky získané z projektů nejmodernějších dvoupodlažních vozů pro náročný německý trh a projektů elektrických jednotek pro rozchod kolejí 1520 mm.

V průběhu návrhu jednotky jsou také využívány nejnovější poznatky a jsou prováděny výpočty a simulace. Vybrané celky jsou podrobovány zkouškám podle platných standardů (pevnostní zkouška hrubé stavby, únavová zkouška rámu podvozku atd.).

3.1 Popis hlavového vozu GE1

Hlavový vůz je čelním vozidlem elektrické jednotky s jedním trakčním podvozkem a jedním běžným podvozkem. Je zde umístěna kabina strojvedoucího určena pro řízení a ovládání jednotky. U obou hlavových vozů je na střešní části umístěn kompresor a trakční měnič, díky čemuž je zajištěna redundance a interiér vozidla je v maximální míře uzpůsoben pro potřeby a komfort cestujících a vlakového personálu a je řešeno v převážné míře jako nízkopodlažní, s úrovňovými vstupy z nástupišť 550 mm nad temenem kolejnice. Z těchto normalizovaných nástupišť splňuje zcela vstup TSI PRM (1300/2014/EU) jako úrovňový také pro nástup cestujících na vozíku bez dodatečného zařízení.

Zajímavostí vozu je, že se zde nachází také oddíl stravování, bez problému přístupný i imobilním cestujícím. Vybavení oddílu stravování (cateringové vybavení, barový pult, lednice a další), které si provozovatel zajistí sám.

3.2 Popis hlavového vozu GE2

Hlavový vůz je čelním vozidlem elektrické jednotky s jedním trakčním podvozkem a jedním běžným podvozkem. Je zde umístěna kabina strojvedoucího určena pro řízení a ovládání jednotky. Z pohledu interiéru je vůz vybaven pouze oddílem 2. třídy v uspořádání sedadel 3+2.

3.3 Popis hlavového vozu PE

Tento vůz je vybaven dvěma běžnými podvozky. Na střeše vozu jsou umístěny dva sběrače s hlavním vypínačem a příslušnými kontaktními přístroji. Vložený vůz je ve své střední části řešen jako nízkopodlažní, s výškou podlahy 600 mm nad TK. Celkem je ve vozu umístěno 116 sedadel 2. třídy. Část tohoto oddílu zabírá vizuálně přehledný a ergonomicky uzpůsobený multifunkční prostor se 14 sklopnými sedadly pro přepravu jízdních kol, kočárků a rozměrných zavazadel.

4 ZÁVER

Vývojem a výrobou projektů 16Ev a 21Ev vznikla ve firmě Škoda Group další platforma jednopodlažních elektrických jednotek, které přináší zákazníkovi spolehlivý dopravní prostředek s nízkými provozními a údržbovými náklady. Zároveň tvoří základ pro možné další projekty pro země s rozchodem kolejí 1520 mm.

♠ ♠ ♠

Resumé

Příspěvek shrnuje aktuální stav dvou projektů, které firma Škoda vyvinula a vyrábí pro zákazníky v Lotyšsku a Estonsku. Oba projekty jsou postaveny na stejném základu a v článku je uveden krátký technický popis obou uvedených projektů.

Summary

The paper summarises the current status of two projects that Škoda has developed and is producing for customers in Latvia and Estonia. Both projects are built on the same basis and a short technical description of both projects is given in the paper.





26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.34

DIAGO – POHYB POD KONTROLOU

DIAGO – MOTION IN CONTROL

Martin ŠIMONČIČ*), Ivan HAVAŠ, Slavomír KUPČOK

1 ÚVOD

V rámci industry 4.0 a prediktívnej údržby existuje veľký potenciál pre inovácie v železničnom priemysle. Industry 4.0 je koncepcia inteligentnej automatizácie a digitalizácie v priemysle, ktorá kombinuje rôzne technológie, ako sú internet vecí (IoT), umelá inteligencia (AI), robotika a ďalšie. V kontexte železníc implementácia technológií Industry 4.0 znamená lepšiu automatizáciu, monitorovanie a riadenie rôznych systémov a procesov. Príchod Industry 4.0 priniesol značné príležitosti pre inovácie v železničnom sektore. Spojenie technológií Industry 4.0 zmenilo priemyselné prostredie. Železničný priemysel, dôležitý pilier celosvetovej dopravy, môže značne profitovať z prijatia princípov Industry 4.0. Tento článok skúma aplikáciu prediktívnej údržby v rámci Industry 4.0 v kontexte železníc.

2 PREDIKTÍVNA ÚDRŽBA A INDUSTRY 4.0

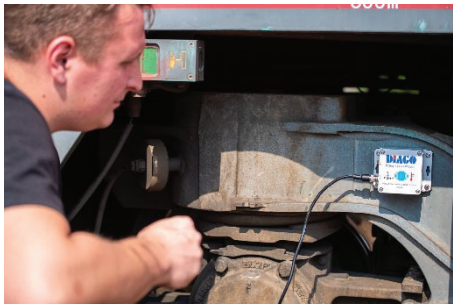
Prediktívna údržba je súčasťou Industry 4.0, umožňuje sledovať stav zariadení a predvídať ich poruchy pomocou analýzy údajov. V prípade železníc, prediktívna údržba pomáha predvídať poruchy a opravy vo vozidlách, zabezpečuje optimálne plánovanie, údržby a minimalizuje výpadky.

3 INOVÁCIE V INDUSTRY 4.0 PRE ŽELEZNIČNÚ ÚDRŽBU

Prijatie princípov Industry 4.0 v železničnom priemysle prinieslo niekoľko inovácií:

3.1. IoT Senzory pre komplexné monitorovanie

Nasadenie IoT senzorov (***obr. 1***) umožňuje sledovanie kritických parametrov ako vibrácie, povrchová teplota častí strojov, teplota kvapalín, teplota vzduchu a prostredia vo vagóne, polohu, rýchlosť, spotrebu



Obr. 1 *IoT senzor vibrácií na konštrukcii podvozku vlaku*

Fig. 1 *IoT vibration sensor on the structure of the bogie of train*

*) **Ing. Martin ŠIMONČIČ** DIAGO SF s.r.o., Železničná 7 Brezno , +421 903 280 559, diagnostika@diago.sk, technický pracovník.

Ing. Ivan HAVAŠ DIAGO SF s.r.o., Železničná 7 Brezno, +421 903 280 569, ivan.havas@diago.sk, technický pracovník.

Ing. Slavomír KUPČOK DIAGO SF s.r.o., Železničná 7 Brezno, +421 911 175 195, ivan.havas@diago.sk, riaditeľ.

prevádzkových kvapalín, analýza čistoty oleja, opotrebovanie častí strojov, stav koľajníc atď. Tieto senzory, integrované do sietí IoT, poskytujú cenné informácie o stave (zdraví) zariadení a umožňujú skorú identifikáciu potenciálnych porúch.

3.2. Analýza veľkých dát pre vylepšené informácie

Zhromažďovanie a analýza veľkého množstva údajov z rôznych zdrojov, vrátane senzorov, záznamov o údržbe a histórie opráv, tvorí základ pre informované rozhodovanie. Algoritmy strojového učenia a umelej inte-ligencie identifikujú vzory, predikujú potenciálne poruchy a určujú zostávajúcu ži-votnosť komponentov, prispievajúc k efektívnym stratégiám údržby.

3.3 Proaktívne plánovanie údržby

Využívaním prediktívnej údržby sa vypracúvajú proaktívne stratégie na opti-malizáciu plánovania údržby na základe predpovedaných porúch a optimálneho pride-lenia zdrojov. Tento prístup minimalizuje prevádzkový výpadok a predlžuje životnosť zariadení.

3.4 Integrácia robotiky a automatizácie

Technológie robotiky a automatizácie nachádzajú využitie v mnohých úlohách železničnej údržby, od diagnostiky a skenovania vozidiel po opravy. Integrácia robotiky a automatizácie zvyšuje efektivitu a presnosť, znižuje závislosť na ľudskej interakcii a eliminuje chyby vyplývajúce z ľudského faktora.

4 PREDSTAVENIE DIAGORAIL: NÁSTROJ PRE PREDIKTÍVNU ÚDRŽBU

Vychádzajúc z princípov Industry 4.0 a prediktívnej údržby, DIAGORAIL predstavuje inovatívne riešenie pre železničnú údržbu. Viacparametrický bezdrôtový systém DIAGORAIL prináša úsporu nákladov, efektívnosť a manažérske výhody.

4.1 Monitorovanie v reálnom čase pre lepšie rozhodovanie

Pre manažment je kľúčové mať komplexné porozumenie (***obr. 2***) o stave zariadení pre zachovanie plynulosti železničnej prevádzky. DIAGORAIL kombinuje praktické odborné znalosti s pokročilými výpočtovými technológiami na neustále monitorovanie stavu zariadenia a predchádzanie predčasnej poruche.



Obr. 2 *Prehľad meraných parametrov*

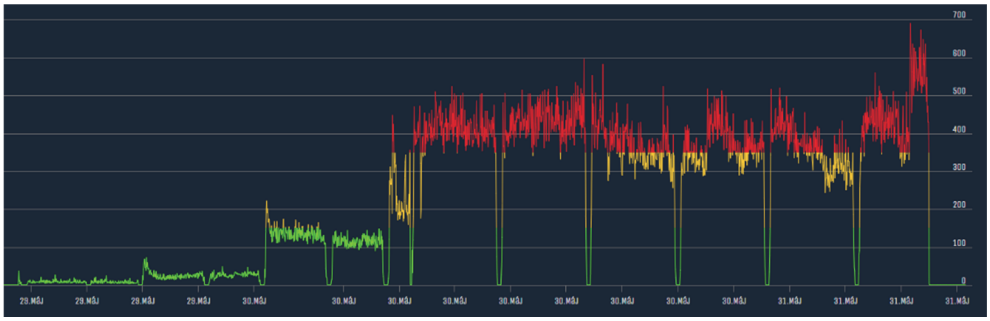
Fig. 2 *Overview of measured parameters*

4.2 Jednoduché monitorovanie cez užívateľsky prívetivé rozhranie

DIAGORAIL prostredníctvom užívateľsky prívetivej webovej aplikácie poskytuje neustály online prístup k stavu ložísk. Bezdrôtové senzory, rýchlo komunikujúce s centrálnym serverom, poskytujú aktuálne informácie o výkone, vibráciách a dôležitých stavoch zariadení. Jednoduchosť a zrozumiteľnosť sú význačne pre dizajn systému, s jednoduchou inštaláciou senzorov a automatickým prenosom údajov na server. Softvér v reálnom čase spracováva dáta, generuje prehľadné vizualizácie a analýzy.

4.3 Zvýraznenie včasnej akcie s rozšírenými informáciami

Vďaka tejto technológii môžu užívatelia včas identifikovať potenciálne problémy a efektívne reagovať. S dostatočným predstihom môžu pripraviť náhradné diely, materiály a personál, optimalizujúc časovanie zásahu.



Obr. 3 *Vývoj vibrácií na ložisku v priebehu času*

Fig. 3 *Development of vibrations on the bearing over time*

5 PORUCHY A PREDIKTÍVNA ANALÝZA

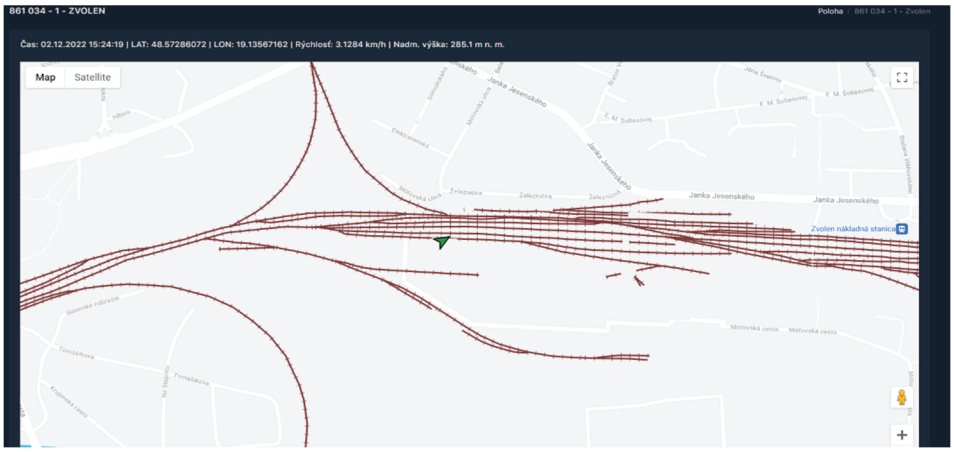
DIAGORAIL, funkčný ako viacparametrický bezdrôtový senzorový systém, sleduje najmä vibrácie, čím umožňuje identifikáciu porúch ako opotrebenie ložísk, nedostatok maziva, trhliny, nevyváženosť, nesúososť a mechanické uvoľnenie. Teplotné údaje zasa slúžia ako všestranný ukazovateľ mechanických a elektrických anomálií, ako aj pohodlia cestujúcich a pracovníkov. Merania napätia a prúdu prispievajú k analýze spotreby a zisteniu elektrických porúch. Merania prietoku vzduchu a tekutín sa využívajú pre monitorovanie prevádzkových kvapalín ako olej, voda a stlačený vzduch, zatiaľ čo údaje o kvalite vzduchu informujú systémy klimatizácie.

6 VÝSLEDKY A VÝHODY SYSTÉMU

Spolupráca s partnermi ako Železničná spoločnosť Slovensko a.s. a Kinex, prispela k rozvoju systému DIAGORAIL. Navrhnutý tak, aby vyhovel požiadavkám moderných systémov, DIAGORAIL má schopnosť archivovať údaje od začiatku monitorovania až po jeho ukončenie. Integrovanie API (application programming interface / rozhranie pre programovanie aplikácií) umožňuje pripojenie k digitálnym dvojčatám pre vizualizáciu alebo k existujúcim systémom. Senzory napájané batériami majú životnosť až dva roky. Šifrovanie zabezpečuje celistvosť systému, pričom architektúra systému zaručuje autonómnosť bez ohľadu na pripojenie dát užívateľa.

7 PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA: IMPLEMENTÁCIA DIAGORAIL

S cieľom optimalizácie a zdokonalenia systému, bol systém DIAGORAIL implementovaný na monitorovanie vlakov v Nových Zámkoch, Zvolene a Humennom. Počas niekoľkých mesiacov boli zozbierané údaje na vytvorenie monitorovacieho systému, ktorý užívateľov včas upozorňuje na vznikajúce poruchy. Mechanizmus notifikácií prostredníctvom e-mailu automaticky odošle správy pri prekročení hraníc alarmu. Piezoelektrické akcelerometre a MEMS senzory umožnili analýzu stavu koľajníc, ktorý bol zobrazovaný v reálnom čase cez webovú aplikáciu (***obr. 4***).



Obr. 4 *Zobrazenie polohy vlaku s vykreslenou dráhou*

Fig. 4 *Displaying the position of the train with the drawn route*

8 VÝHODY SYSTÉMU A ZÁVERY

Systém DIAGORAIL prináša tieto kľúčové výhody:

8.1 Úspora nákladov

Prediktívne monitorovanie a včasná detekcia problémov optimalizujú stratégie údržby, znížia náklady na opravy a výmenu dielov, čím prispievajú k finančnej úspore.

8.2 Časová efektívnosť

Nepretržité online monitorovanie a spracovanie údajov umožňuje manažérom údržby rýchlo riešiť problémy, zlepšiť produktivitu a minimalizovať výpadky.

8.3 Optimalizácia využitia zdrojov

Prediktívna údržba umožňuje efektívne pridelenie pracovnej sily a zdrojov len tam, kde je to potrebné, čím zvyšuje efektivitu a eliminuje zbytočné úkony.

8.4 Predchádzanie výpadkom

Včasná detekcia a identifikácia problémov umožňuje prijímanie preventívnych opatrení, čím zvyšuje spoľahlivosť prevádzky a minimalizuje nepriaznivé dopady na cestujúcich a nákladnú dopravu.

8.5 Jednoduchá implementácia a používanie

Systém DIAGORAIL sa vyznačuje jednoduchou inštaláciou a užívateľsky prívetivým rozhraním umožňujúcim rýchlu inštaláciu a jednoduchý prístup k údajom o stave zariadení.

9 ZÁVER

Integrácia princípov Industry 4.0 a prediktívnych riešení v železničnom priemysle má obrovský potenciál pre budúcnosť udržateľnej a efektívnej železničnej dopravy. DIAGORAIL predstavuje krok k inteligentnej údržbe v duchu Industry 4.0, zlepšujúc manažérske rozhodovanie, minimalizujúc náklady a zvyšujúc spoľahlivosť železničnej prevádzky.

Literatúra

Text je generovaný na základe dlhodobého technického vývoja systému DIAGORAIL spoločnosti DIAGO SF s.r.o.

♠ ♠ ♠

Resumé

Tento článok skúma spojenie princípov Industry 4.0 a prediktívnej údržby v železničnom priemysle prostredníctvom inovatívneho systému DIAGORAIL. Koncept Industry 4.0 zavádza inteligentnú automatizáciu a digitalizáciu s využitím technológií ako IoT a AI. Prediktívna údržba umožňuje sledovanie stavu zariadení a predvídanie porúch na základe analýzy údajov. DIAGORAIL prináša viacparametrický bezdrôtový systém pre monitorovanie stavu železničných zariadení, umožňujúci efektívne plánovanie údržby, minimalizáciu výpadkov a optimalizáciu využitia zdrojov. Tento systém je príkladom úspešnej integrácie nových technológií pre dosiahnutie vyššej účinnosti a spoľahlivosti v železničnom sektore.

Summary

This article explores the fusion of Industry 4.0 principles and predictive maintenance in the railway industry through the innovative DIAGORAIL system. The Industry 4.0 concept introduces intelligent automation and digitization using technologies such as IoT and AI. Predictive maintenance enables monitoring equipment conditions and predicting faults based on data analysis. DIAGORAIL introduces a multi-parameter wireless system for monitoring the state of railway equipment, enabling efficient maintenance planning, minimizing downtime, and optimizing resource utilization. This system serves as a successful example of integrating new technologies to achieve higher efficiency and reliability in the railway sector.





26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.35

MOŽNOSTI NASAZENÍ BATERIOVÝCH A VODÍKOVÝCH VOZIDEL NA ŽELEZNICI

POSSIBILITIES OF USE BATTERY AND HYDROGEN VEHICLES

Radek ŠINDEL[*)]

1 ÚVOD

Mobilita a doprava se týká nás všech. Mobilita umožňuje náš hospodářský a společenský život, od každodenního dojíždění do práce přes návštěvy rodiny a přátel a cestování až po řádné fungování globálních řetězců zajišťujících dodávky zboží do našich obchodů a dodávky pro naši průmyslovou výrobu.

I když mobilita přináší svým uživatelům mnoho výhod, není to bez nepříznivých dopadů na naši společnost. Patří mezi ně emise skleníkových plynů, hluk, znečištění ovzduší a vody, ale také dopravní nehody, kongesce a úbytek biologické rozmanitosti, což vše ovlivňuje naše zdraví a pohodu. Emise skleníkových plynů v odvětví dopravy se postupem času zvýšily a nyní představují až čtvrtinu celkových emisí EU. Zdaleka nejzávažnějším úkolem, který stojí před odvětvím dopravy, je výrazně snížit emise a dosáhnout vyšší udržitelnosti. Tato transformace zároveň nabízí velké příležitosti pro lepší kvalitu života a evropskému průmyslu napříč hodnotovými řetězci přináší příležitost modernizovat se, vytvářet vysoce kvalitní pracovní místa, vyvíjet nové produkty a služby, posilovat konkurenceschopnost a usilovat o globální vedoucí postavení, neboť ostatní trhy rychle směřují k mobilitě s nulovými emisemi. Vzhledem k vysokému podílu dopravy na celkových emisích skleníkových plynů bude možné cíle EU, pokud jde o snížení emisí skleníkových plynů do roku 2030 alespoň o 55 % a dosažení klimatické neutrality do roku 2050, splnit pouze bezodkladným zavedení ambicióznějších politik za účelem snížení závislosti dopravy na fosilních palivech a v součinnosti s úsilím o nulové znečištění.

Je zásadní, aby mobilita byla dosažitelná a finančně dostupná pro všechny, aby venkovské a odlehlé regiony byly lépe propojené a přístupné. Podpora regionů souvisí také s cenami bydlení. Ty se zejména v Praze dostaly v posledních letech na rekordní úroveň a bydlení se i pro střední třídu stává nedostupným. Počet obyvatel ČR sice stoupá, ale velice pozvolna. Za posledních 20 let stoupl počet obyvatel ČR zhruba o 400 000 osob, tj. o necelé 4 %. Ceny bydlení ovlivňuje mnoho faktorů. Tím hlavním je stěhování lidí z venkovských oblastí do Prahy zejména za prací, které enormně zvyšuje ceny bydlení v hlavním městě a jeho okolí. Výstavba nových bytů řeší spíše důsledek než příčinu problémů. Pokud chceme vysoké ceny bydlení v Praze a dalších velkých městech opravdu dlouhodobě vyřešit, je potřeba zajistit dostatek pracovních příležitostí i v odlehlejších regionech, aby mohli lidé bydlet ve svém rodišti a nemuseli se za prací stěhovat do města či do centra státu. Z pohledu mobility jde především o to zajistit rychlou, ekologickou a levnou dopravu ze všech částí regionu do krajského města. Dobře přístupné krajské centrum je pak mnohem atraktivnější pro zaměstnavatele, kteří zde snáz najdou odpovídající zaměstnance. Neméně

[*)] **Ing. Radek ŠINDEL,** Siemens Mobility, s.r.o. 28. Října 150/2663, 702 00 Ostrava, Czech Republic, Tel: +420 733 622 935, radek.sindel@siemens.com.

potřebné je zjistit rychlé a pohodlné vzájemné propojení center regionů, aby mohly navzájem aktivně spolupracovat.

Zelenou dohodu je proto třeba brát i jako příležitost k transformaci nezdravé monocentrické struktury osídlení na mnohem výhodnější strukturu polycentrickou. Ta je výhodná jak pro hlavní město, tak pro regiony, ale zejména pro ČR jako celek. Zelená dohoda pro Evropu požaduje 90 % snížení emisí skleníkových plynů z dopravy, aby se z EU stala do roku 2050 klimaticky neutrální ekonomika, a zároveň usiluje o dosažení cíle nulového znečištění.

2 ELEKTRICKÝ POHON

Po období páry se na železnici se díky liniové elektrifikaci elektrický pohon značně rozšířil a v hospodářsky vyspělých zemích úroveň elektrifikace výrazně přesahuje 60% sítě. V ČR úroveň elektrifikace dosahuje zhruba 34 % a v následujících letech se plánuje její výrazné rozšíření. Přes poměrně malý podíl jsou ale i v ČR elektrifikovány již všechny hlavní tratě a délky neelektrifikovaných linek zřídka překročí 100 km.

Oproti dieselovému pohonu má pohon elektrický několik zásadních výhod. Pro dynamiku vozidla je podstatný zejména měrný výkon, tj. poměr výkonu ku hmotnosti vozidla Díky kompaktním rozměrům a nízké hmotnosti motorů lze do vozidla nainstalovat vyšší výkon, při zachování nízké hmotnosti vozidla. Pokud jde o regionální vozidla, tak u těch lze v případě dieselového pohonu reálně dosáhnout měrného výkonu nejvýše okolo 10kW/t, u starších vozidel jsou obvyklé i hodnoty výrazně nižší (zhruba 4 kW/t). U elektrických jednotek se dle nasazení používá měrný výkon v rozmezí 15-25 kW/t. To umožňuje výrazné zkrácení jízdních dob, což má výrazný vliv na atraktivitu železniční dopravy a zároveň zvyšuje produktivitu vozidel i personálu, což může vést k nižšímu počtu vozidel v oběhu.

Další podstatnou výhodou elektrického pohonu je možnost rekuperace, což je u zastávkových vlaků a zejména na kopcovitých tratích potřebné. Spalovací motor nedokáže z principu brzdnou energii vracet, tedy rekuperovat zpět. Maximálně může částečným brzděním dynamickým retardérem (tzv. brzdění motorem) šetřit brzdové komponenty. Podle typu vozidla a tratě lze v běžných podmínkách zregenerovat až 1/3 energie, což má ve výsledku značný vliv na spotřebu energie. Měrný brzdný výkon rekuperační elektrodynamické brzdy se u moderních regionálních trakčních jednotek dimenzuje na 1,5násobek trakčního výkonu, což odpovídá zhruba 25-35 kW/t. Takto nadimenzovaný pohon pak umožňuje vozidlu brzdit v rámci běžného jízdního řádu pouze EDB (elektrodynamická brzda), což má výrazný vliv na opotřebení brzdových komponent. Třecí mechanická brzda následně slouží jako bezpečnostní prvek v případě nutnosti rychlého zastavení. Moderní elektrický pohon vozidel tak výrazně zvedá kvalitu veřejné dopravy s snižuje náklady dopravcům. Bezemisní vozidla nejsou jenom prostou náhradou dieslových vozidel, ale příležitost, jak posunout kvalitu veřejné dopravy výrazně dopředu s cílem motivovat obyvatelstvo k odklonu od používání individuální automobilové dopravy a více využívat energeticky a emisně příznivější veřejnou hromadnou dopravu.

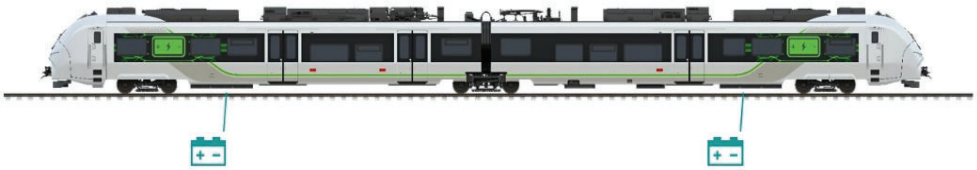
3 VOZIDLA SE ZÁSOBNÍKEM ENERGIE

Česká železnice nemůže ustrnout ve stavu nízkého podílu liniové elektrifikace, rozvoj liniové elektrifikace je základním trendem rozvoje bezemisní osobní i nákladní železniční dopravy v ČR. Avšak souběžně s tím je též potřeba hledat i řešení na neelektrifikované tratě. Zde existuje několik variant vozidel:

- Elektrické vozidlo napájené z liniového trakčního vedení a navíc opatřené i trakční akumulátorovou baterií – BEMU.
- Elektrické vozidlo s vodíkovým palivovým článkem a vyrovnávací akumulátorovou baterií – HMU.
- Kombinace těchto principů – HEMU.

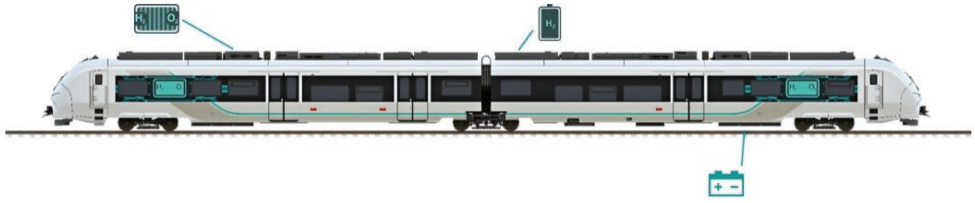
Provoz na většině neelektrifikovaných tratí v ČR je poměrně slabý a dopravci zde nasazují zpravidla dvoudílná vozidla s Jakobsovými podvozky typu Desiro Classic či Pesa s kapacitou okolo 120 cestujících, která ve lze ve špičkách případně spřahovat do vícenásobné trakce. Tato kapacita se tak ukazuje pro regionální tratě jako dostatečná a požadavek dopravců na tento segment vozidel je dosažení co nejnižších provozních nákladů právě při kapacitě 120-130 cestujících. Tuto kapacitu technicky splňují dvě koncepce vozidel. Klasická dvouvozová jednotka se čtyřmi podvozky (kapacita 130-140 cestujících), nebo dvouvozová jednotka se společným, Jacobsovým podvozkem (kapacita 120–130 cestujících). Kapacita jednotky s Jacobsovým podvozkem je o něco nižší, ale díky úspoře jednoho podvozku je celková hmotnost jednotky zhruba o 15% nižší. Hmotnost na sedadlo pak v tomto případě vychází nižší zhruba o 10%.

To je důležité zejména u jednotek se zásobníkem energie (baterie/vodík). Hmotnosti vozidla totiž hraje zásadní roli u spotřeby energie a následné dimenzování zásobníku energie. Spotřeba energie roste v regionální dopravě zhruba lineárně s hmotností vozidla. O 15 % nižší hmotnost tak znamená snížení spotřeby energie zhruba o 15 %, což zároveň umožňuje použití o 15 % menšího zásobníku energie. Komponenty pohonu jako transformátor, trakční měniče, trakční baterie, palivové články a tlakové láhve na vodík jsou nejenom rozměrné a těžké, ale také poměrně drahé. Proto byla s ohledem na požadavky dopravců a co nejnižší provozní náklady u vozidel Mireo Plus (BEMU/HMU) zachována koncepce s Jacobsovým podvozkem i za cenu mírného snížení kapacity jednotky. Pro vytvoření hmotnostní rezervy na zásobníky energie je vozidlo Mireo Plus oproti výchozímu vozidlu Mireo EMU mírně kratší, nicmén požadovaná kapacita 120–130 cestujících zůstává zachována.



Obr. 1 *Dvouzdrojová jednotka Mireo Plus B (AC BEMU – 25 kV)*

Fig. 1 *Multisource electric unit Mireo Plus B (AC BEMU – 25 kV)*



Obr. 2 *Vodíková palivočlánková jednotka Mireo Plus H (HMU)*

Fig. 2 *Hydrogen electric unit Mireo Plus H (HMU)*

Doplnění zásobníku energie zvyšuje využitelnost výchozího bezemisního vozidla (EMU) i na tratě bez liniové elektrizace.

Avšak doplnění zásobníku energie do elektrické trakční jednotky též znamená nárůst hmotnosti a ceny vozidla. Proto je němu nutno přistupovat citlivě, aby nevýhody nezastínily přínosy. Nevýhodnější poměr užitné hodnoty k ceně nepřinášejí technicky komplikovaná univerzálně pojatá řešení zahrnující v jednom vozidle více alternativ, ale účelně řešená, promyšlená a propracovaná řešení soustředěná na nosné téma. Proto se upustilo od vývoje vozidel využívajících kombinaci více principů (HEMU), neboť se tato řešení ukázala jako technicky příliš komplikovaná a drahá.

4 MIREO PLUS B

V případě vývoje Mireo Plus B tak bylo navrženo dvouzdrojové vozidlo s akumulátorovou baterií pro regionální tratě s dojezdem 80 - 100 km spolu s následujícími parametry vozidla:

- schopnost dostatečně dlouhého dojezdu, potřebná k zajištění provozu na lince s minimální potřebou nácestných nabíjení,
- schopnost rychlého nabíjení v obratové stanici,
- vysoce výkonná rekuperační brzda (úspora energie, prodloužení dojezdu, nízké opotřebení mechanických brzd),
- přijatelná cena a hmotnost vozidla,
- vysoká spolehlivost (jednoduchost řešení) s dopadem na vysokou disponibilitu a malý počet záložních vozidel,
- nízké náklady na údržbu (robustnost a jednoduchost řešení),
- dlouhá životnost akumulátorové baterie (15 let, tedy polovina života vozidla, do upgrade vozidla s možností rozhodnutí o řešení pro druhou polovinu života: opět BEMU, nebo s ohledem na postup elektrizace již jen EMU.

Naplnění těchto cílů vyžaduje využít veškeré hmotnostní a prostorové rezervy ve vozidle k instalaci dostatečně velké a co nejvíce robustní akumulátorové baterie, která umožní velký dojezd, rychlé nabíjení, výhradní rekuperační brzdění i dlouhou životnost. Takovým řešením je AC BEMU. Doplnění DC vstupu (AC DC BEMU) či vodíkové technologie (HEMU) zvyšuje cenu vozidla, snižuje spolehlivost vozidla a snižuje užitnou hodnotu vozidla:

- vede ke zmenšení akumulátorové baterie, k poklesu její energie a výkonosti (kratší dojezd, kratší životnost, delší nabíjení, nižší brzdná schopnost),
- vede ke snížení spolehlivosti a ke zvýšení nákladů na údržbu vozidel,
- zásadní zvýšení investičních nákladů do vozidel (dražší vozidlo z důvodu komplikovaného řešení krát vyšší počet vozidel z důvodu nižší disponibility),
- zásadní zvýšení investičních i provozních nákladů na straně infrastrukturního energetického zázemí pro jejich provoz (velké množství dobíjecích či plnících stanic.

Z těchto důvodů se kombinovaná vozidla na trhu zatím neujala a je orientace na jednoúčelová AC BEMU řešená pro cílový stav infrastruktury vhodné i pro nákladní dopravu v podobě liniové 25 kV elektrizace hlavních tratí.

S ohledem na probíhající konverzi napájení a budování nabíjecích bodů již ve střídavé trakci se nabízí i v úsecích stejnosměrné trakce používat právě tato výkonnější a jednodušší AC BEMU. Pro ty zpravidla stačí nabíjení na krátkých úsecích s 25kV napájením, přičemž v úsecích napájením 3 kV by vozidla dočasně jezdila na baterii.

***TAB. 1** Základní parametry Mireo Plus B*
***TABLE 1** Basic parametres Mireo Plus B*

Výkon trakční/brzdný (provoz pod trolejí i na baterii) [kW]	1 700/3 000
Měrný výkon trakční/brzdný [kW/t]	cca 18/32
Maximální nabíjecí výkon za stání/jízdy [kW]	2 000/2 500
Doba nabíjení za stání/jízdy [min]	20/15
Nejvyšší provozní rychlost (provoz pod trolejí i na baterii)	160 km/h

5 MIREO PLUS H

Na tratích s délkou výrazně přesahující 100 km mimo trakční napájení lze uvažovat s vozidly s vodíkovým palivovým článkem. Ta dosahují delšího dojezdu 600 - 1 000 km, což postačuje na denní plnění v rámci noční směny. Ke kvalitnímu zajištění provozu HMU je nutno využít veškeré hmotnostní a prostorové rezervy ve vozidle k instalaci co největší vodíkové zásobní nádrže a co největší a co nejvíce robustní vyrovnávací akumulátorové baterie, která umožní dlouhodobé násobení výkonu palivového článku, výhradní rekuperační brzdění i dlouhou životnost. Takovým řešením je jednoúčelově optimalizované HMU.

Doplnění elektrického vstupu z trakčního vedení (HEMU) zvyšuje cenu vozidla, snižuje spolehlivost vozidla a snižuje užitnou hodnotu vozidla:

- vede ke zmenšení zásob vodíku (kratší dojezd, častější doplňování zásob vodíku),
- vede ke zmenšení akumulátorové baterie, k poklesu její energie a výkonosti (zkrácení času práce plným trakčním výkonem na nižší jednotky minut, kratší životnost, nižší schopnost násobení trakčního výkonu, nižší brzdná schopnost),
- vede ke snížení spolehlivosti a ke zvýšení nákladů na údržbu vozidel,
- zásadní zvýšení investičních nákladů do vozidel (dražší vozidlo z důvodu komplikovaného řešení krát vyšší počet vozidel z důvodu nízké disponibility),
- zásadní zvýšení investičních i provozních nákladů na straně infrastrukturního energetického zázemí pro jejich provoz (velké množství dobíjecích či plnících stanic.

Z těchto důvodů se zatím kombinovaná vozidla na trhu neujala a je orientace na jednoúčelová HMU.

TAB. 2 *Základní parametry Mireo Plus H*
TABLE 2 *Basic parametres Mireo Plus H*

Výkon trakční/brzdný [kW]	1700/2000
Měrný výkon trakční/brzdný [kW/t]	Cca 18/21
Rychlost plnění rychlé/pomalé [min]	15/60
Max. rychlost	160km/h

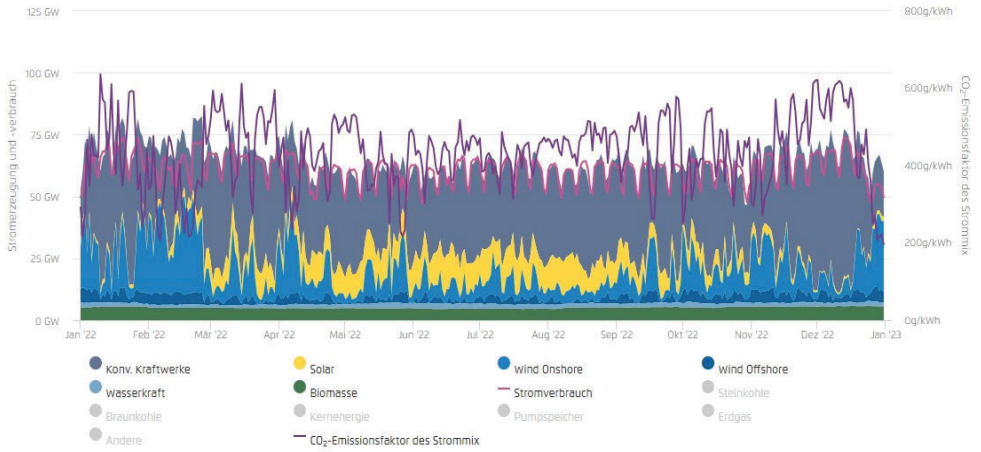
6 PROBLEMATIKA VODÍKU V DOPRAVĚ

Nečistoty ve vodíku nevratně poškozují palivové články. Pro dlouhodobou životnost palivových článků je nutno používat výhradně čistý vodík podle ISO 14 867-2 s čistotou minimálně 99,970 %. Tuto podmínku splňuji např. elektrolyzéry Siemens Silyzer 300 produkující vodík o čistotě 99,999 %. Z důvodu nízké hustoty se vodík uchovává v nádobách při tlaku 350 bar. Ocelové nádoby jsou velice těžké (hmotnost nádoby cca 50 kg na 1 kg vodíku), proto se na vozidlech používají výrazně lehčí kompozitové nádoby (hmotnost nádoby cca 20 kg na 1 kg vodíku). 40t kamion přepraví pouze stovky kg vodíku a zpět jede skoro stejně těžký prázdný, proto jsou vyvíječe vodíku instalovány přímo v plnících stanicích, aby zcela odpadla ekonomicky, personálně, energeticky, bezpečnostně i environmentálně problematická přeprava vodíku,

Nízká účinnost energetických přeměn (elektrolýza, komprese, chlazení při expanzi, palivový článek – v úhrnu cca **30 %** zvyšuje spotřebu elektrické energie na více než trojnásobek ve srovnání s EMU či BEMU. Smysluplnost dává vodíkové technologii jedině využívání jinak neprodejných přebytků elektrické energie z místních volatilních obnovitelných zdrojů, Nasazení vodíku proto velice úzce souvisí s energetikou dané oblasti. O ceně vodíku vyráběného neprodejných přebytků elektrické energie z místních volatilních obnovitelných zdrojů rozhoduje roční časové využití (odpisy) instalovaného výkonu elektrolyzéru a návazné technologie. Utilizace dosahuje:

- 40 % of shore větrné elektrárny (Severní moře, Balt),
- 21 % on shore větrné elektrárny (ČR),
- 12 % solární elektrárny (ČR)

Solární a větrné elektrárny se určitým způsobem doplňují. Velice zjednodušeně slunce svítí přes den a zejména v létě, vítr fouká i v noci a zejména v zimě. Pro ekonomickou a celoroční výrobu vodíku je proto potřeba mít dostatek instalovaného výkonu obou zdrojů, jak solárních, tak větrných elektráren. To je zejména případ Německa s instalovaným výkonem solárních zdrojů na úrovni 69 GW (2023) a větrných zdrojů na úrovni 66 GW (2023). Při celkové spotřebě okolo 60 GW dosahuje instalovaný výkon těchto volatiních zdrojů 200% aktuální spotřeby. Za této situace již dochází poměrně často k nadvýrobě energie a tyto neprodejné přebytky jsou vhodné k výrobě vodíku i s ohledem na nízkou účinnost celého procesu.



***Obr. 3** Energetický mix Německa v roce 2022 [1]*

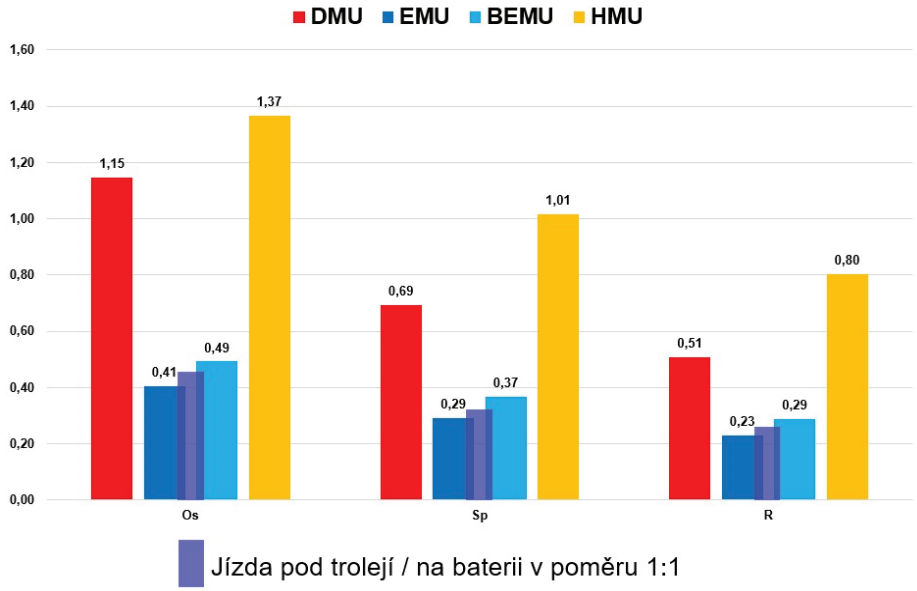
***Fig. 3** Energy mix in Germany (2022)*

V ČR je ale situace diametrálně odlišná. Podíl volatilních solárních a větrných zdrojů je v ČR výrazně nižší než v Německu a je tvořen zejména solárními zdroji. K přebytkům nabídky výkonu volatilních zdrojů v síti tak dochází zejména v denní době v létě. To je k hospodárnému využití vodíkové technologie příliš krátká doba. Dostatečné celoroční přebytky pro výrobu vodíku proto zatím nejsou v ČR k dispozici. V současných podmínkách ČR jsou tak náklady na energii při použití vodíku zhruba trojnásobné oproti vozbě elektrické, přičemž se ani v následujícím desetiletí zřejmě nedá očekávat zásadní zvrat.

Jakkoliv panuje všeobecné přesvědčení, že doplňování zásob vodíku je rychlejší než nabíjení lithiových akumulátorů, tak opak je pravdou.

Zatímco akumulátory BEMU lze z trakčního vedení 25 kV kdekoliv (i u nástupiště v železniční stanici) po zdvižení sběrače naplno nabít za 15-20 minut, je nutno s HMU odjet do plnící stanice, připojit se a vlastní plnění vozidlových nádrží vodíkem na přetlak 350 bar tradiční technologií do plného stavu trvá 60 minut. To v praxi často znamená zařadit do oběhu další vozidlo navíc. Důvodem jsou fyzikální vlastnosti vodíku, záporný Joule Thomsonův koeficient. Vodík se na rozdíl od většiny ostatních plynů při expanzi ohřívá. Z bezpečnostních důvodů proto musí být plnění vodíkových nádrží přečerpáváním z vyššího tlaku na nižší pomalé. Při tradičním způsobu přečerpávání nemá plnicí zařízení informaci o skutečné aktuální teplotě a tlaku vodíku v nádrži vozidla a průtok vodíku je proto pomalý. Rychlejší plnění vyžaduje vysoce výkonné chlazení vodíku, což dále zhoršuje energetickou bilanci ukládání elektřiny do vodíku.

Cílem je plnící proces optimalizovat, a to na bázi internetu věcí. Společně s DB vyvíjí firma Siemens Mobility systém rychlého doplňování zásob vodíku do vozidla Mireo Plus H, založený na účinném chlazení vodíku před jeho expanzí a na kontinuální datové komunikaci vozidla se stacionárním plnícím zařízením (přenos informací o teplotě tlaku vodíku v mobilní nádrži) s cílem dosáhnou dobu úplného naplnění vozidlových nádrží za 15 minut a tím vyšší efektivitu provozu vodíkových vozidel. Jde o regulaci průtoku vodíku z plnící stanice do nádrže vozidla podle okamžitých hodnot tlaku a teploty vodíku v nádrži vozidla. S ohledem na bezpečností aspekty jde o velmi náročnou technickou úlohu.



Obr. 4 *Měrné náklady na energii (Kč/oskm)*

Fig. 4 *Specific energy costs (CZK/person-km)*

7 ZÁVĚR

Počty cestujících na české železnici v posledních deseti letech vytrvale rostou. Na tomto růstu má ale zásadní podíl dálková doprava. Aby počty cestujících začaly stoupat i v regionální dopravě, musí se přístup k funkci regionálních vlaků zásadně změnit. Pro většinu cestujících je rozhodující rychlost přepravy. Ta souvisí především s cestovní rychlostí a délkou intervalu mezi spoji. Jenom rychlé spoje s krátkými intervaly jsou schopné konkurovat automobilové dopravě. Abychom byli schopni tuto kvalitu zajistit, potřebujeme spolehlivá vozidla s vysokou disponibilitou, potřebujeme jezdit rychle s co nejmenšími náklady na provoz.

I když se nasazení různých univerzálních vozidel může v současnosti ukazovat jako logické, nemusí přinést jejich nasazení kvůli kompromisním parametrům žádoucí efekt, proto je potřeba důkladně zvážit budoucí provozní koncept a výběr vozidel sladit zejména s probíhající konverzí napájení.

Literatura:

[1] https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation/01.01.2022/31.12.2022/today/

♠ ♠ ♠

Resumé

Elektrifikace v ČR dosahuje pouze okolo 35% a mnoho tratí není ekonomické plně elektrifikovat, i pro tyto tratě je potřeba hledat vhodná vozidla ať už na baterii, nebo na vodík. Avšak doplnění zásobníku energie do elektrické trakční jednotky též znamená nárůst hmotnosti a ceny vozidla. Proto je němu nutno přistupovat citlivě, aby nevýhody nezastínily přínosy. Příspěvek ukazuje, jaká vozidla se na dané typy tratí hodí a jak při výběru vozidel postupovat.

Summary

Electrification in the Czech Republic reaches only about 35% and many lines are not economical to fully electrify, for these lines it is necessary to look for suitable vehicles, whether battery or hydrogen. However, the addition of an energy storage device to an electric traction unit also means an increase in the weight and cost of the vehicle. Therefore, it must be approached sensitively so that the disadvantages do not overshadow the benefits. The paper shows which vehicles are suitable for the given types of tracks and how to proceed when selecting vehicles.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.36

PROVOZ ELEKTRICKÝCH JEDNOTEK V PODMÍNKÁCH ČH(E)Ž

OPERATION OF EMUS IN CONDITIONS OF ČIERNY HRON (ELECTRIC) RAILWAY

Jiří ŠLAPÁK[*)], Michal LOKVENC, Tomáš MICHÁLEK, Aleš HÁBA, Aleš BÍLEK

1 ÚVOD

Čiernohronská železnice (ČHŽ) je známá turistická lesní dráha, která dnes spojuje Čierny Balog s Hroncem a Chvatimechem na straně jedné a s Dobročí na straně druhé, přičemž z Čierného Balogu odbočuje ještě trať do Vydrovské doliny. Na zachování této technické památky se významným způsobem podíleli dobrovolníci, kteří se po roce 1982, kdy byl na této – tehdy poslední – lesní železnici na Slovensku zastaven pravidelný provoz, zasloužili o obnovu a údržbu jak tratě, tak i vozidel. Od obnovení provozu v roce 1992 však již uplynulo více než 30 let a zejména trať Č. Balog–Chvatimech (provozovaný dnes jen z Č. Balogu po výhybnu Šánske) vyžaduje výraznější obnovu. Jelikož je v současné době obnova celé trati na dobrovolnické bázi jen stěží realizovatelná, vznikl ambiciózní projekt Čiernohronské elektrické železnice (ČHEŽ), jehož cílem je získat prostředky na kompletní modernizaci úseku Chvatimech–Č. Balog–Dobroč a jeho prodloužení do Podbrezové. Uvedený úsek by měl být zároveň elektrizován stejnosměrnou trakční napájecí soustavou 1,5 kV a trať ČHEŽ by měla být začleněna do IDS Banskobystrického kraje (odbočná větev z Č. Balogu do Vydrova by měla dále sloužit jako turistická dráha). Pro provoz na elektrizované trati již bylo za výhodných podmínek pořízeno 17 vozidel (7 elektrických motorových vozů řady BDe 4/4 a 10 řídicích vozů řady Bt) od švýcarské společnosti Waldenburgerbahn AG, kde tyto vratné soupravy pocházející z roku 1985 zajišťovaly provoz na trati Liestal–Waldenburg do jejího přerozchodování z původních 750 mm na 1 000 mm v letech 2021–2022.

[*)] **Ing. Jiří ŠLAPÁK,** Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Studentská 95, 53210 PARDUBICE, Česká republika. Tel.: +420 466 036 443, e-mail: jiri.slapak@upce.cz Doktorand, zabývá se zejména simulačními výpočty jízdy kolejových vozidel.

Ing. Michal LOKVENC, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Studentská 95, 53210 PARDUBICE, Česká republika. E-mail: lokvemi@seznam.cz. Absolvent studijního programu Dopravní technika, specializace Stavba vozidel.

Ing. Tomáš MICHÁLEK, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dislokované pracoviště Dopravní fakulty Jana Pernera, Nádražní 547, 56002 ČESKÁ TŘEBOVÁ, Česká republika. Tel.: +420 466 037 415, e-mail: tomas.michalek@upce.cz. Odborný asistent, zabývá se zejména interakcí vozidlo–kolej, dynamikou jízdy kolejových vozidel a trakční mechanikou.

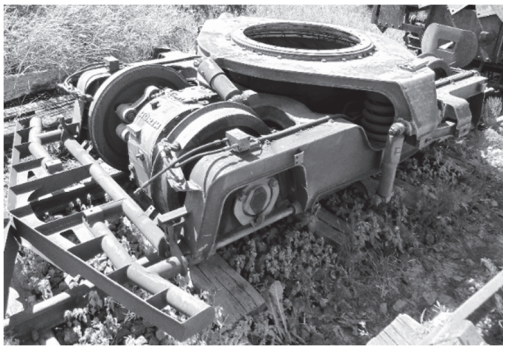
Ing. Aleš HÁBA, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dislokované pracoviště Dopravní fakulty Jana Pernera, Nádražní 547, 56002 ČESKÁ TŘEBOVÁ, Česká republika. Tel.: +420 466 037 428, e-mail: ales.haba@upce.cz. Odborný asistent, zabývá se zejména vzájemným vztahem dvojkolí–kolej a konstrukcí kolejových vozidel.

Ing. Aleš BÍLEK, Čiernohronská železnica, n.o., Hlavná 56, 97652 ČIERNY BALOG, Slovensko. Tel.: +421 486 191 500, e-mail: chz@chz.sk. Riaditeľ ČHŽ.

V návaznosti na pořízení těchto souprav (viz ***obr. 1***) vyvstala otázka jejich nasazení do provozu, přičemž jde zejména o technickou kompatibilitu a bezpečnost provozu vozidel, provozovaných původně na trati o rozchodu 750 mm, na tratích ČHŽ s rozchodem koleje 760 mm. Kromě toho byla provedena úprava jedné jednotky, jejímž cílem bylo umožnit její provoz na stávající (neelektrizované) infrastruktuře. Tato úprava spočívala v dosazení motorgenerátoru s příslušenstvím do představku řídicího vozu. Otázkou je tedy i bezpečnost provozu takto upravené jednotky. S cílem zodpovědět tyto otázky byla na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice vypracována diplomová práce [1]. V tomto příspěvku jsou shrnuty základní okruhy problémů, které byly v rámci práce řešeny.



Obr. 1 *Vyšetřovaná elektrická jednotka*
Fig. 1 *Investigated EMU*



Obr. 2 *Hnací podvozek motorového vozu*
Fig. 2 *Traction bogie of the motor car*

2 BEZPEČNOST PROTI VYKOLEJENÍ UPRAVENÉHO ŘÍDICÍHO VOZU

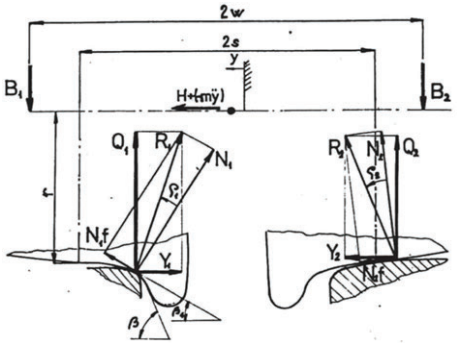
Jak bylo zmíněno v úvodu, pro provoz na stávající neelektrifikované trati byla jedna souprava upravena dosazením motorgenerátoru CAT DE165E0, transformátoru BEZ aTSE 718/10 a usměrňovače se stykači. Hmotnost této dodatečné trakční výzbroje, která je situována na zadním představku řídicího vozu činí cca 3 000 kg, což má za následek nezanedbatelnou změnu v celkovém rozložení hmotnosti vozidla. Jedním z úkolů proto bylo ověření bezpečnosti proti vykolejení upraveného vozidla, které bylo provedeno analyticky, na základě porovnání poměrného odlehčení kola původního a upraveného vozidla při postavení na zborcené koleji. Toto hodnocení kvazistatické bezpečnosti proti vykolejení vychází z metody č. 3 dle EN 14363. Protože je však norma určena pro normálněrozchodná vozidla, nelze normou definovanou mezní hodnotu poměrného odlehčení kola 0,6 přímo aplikovat pro vozidla úzkorozchodná. Stejně tak hodnoty mezního zborcení je nutné upravit s ohledem na specifika úzkorozchodné infrastruktury. Podrobný postup výpočtu je kromě práce [1] uveden i ve zprávě [2], která posloužila jako podklad pro povolení zkušebního provozu upravené jednotky s cestujícími; základní principy a myšlenky jsou shrnuty níže.

2.1 Stanovení mezní hodnoty poměrného odlehčení kola

Východiskem pro stanovení mezní hodnoty poměrného odlehčení kola byl rozbor silové rovnováhy dvojkolí v příčném směru, znázorněný na ***obr. 3***. Rovnici statické rovnováhy v příčném směru lze po přepočtu vodicích sil Y na svislé kolové síly Q vyjádřit jako:

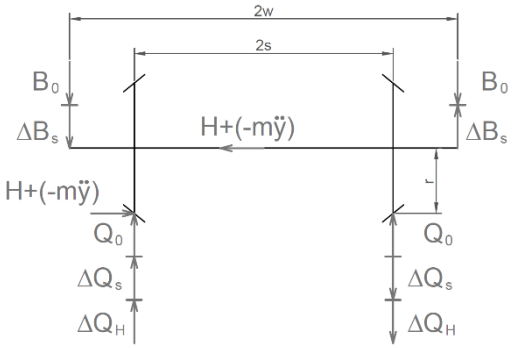
$$H + (-m \cdot \ddot{y}) = Q_1 \cdot \tan(\beta_1 - \rho_1) - Q2 \cdot \tan(\beta_2 - \rho_2), \quad (1)$$

kde H – rámová síla, $-m\ddot{y}$ – odstředivá síla, Q_1 – svislá kolová síla nabíhajícího kola, Q_2 – svislá kolová síla vnitřního kola, β – úhel sklonu dotykové roviny a ρ – třecí úhel. Svislé kolové síly lze rozložit dle ***obr. 4*** na statickou svislou kolovou sílu Q_0, přitížení, resp. odlehčení účinkem od rámové síly ΔQ_H a vlivem změny zatížení nápravových ložisek ΔQ_S.



Obr. 3 *Silová rovnováha dvojkolí v příčném směru; zdroj: [3]*

Fig. 3 *Force equilibrium of a wheelset in the lateral direction; source: [3]*



Obr. 4 *Rozbor příčných a svislých sil působících na dvojkolí při jízdě obloukem*

Fig. 4 *Lateral and vertical forces acting on wheelset in a curve*

Vyjádřením sil ΔQ_H a ΔQ_S na základě momentové rovnováhy (viz ***obr. 4***) a jejich dosazením do rovnice (1) vznikne rovnice (2), v níž se kromě poměru $\Delta Q_S/Q_0$ vyskytují na pravé straně pouze konstanty, a tudíž je možné vyjádřit lineární závislost poměru příčné síly ku statické svislé kolové síle a poměrné změny svislé kolové síly ve tvaru rovnice (3):

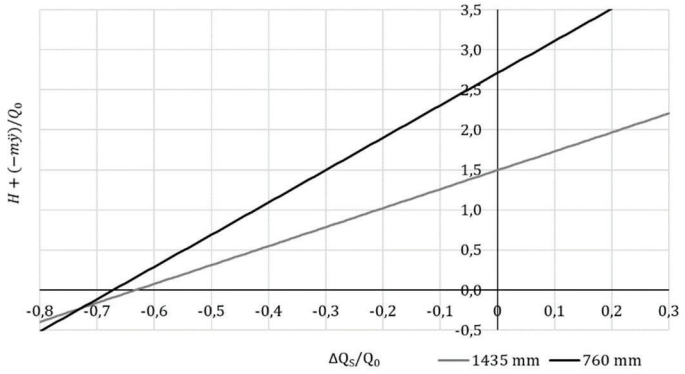
$$\frac{H+(-m\cdot\ddot{y})}{Q_0}=\frac{\tan(\beta_1-\rho_1)-Q2\cdot\tan(\beta_2-\rho_2)+\frac{\Delta Q_S}{Q_0}\cdot\left[\tan(\beta_1-\rho_1)-Q2\cdot\tan(\beta_2-\rho_2)\right]}{1-\frac{r}{2s}\cdot\left[\tan(\beta_1-\rho_1)-Q2\cdot\tan(\beta_2-\rho_2)\right]} \tag{2}$$

$$\frac{H+(-m\cdot\ddot{y})}{Q_0}=A+B\cdot\frac{\Delta Q_S}{Q_0} \tag{3}$$

TAB. 1 *Uvažované parametry pro výpočet mezní hodnoty poměrného odlehčení kola*

TABLE 1 *Considered parameters for calculation of a limit value of the relative wheel unload*

Parametr	**Označení**	**1435 mm**	**760 mm**
Úhel sklonu dotykové roviny na nabíhajícím kole (úhel sklonu okolku)	β_1 (β_{max})	70°	75°
Úhel sklonu dotykové roviny na vnitřním kole	β_2	2,86° (1:20)	
Součinitel tření (třecí úhel) na vnějším kole	f_1 (ρ_1)	0,40 (21,8°)	
Součinitel tření (třecí úhel) na vnitřním kole	f_2 (ρ_2)	0,20 (11,3°)	
Jmenovitý poloměr kola	r	460 mm	330 mm
Vzdálenost styčných kružnic	$2s$	1 500 mm	819 mm
Hodnota limitního poměrného odlehčení kola pro nulovou hodnotu poměrné příčné síly	$(\Delta Q/Q_0)_{(H/Q0)=0}$	**0,63**	**0,68**



Obr. 5 *Graf závislosti poměrné příčné síly na změně poměrného zatížení kola*

Fig. 5 *Dependency of relative lateral force on a relative change of wheel load*

Pro samotný výpočet byly uvažovány hodnoty uvedené v ***TAB. 1***. Z hlediska bezpečnosti byly uvažovány méně příznivé skluzové podmínky v dotykových bodech kol a kolejnic, které jsou definovány různými třecími úhly ρ (nabíhající kolo se odvaluje po suché kolejnici, vnitřní kolo po mokré kolejnici). Grafické znázornění závislosti definované rovnicí (3) pro rozchod koleje 1435 mm a pro rozchod koleje 760 mm je uvedeno na ***obr. 5***. Jedná se vždy o rostoucí přímku, která rozděluje oblast grafu na dvě poloroviny. Pokud se hodnoty budou pohybovat v polorovině pod přímkou, je pravděpodobnost vyšplhání kola na hlavu kolejnice pro reálné vozidlo velice nízká. Kritická oblast se nachází v horní polorovině, kde je rámová síla už příliš velká. Průsečík přímky s vodorovnou osou udává stav, ve kterém k vykolejení může dojít i při působení nulové rámové síly. V tomto případě je dvojkolí schopna vykolejit vodicí síla Y_2 vnitřního kola, které je přitíženo. Tento případ může typicky nastat při pomalé jízdě sestupnicí v přechodnici (viz poslední řádek v ***TAB. 1***).

Limitní hodnota pro normální rozchod 0,63 koresponduje s limitní hodnotou odlehčení kola 0,6, definovanou pro metodu č. 3 v EN 14363, což potvrzuje domněnku o původu limitní hodnoty uvedené v normě. Při jízdě vyšetřovaných vozidel pro úzký rozchod pak nesmí dojít k odlehčení kola o více než 68 % statické hodnoty svislé kolové síly. Na základě výše uvedeného tedy lze jako mezní hodnotu pro úzkorozchodná vozidla použít i hodnotu mírně vyšší, než udává norma EN 14363 pro normálněrozchodná vozidla. Bylo navrženo:

$$\left(\frac{\Delta Q}{Q_0}\right)_{\text{lim}} = 0,65\,, \tag{4}$$

2.2 Stanovení mezní hodnoty zborcení koleje

Skutečné odlehčení kola řídicího vozu vlivem postavení vozidla na zborcené koleji lze vypočítat na bázi podvozku a na bázi otočných čepů, přičemž absolutní velikost odlehčení kola závisí zejména na tuhosti vypružení a velikosti zborcení koleje. Mezní zborcení na bázi rozvoru podvozku bylo stanoveno vztahem:

$$\Delta p^{+} = \frac{2a^{+}}{n_{760}} + 6 = \frac{1800}{250} + 6 = 13,2\ mm\,, \tag{5}$$

kde Δp^{+} – mezní zborcení na bázi podvozku, $2a^{+}$ – rozvor podvozku, n_{760} – koeficient strmosti vzestupnice dle předpisu [4] (nejnepříznivější hodnota) a hodnota 6 mm představuje maximální odchylku vzájemné výškové polohy kolejnicových pásů. Při výpočtu mezního zborcení na bázi otočných čepů Δp^{*} nebyla tato odchylka zohledněna, a tedy: Δp^{*} = 46 mm.

2.3 Výsledky analytického posouzení kvazistatické bezpečnosti proti vykolejení

Do výpočtu poměrného odlehčení kola byla započtena jednak kvazistatická změna svislé kolové síly vlivem postavení vozidla na zborcené koleji a jednak změna statické kolové síly vlivem dosazení trakčního ústrojí do skříně řídicího vozu. Výsledné poměrné odlehčení kola před a po dosazení trakčního ústrojí je uvedeno v ***TAB. 2***. Ačkoli je výsledná hodnota poměrného odlehčení kola u původního řídicího vozu 0,64 velmi blízká zvolené limitní hodnotě 0,65 (vyplývající z již zmíněných parametrů a z principu jejího stanovení), nedochází vlivem dosazení trakčního ústrojí ke zvýšení této hodnoty. Jinými slovy – protože není přední podvozek dosazením dodatečné výzbroje odlehčen, nemá tato úprava negativní vliv na kvazistatickou bezpečnost vozidla proti vykolejení. Uvedené výpočty přitom byly prováděny pro prázdný vůz, neboť v prázdném stavu je poměrná změna svislého zatížení kola vlivem konstantní tuhosti svislého vypružení v obou stupních (v primárním stupni jsou použity pružiny typu „Megi“, v sekundárním šroubovité válcové pružiny – viz snímek hnacího podvozku na ***obr. 2***) největší. Také je nutné poznamenat, že provedený výpočet považuje jak skříň, tak i rám podvozku za dokonale tuhá tělesa, díky čemuž je výsledek výpočtu na bezpečnější straně. Ověření, zda opravdu nedochází k odlehčení předního podvozku (vlivem nejistot při odhadu polohy těžiště motorgenerátoru) lze provést buď zpřesněným výpočtem, nebo vážením vozidla.

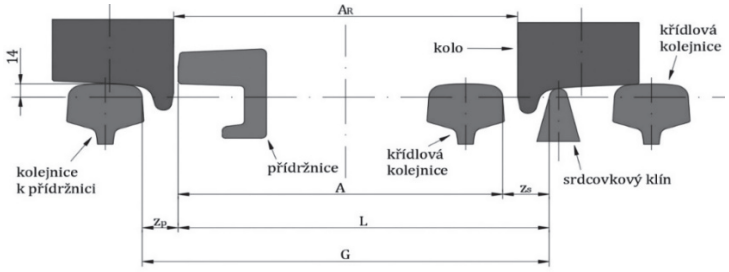
TAB. 2 *Vypočtené hodnoty poměrného odlehčení kola původního/upraveného řídicího vozu*

TABLE 2 *Calculated values of relative wheel unload for the original/modified vehicle*

Parametr	Přední podvozek (pod stanovištěm)	Zadní podvozek (pod výzbrojí)
Poměrné odlehčení kola původního řídicího v.	0,64	
Poměrné odlehčení kola upraveného řídicího v.	0,64	0,47

3 VZÁJEMNÝ VZTAH DVOJKOLÍ–KOLEJ

Vzájemný vztah dvojkolí–kolej byl vyšetřován za účelem zjištění přechodnosti vozidel, původně určených pro provoz na koleji s rozchodem 750 mm. V tomto ohledu bylo nezbytné provést analýzu průjezdu dvojkolí výhybkou v oblasti jednoduché srdcovky o rozchodu 760 mm, která má být na budoucí trati ČHEŽ použita. Stanovení rozměrových parametrů koleje v oblasti srdcovky pro dvojkolí se „švýcarským“ jízdním obrysem (jízdní obrys se jmenovitým úhlem sklonu okolku 75° vycházející z technické dokumentace k pořízeným jednotkám) bylo provedeno analogicky k ČSN 73 6360-2 a ČSN EN 15313 pro rozchod 1435 mm.



Obr. 6 *Příčný řez v oblasti jednoduché srdcovky s vyznačenými sledovanými parametry*

Fig. 6 *Lateral cross-section of the frog area with the highlighted controlled parameters*

Použité podmínky jsou uvedeny v ***TAB. 3***, kde V_R je vodicí šířka dvojkolí a ***e*** je tloušťka okolku. Rovněž byla ověřena průjezdnost dvojkolí s velkým úhlem náběhu žlábkem

u přídržnice z důvodu rozšíření půdorysu okolku a též byl stanoven vliv opotřebení okolku či přídržnice.

***TAB. 3** Podmínky pro analýzu výhybky*
***TABLE 3** Conditions for a turnout analysis*

$A_{R,min}$ - A_{max} > 0
L_{min} - V_R > 0
$z_{p,min}$ - e_{max} > 0
$z_{s,min}$ - e_{max} > 0

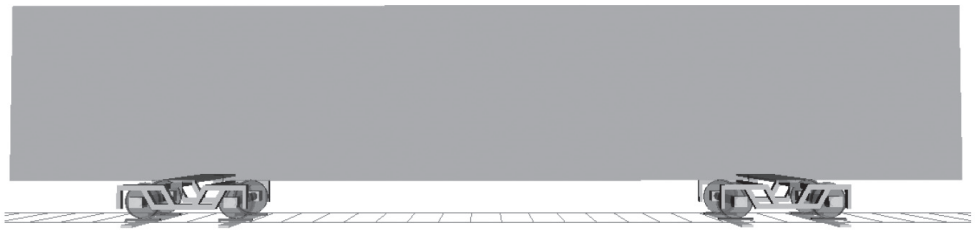
***TAB. 4** Navržené parametry*
***TABLE 4** Designed parameters*

***G* [mm]**	760	(+3; -3)
z_p [mm]	34	(+1; -2)
z_s [mm]	38	(+1; -2)
***A* [mm]**	≤ 697	
***L* [mm]**	≥ 728	

Výsledné navržené rozměrové parametry koleje v oblasti jednoduché srdcovky jsou uvedeny v ***TAB. 4***. Tyto parametry byly navrženy pro průjezd dvojkolí se „švýcarským“ a „slovenským“ jízdním obrysem (v současné době používaný jízdní obrys na vozidlech ČHŽ) a jsou v souladu s předpisem [4]. Protože „švýcarské“ dvojkolí má při vyšší hodnotě rozkolí menší šířku okolku (v porovnání s dvojkolím „slovenským“), nejsou pro průjezd výhybkou nově pořízené elektrické jednotky problematické, přestože byly původně určeny pro rozchod koleje o 10 mm menší.

4 PREDIKCE OPOTŘEBENÍ JÍZDNÍHO OBRYSU KOL ELEKTRICKÝCH JEDNOTEK

Opotřebení jízdního obrysu kol elektrických jednotek bylo vyšetřováno výpočetními simulacemi jízdy vozidel v programu Simpack. Byly sestaveny simulační modely prázdného upraveného řídicího vozu a plně obsazeného motorového vozu (viz ***obr. 7***). Simulační výpočty byly provedeny se „slovenským“ jízdním obrysem i „švýcarským“ jízdním obrysem.



***Obr. 7** Simulační model motorového vozu*
***Fig. 7** Simulation model of the motor vehicle*

V tomto článku jsou prezentovány pouze vybrané výsledky získané ze simulací jízdy motorového vozu. Podrobnější výsledky jsou (i pro řídicí vůz) uvedeny v práci [1].

4.1 Metody řešení

Byly zvoleny tři metody analýzy opotřebení. První metoda posouzení využívá součet čísel opotřebení, tzv. *Wear Number* (dále označeno jako *WN*), které program Simpack počítá dle rovnice (6). Jedná se o součin třecích sil *T* v podélném a v příčném směru s příslušnými relativními skluzy *v*. Výpočet nezahrnuje spinový moment. Metoda je rychlá a poskytuje základní náhled na míru opotřebení; je však nejméně přesná. Druhá metoda využívá výpočet rozložení *WN* po šířce jízdního obrysu v průběhu simulace. Tento výpočet je časově náročnější, poskytuje však díky lokalizaci realizované třecí práce přesnější analýzu míry opotřebení.

$$WN = \left|T_x \cdot v_x\right| + \left|T_y \cdot v_y\right|, \tag{6}$$

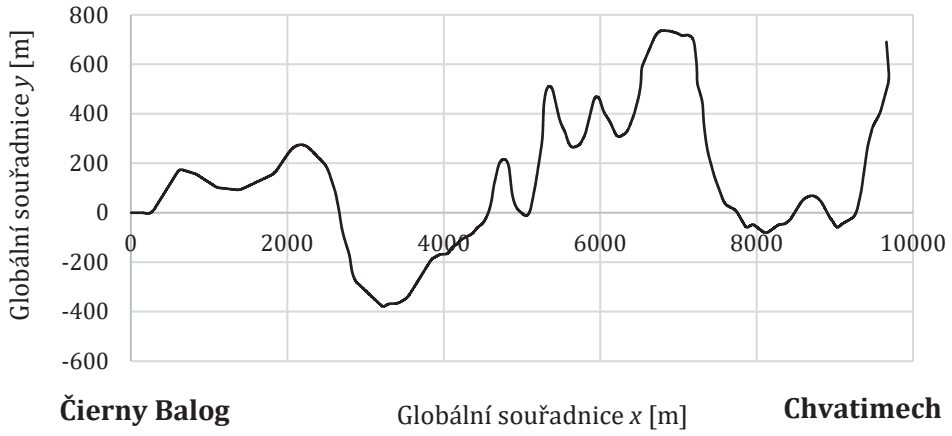
Třetí metoda je založena na využití speciálního prvku Simpacku, tzv. *Rail Wheel Profile*, který umožňuje vypočítat úbytek materiálu pomocí Archardovy teorie. Objem úbytku materiálu V_A je pak závislý především na normálové síly N a skluzové vzdálenosti Δs:

$$V_A = \frac{N \cdot \Delta s}{H} \cdot \begin{cases} k_1 & \text{když } p > fH \\ k_2 & \text{když } p \le fH \quad a \ v_s \le v_1 \\ k_2 & \text{když } p \le fH \quad a \ v_1 < v_s \le v2' \\ k_2 & \text{když } p \le fH \quad a \ v_2 \le v_s \end{cases} \tag{7}$$

kde H je tvrdost měkčího materiálu, k jsou koeficienty opotřebení, p je kontaktní tlak, v_s je relativní rychlost a v_1, v_2 jsou hraniční skluzové rychlosti. Další podrobnosti k metodám jsou uvedeny v práci [1].

4.2 Charakteristika vyšetřované trati a provozní podmínky

Porovnávací simulace byly provedeny na úseku Chvatimech–Dobroč, tj. na úseku, který má být modernizován. Některé simulace byly rozděleny do dvou úseků; Čierny Balog–Chvatimech (viz ***obr. 8***) a Čierny Balog–Dobroč. Trasování bylo nastaveno dle stavební dokumentace s definovaným převýšením. Přechodnice byly použity ve tvaru klotoidy a vzestupnice lineární. Bylo použito rozšíření rozchodu koleje v obloucích a referenční nerovnosti. Na trati z Čierneho Balogu do Chvatimechu se nachází dva oblouky s poloměrem 40 m.



Obr. 8 *Půdorysný pohled na trať z Čierneho Balogu do Chvatimechu*
Fig. 8 *Plan view of the track from Čierny Balog to Chvatimech*

4.3 Porovnání „slovenského“ a „švýcarského“ jízdního obrysu

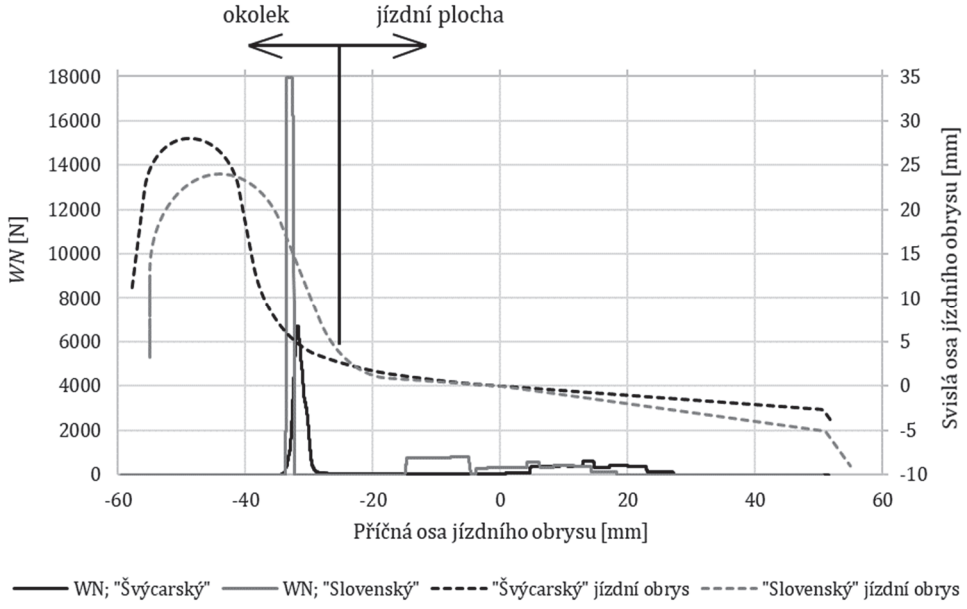
Základní porovnání součtů čísel opotřebení *WN* je uvedeno v ***TAB. 5***. Z výsledků je patrné, že *WN* dosahuje obecně větších hodnot na 1. a 3. dvojkolí, což souvisí se skutečností, že jde o nabíhající dvojkolí jednotlivých podvozků. Z ***TAB. 5*** také vyplývá, že hodnoty čísla opotřebení jsou větší při použití „slovenského“ jízdního obrysu (který se vyznačuje tlustším okolkem a menším úhlem sklonu okolku – viz též ***obr. 9***), a to přibližně o 50 % u 1. a 3. dvojkolí. Lze tedy očekávat větší opotřebení kol při použití „slovenských“ jízdních obrysů oproti kolům se „švýcarským“ jízdním obrysem.

TAB. 5 *Součet čísla opotřebení WN na jednotlivých kolech při jízdě motorového vozu v úseku Čierny Balog–Chvatimech*

TABLE 5 *The sum of wear number on individual wheels of a motor vehicle running on the section Čierny Balog–Chvatimech*

Dvojkolí	Číslo opotřebení *WN* [MN]			
	„švýcarský“ jízdní obrys		„slovenský“ jízdní obrys	
	levé kolo	pravé kolo	levé kolo	pravé kolo
1	9,842	10,370	14,855	15,320
2	1,731	1,281	2,172	1,679
3	9,747	10,266	14,788	15,198
4	1,690	1,258	2,130	1,649

Podrobnější informace o opotřebení kol lze získat sledováním *WN* v závislosti na příčné poloze dotykového bodu na jízdním obrysu, což je zobrazeno na ***obr. 9***. Z obrázku vyplývá, že lze očekávat opotřebení okolku obou uvažovaných jízdních obrysů. To je způsobeno především velkou obloukovitostí trati a extrémně malými poloměry oblouků. Intenzivnější opotřebení okolků však lze očekávat na okolku „slovenského“ jízdního obrysu (více než dvojnásobné oproti „švýcarskému“ jízdnímu obrysu), což je způsobeno především větší šířkou okolku a menším úhlem sklonu okolku.



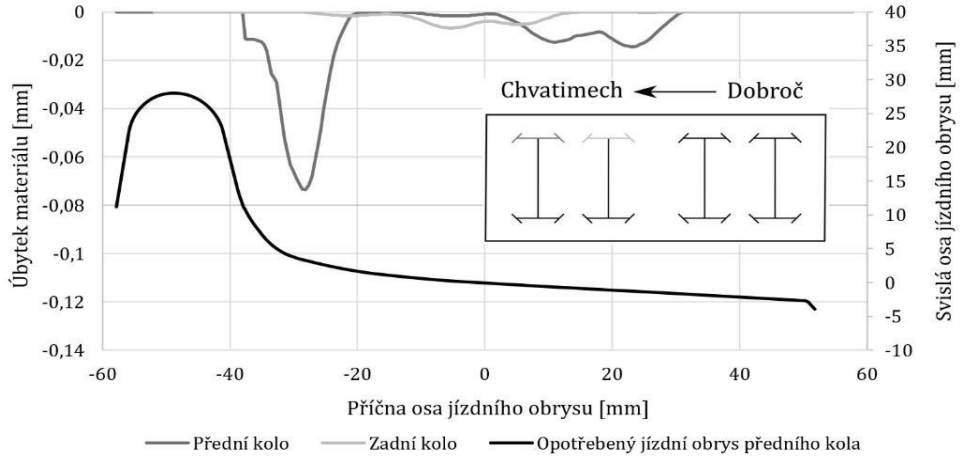
Obr. 9 *Porovnání kumulativního rozložení hodnot čísla opotřebení v závislosti na příčné poloze dotykového bodu na jízdním obrysu v úseku Čierny Balog–Dobroč*

Fig. 9 *Comparison of the sums of wear number values depending on the lateral position of the contact point on the wheel profile in the track section Čierny Balog–Dobroč*

V práce [1] bylo také řešeno porovnání intenzity opotřebení do jízdní plochy a do okolku. Z výsledků vyplývá, že u „slovenského“ jízdního obrysu se 75 % opotřebení realizuje do okolku, zatímco u „švýcarského“ jízdního obrysu jde pouze o 46 %. U „švýcarského“ jízdního obrysu tak lze očekávat rovnoměrnější opotřebení přes jízdní plochu i okolek.

4.3 Hodnocení opotřebení „švýcarského“ jízdního obrysu pomocí Archardovy teorie

Na ***obr. 10*** je zobrazen vypočtený úbytek materiálu opotřebením na předním a zadním kole prvního podvozku při jízdě na trati z Dobroče do Chvatimechu a opotřebený jízdní obrys předního kola s faktorem vzdálenosti 150 km. Uvedeného opotřebení by tedy bylo dosaženo po najetí 150 km na této trati. Z obrázku vyplývá, že zadní kolo podvozku je opotřebeno velmi málo, ovšem při jízdě opačným směrem (z Chvatimechu do Dobroče) bude toto kolo přední, a kola si tak vymění role. Poloha a intenzita úbytku materiálu podle Archardovy teorie odpovídá dříve uvedeným výsledkům ze sledování čísla opotřebení *WN*.



Obr. 10 *Úbytek materiálu na kolech předního podvozku motorového vozu při najetí 150 km*
Fig. 10 *Loss of material on the front bogie wheels of the motor vehicle after 150 km*

5 ZÁVĚR

Tento příspěvek se zabývá hodnocením kvazistatické bezpečnosti proti vykolejení „nových“ elektrických jednotek ČH(E)Ž, kompatibilitou jejich dvojkolí (určených původně pro rozchod koleje 750 mm) s infrastrukturou ČHŽ a simulační predikcí opotřebení jízdních obrysů jejich kol v provozu. Na základě získaných výsledků je možné konstatovat, že:

- při uvažování mezních hodnot zborcení koleje, které se teoreticky mohou na trati vyskytnout, vychází z hlediska kvazistatické bezpečnosti proti vykolejení vozidlo jako bezpečné, byť dosažené hodnoty poměrného odlehčení kola řídicího vozu v prázdném stavu jsou velmi blízké stanovené mezní hodnotě;
- k tomu, aby bylo vozidlo z hlediska bezpečnosti proti vykolejení vyhovující, výrazně přispívá použití jízdního obrysu kol s úhlem sklonu okolku 75°. Případné použití jízdního obrysu kol s menším úhlem sklonu okolku by vedlo ke snížení bezpečnosti proti vykolejení;
- dosazení motorgenerátoru a jeho příslušenství do skříně řídicího vozu nevede ani v prázdném stavu ke snížení kvazistatické bezpečnosti proti vykolejení tohoto vozu, a to za předpokladu, že vlivem dosazení dodatečné trakční výzbroje nedojde k odlehčení předního podvozku;
- pořízené elektrické jednotky, především díky menší šířce okolků, nejsou problematické z pohledu průjezdu výhybkou na tratích ČHEŽ;
- při použití „slovenských“ jízdních obrysů lze očekávat velké opotřebení v oblasti okolku, zatímco při použití „švýcarských“ jízdních obrysů bude opotřebení rovnoměrnější a podle hodnot čísla opotřebení *WN* také méně intenzivní.

Tato práce byla podpořena Univerzitou Pardubice v rámci řešení projektu SGS_2023_014 „Aktuální výzkumná témata z oblastí dopravních prostředků a infrastruktury řešená na DFJP“.

Literatura

[1] Lokvenc, M.: *Interakce vozidlo–kolej v podmínkách ČHEŽ*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2023. **[2] Michálek, T., Lokvenc, M., Šlapák, J.**: *Výpočet bezpečnosti proti vykolejení úzkorozchodného řídicího vozu*. Zpráva č. DP-07-22. Čes. Třebová: Dislok. pracoviště DFJP, 2022. **[3] Izer, J., Janda, J., Maruna, Z., Zdrůbek, S.**: *Kolejove vozy*. Bratislava: ALFA, 1986. **[4]** *ŽSR TS 3-10: Železničný zvršok koľají rozchodu 760 mm a 1 000 mm*. Bratislava: Gestorský útvar, O 430 GR ŽSR, 2018.

♠ ♠ ♠

Resumé

Čiernohronská železnice (ČHŽ) je známou turistickou lesní dráhou o rozchodu 760 mm, jejíž kmenová trať dnes spojuje Chvatimech s Čiernym Balogem a Dobročí. V rámci plánů na nevyhnutelnou obnovu trati vznikl projekt její kompletní modernizace vč. elektrizace a začlenění do IDS Banskobystrického kraje. Pro potřeby realizace nového provozního konceptu již byly do majetku ČHŽ od společnosti Waldenburgerbahn pořízeny elektrické jednotky, tvořené motorovým a řídicím vozem a provozované původně ve Švýcarsku na rozchodu 750 mm. Protože má provoz úzkorozchodných vozidel určitá specifika, věnoval se této problematice studentský projekt a diplomová práce, řešené v letech 2022–2023 na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice. Tento příspěvek shrnuje okruhy problémů, jež byly v rámci práce řešeny, tedy zejména posouzení bezpečnosti proti vykolejení upravené jednotky (dosazení motorgenerátoru do řídicího vozu jednotky pro dočasný provoz na neelektrifikované trati), posouzení kompatibility vozidla určeného původně pro provoz na trati o rozchodu 750 mm a infrastruktury se jmenovitým rozchodem koleje 760 mm a simulace jízdy vozidla prováděné za účelem odhadu předpokládaného opotřebení kol při provozu vozidel na trati.

Summary

The Čierny Hron Railway (ČHŽ) is a well-known tourist forest railway with a track gauge of 760 mm, whose main line today connects Chvatimech with Čierny Balog and Dobroč. As part of the plans for the renewal of the line, a project was created for its complete modernization incl. electrification and inclusion in the ITS of the Banská Bystrica Region. For the purposes of implementing the new operational concept, several EMUs have already been purchased from the Waldenburgerbahn company for the property of ČHŽ. These EMUs consist of a motor and driving car and were operated in Switzerland on a track gauge of 750 mm. Since the operation of railway vehicles on the narrow gauge has certain specificities, this issue was dealt within a student project and diploma thesis, solved in 2022-2023 at the Faculty of Transport Engineering of the University of Pardubice. This contribution summarizes the areas of problems that were solved as part of these works, i.e. the derailment safety assessment of the modified unit (installation of the motor-generator in the driving car for temporary operation on a non-electrified line), the compatibility assessment of the vehicle originally intended for operation on a track gauge of 750 mm and infrastructure with a track gauge of 760 mm and multi-body simulations performed to estimate the expected wheel wear during the operation.

26th INTERNATIONAL CONFERENCE
„CURRENT PROBLEMS IN RAIL VEHICLES - PRORAIL 2023“
September 20 – 22, 2023, Žilina, Slovakia

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.37

DISTRIBUTION OF MOBILE APPLICATIONS TO USERS IN THE RAIL TRANSPORT OPERATION ENVIRONMENT

DISTRIBUCE MOBILNÍCH APLIKACÍ K UŽIVATELŮM V PROSTŘEDÍ PROVOZU ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY

Pavla ŠMÍDOVÁ*), Petr ŠOHAJEK, Stanislav MACHALÍK, Karel GREINER

1 INTRODUCTION

As in other transport sectors, mobile applications have become an important part of rail transport operations. The development of these applications involves various technologies and methodologies. In the context of rail operation, where the requirements are specific, it is a challenging task to establish universal recommendations for mobile app development that can benefit both developers and users. The authors explore this concept in the larger context as outlined in research [1].

The main ways of distributing applications to users and their comparison have been described in many studies. The performed researches show that different variants of mobile application distribution to users have different attributes that make them suitable for specific types of applications and/or for different target user groups. Most apps are distributed through app stores, which have received the most attention in the studies. The ways in which apps are searched for in these stores were examined in detail, including how apps are optimised for this search. App distribution also depends on the way the device is used by sers, as described in the performed surveys. Special attention was given in the studies to the direct installation of the app on the device.

The specific needs of mobile apps for the rail transport operations - user management, security and other parameters, identified in study [1] by authors and highlighted in this article - have not yet been focused in this area. The contribution of this

*) **Ing. Pavla ŠMÍDOVÁ**, University of Pardubice, Department of Information Technology in Transport, Faculty of Transport Engineering, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Czech Republic, Tel. +420 776 292 200, e-mail: smidova.pavla@gmail.com. Deals with the analysis of information systems in railway transport.

Ing. Petr ŠOHAJEK, University of Pardubice, Department of Transport Management, Marketing and Logistics, Faculty of Transport Engineering, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Czech Republic, Tel. +420 733 790 426, e-mail: petr.sohajek@student.upce.cz.

Ing. Stanislav MACHALÍK, Ph.D., University of Pardubice, Department of Information Technology in Transport, Faculty of Transport Engineering, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Czech Republic, Tel.: +420 466 036 181, e-mail: stanislav.machalik@upce.cz Deals with the development of web applications in transport.

doc. Ing. Karel GREINER, Ph.D., University of Pardubice, Department of Information Technology in Transport, Faculty of Transport Engineering, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Czech Republic, Tel. +420 466 036 180, e-mail: karel.greiner@upce.cz. Deals with information systems in transport.

work lies in the comparison of the most suitable distribution methods with consideration to these key characteristics.

The aim of this article is to review the state of current knowledge in the field of mobile application distribution, summarise the current possibilities and evaluate the advantages and disadvantages of each type of distribution with respect to the unique needs of mobile applications in rail operations.

The article first describes in general terms the key features of distribution types and how these types can differ. Then, it specifically describes each type of distribution and summarises its advantages and disadvantages. Attention is given to the device types classification according to the user's usage and ownership, as this is an important area in rail operations.

2 MATERIALS AND METHODS

This paper uses a systematic literature review approach. The methodology aims to achieve clear, objective results by utilizing a structured search process with specific criteria to identify relevant literature. This approach minimizes bias and ensures transparency by synthesizing information from multiple studies, identifying patterns and drawing robust conclusions. This method is based on research [2] and [3].

The aim of the systematic literature review is to identify gaps in knowledge and suggest improvements to current practices. It involves identifying areas, defining objectives, selecting sources, examining articles and presenting results. This approach improves understanding and informs future studies.

The generally recognized databases Web of Science and Scopus, as the most comprehensive source of scientific articles in the field, were used as a source of information. In addition, information was drawn from recent scholarly articles, the references of which were duly cited in the reference list. The selection included scholarly articles and literature searches from 2017 to 2023.

3 RESULTS

There are different approaches for distributing mobile applications with different characteristics (reach, application quality and security, user access, platform of the target device and use friendliness etc.). It is important to choose the appropriate distribution method for a specific application and user group.

The distribution of mobile applications for rail transport operations has specific needs, especially the following areas need to be focused on:

- high demands on the security of distribution - both of the mobile device itself and of the data transmitted, processed and possibly stored during the installation and update of the application, including internal data. In addition, the user often accesses downstream information systems containing key carrier data with his identity, and a breach of these would represent a serious, high-risk situation. Even ownership of the device is often restricted by the employer for this reason - see below.

- dealing with different states of connection to the data network (online/offline) - when the user is moving (on the train), there are often disconnections and reconnections to the data network, and it is important to keep the state of the application itself and the internal data in the application as up-to-date as possible (e.g. tabular timetables in the app ETD (Electronic track documentation) [4].

For this review, the following types of distributions have been selected that can be considered for applications in rail transport operations.

3.1 App stores

Mobile app stores provide a unified environment for managing, purchasing and installing software applications, eventually other features. These stores are designed for different operating systems (OS) and offer platform-specific apps.

Advantages

- easy access for users to install and update the application,
- analytics - some app stores include functionality for mobile app developer analytics,
- app verification - most app stores guarantee a certain level of app offering through an approval process, which is trusted by users,
- user-friendliness - app stores offer various features for users such as app reviews, sharing options, etc.

Disadvantages

- access to the application - users are not authenticated in the vast majority of cases, which may not be desirable for internal applications,
- approval of the application - checking for compliance with application quality and security rules causes delays in getting the application to users,
- fees - some app stores require developers to pay fees for their services,
- dependency of the app on the store - apps are dependent on the chosen store, a store outage may limit the availability of the app; apps must also meet the requirements of specific store.

Online app stores are further divided into two categories - native platforms that are integrated into the OS (Google Play, AppStore), and alternative third-party platforms. Within these two categories, there are many different app stores with different features and specifications.

App distribution

In general, the app distribution method for all app stores is similar and involves uploading the app to the console, receiving platform feedback, testing, releasing new versions, and providing continuous updates.

Searching for apps

App store search is similar to searching for websites using a search engine, with results and ranking based on complex algorithms [5]. The criteria of a specific app store are often overridden by app characteristics and user opinions [6]. Search algorithm optimization is a growing topic, with research focusing for example on heterogeneous hidden Markov model [7] and content-based filtering [8]. App Store Optimization (ASO) focuses on optimizing mobile applications, focusing on metadata, appearance, localizing product pages, review strategies, app visibility, and monitoring and responding to competition [9]. Implementing ASO during development is crucial, but it can be abused for better rankings [10].

From the research conducted, it can be concluded that app stores are suitable for the distribution of mobile apps that are to be distributed to a large number of users and meet all the conditions for approval in the store. The installation and further maintenance of the app (updates, etc.) is in the hands of the mobile device user.

3.2 Mobile device management

Ownership and use of a company mobile device

For proposing an appropriate way to distribute a mobile application on a device, it is important to know how devices can be used, especially in an in-house environment.

BYOD (Bring Your Own Device) allows employees to use basic apps on their smartphones, but high risk of loss makes minimal integration possible. COPE (Company

Owned/Personally Enabled) and CYOD (Choose Your Own Device) programs focus on enterprise applications, integration, and security, allowing non-enterprise functions. Containerized tools maintain separation of personal and work data, applications, and employee privacy. COBO (Company Owned/Business Only) and COSU (Company Owned/Single Use) prohibit personal use of mobile devices, with COBOs used in regulated industries or high security environments [15].

Mobile device management tools

There are various tools that fall under the mobile device management.

MDM (Mobile device management) is used in companies with high security requirements. It includes deployment of applications on the device, enterprise policies and backend infrastructure [11].

MAM (Mobile Application Management) solutions enable companies to control access to enterprise applications and content on BYOD devices, allowing for easy removal of personal data in case of device loss or employee departure [12]. MAM is similar to MDM except that it is only applied to specific applications on the device, not the entire device [13].

EMM (Enterprise Mobility Management) manages applications, content, and identities on devices through application wrapping and containerization, while UEM (Unified Endpoint Management) supports endpoints across multiple platforms, eliminating need for multiple solutions [14].

There are plenty of off-the-shelf products - the best rated for 2022 include Kandji, Microsoft In Tune, Google Workspace MDM.

Advantages

- centralized management - MDM enables centralized management of all mobile devices in an organization, simplifying the management, updating and configuration of applications on these devices,
- more control - the IT (information technology) administrator has more control over mobile devices and applications. He can set rules for data access, monitor usage, and manage devices remotely,
- enhanced security - MDM allows to implement security policies such as passwords, data encryption and remote data deleting, which increases the security of mobile devices and data,
- easy updates - app updates can be easily and efficiently made to all mobile devices in an organization, simplifying management and increasing consistency across devices.

Disadvantages

- costs - the purchase and implementation (or development of a custom one) and operation of MDM requires the cost of IT staff, hardware and software,
- limited flexibility for users - IT administrator has – according to type of device usage - more control over mobile devices and applications, which may be perceived negatively by some users,
- some mobile device settings may need to be adjusted to allow MDM and application distribution,
- limited availability - in some cases, apps distributed using MDM may be restricted to certain platforms or devices, which may limit the availability of apps to certain users or user groups,
- high security requirements - because MDM has extensive access to devices, it is important to ensure sufficient protection against potential attacks, which makes the acquisition and maintenance of MDM more demanding compared to other solutions (finance or human resources)

From the above features, it is clear this method is suitable for enterprise environments with specialized applications, with high demands on the security of applications and devices.

3.3 Direct installation into the device

Another way to install the app is to install it directly on the mobile device. This is directly dependent on the OS.

Android

The Android OS use an Android Package Kit (APK) or App Bundle (AAB) to distribute and install mobile applications [16]. The APK contains the content to run, while the AAB contains the project content and other metadata. AAB is a publishing format and cannot be installed on Android devices, which delays the generation and signing of APK files. Google Play servers generate optimized APK files with device-specific resources and code for installing apps.

Operating system iOS

Installing IPA (iOS and iPadOS application) files directly on iOS devices is not very widespread, as Apple has very strict restrictions for installing apps on its devices. For developers or app testers, direct installation of IPA files can be useful. Developers can use Apple's developer certificates to install and test their apps directly on their devices, without having to publish the app to the App Store.

Advantages

- speed - direct installation allows to quickly upload and install the application without the need to interact with the distribution platform (application approval, etc.), which is especially used by developers for quick testing or distribution of the application to a small group of users,
- independence from the app store - allows to install apps that are not available in the app store.

Disadvantages

- security - direct installation can be risky if the user installs a malicious file, which can lead to malware infecting the phone or stealing sensitive data,
- need to allow installation from unknown sources - requires permission to install apps from unknown sources, which can increase the risk of security threats, especially if users don't know exactly what they are installing,
- limited device or OS support - some devices and OS may not support direct installation of applications.

From the information obtained, it is possible to conclude that direct installation of the application on the device is particularly suitable for the development and testing of mobile applications, installation of applications from alternative sources, or distribution of the application in a closed environment with a small number of users.

4 CONCLUSION

Although more studies and researches have been conducted on the topic of mobile application distribution, the specific needs of applications for rail transport operations have not yet been addressed in detail. Because the needs of applications in this field are different from those of traditional commercial applications, it is important to conduct a review of existing technologies with this particular focus.

The article describes the current situation in the field of distribution of mobile applications to users for railway transport, especially the special demands of this type

of applications. It summarizes the main types of distribution and compares their advantages and disadvantages. It first describes the most common way of app distribution - through app stores, the life cycle of apps in these stores and the principle of app discovery. Next, attention is paid to distribution in the corporate environment, including the management of mobile devices and the applications on them. Then, direct installation of an application on a mobile device is described and cases where this method is an appropriate choice are presented. The advantages and disadvantages of these main distribution methods, which are crucial for mobile applications in railway operations, are highlighted.

As a result of the survey carried out in this paper, it can be said that the distribution types have quite different parameters and are therefore suitable for different types of applications. By comparing information from different expert sources and considering the current direction of research and development of new technologies, it can be concluded, that for commercial applications, used by a large number of users, app stores are the most suitable, whereas for in-house environments with fewer users and specific security requirements, mobile device and application management solutions are more suitable.

These findings are an important basis for establishing an input base for more precise recommendations, for the distribution of mobile applications for rail transport operations.

As these summaries are a stepping stone to determine a specific approach for the distribution of mobile applications for rail traffic, it is recommended to conduct follow-up detailed research on the specific distribution methods selected using scientific methods and to validate them on a specific case in a real traffic environment. It would be appropriate to integrate the research into a broader set of general recommendations for the development of mobile applications for rail traffic.

References

[1] ŠMÍDOVÁ, P., MACHALÍK S.: A Background to a Methodology for Transport Mobile Applications Designing with a Focus on EU Interoperability. In: *Infrastructures 2023*. ISSN 2412-3811. Available from: doi:10.3390/infrastructures8020034. **[2] DURACH, C.F., KEMBRO, J., WIELAND, A.:** A New Paradigm for Systematic Literature Reviews in Supply Chain Management. In: *Journal of Supply Chain Management* [online] 2017**.** ISSN 15232409. Available from: doi:10.1111/jscm.12145. **[3] MULROW, C.D.:** The Medical Review Article: State of the Science. *Annals of Internal Medicine* 1987. ISSN 0003-4819. Available from: doi:10.7326/0003-4819-106-3-485. **[5] FISHMAN, J**.: Ranking Factors for App Store and Google Play. In: *Storemaven* [online] 2020. Available from: https://www.storemaven.com/academy/app-store-and-google-play-algorithms/. **[4] ČD-IS:** Aplikace ETD - Uživatelská příručka pro ČD, ČD-IS, 2023. **[6] AYDIN GOKGOZ, Z., ATAMAN, M.B., VAN BRUGGEN, G.H**.: There's an app for that! understanding the drivers of mobile application downloads. In: *Journal of Business Research* [online] 2021. ISSN 01482963. Available from: doi:10.1016/j.jbusres.2020.10.006. **[7] CHENG, V.C., CHEN, L., CHEUNG W.K., FOK, C**.: A heterogeneous hidden Markov model for mobile app recommendation. In: *Knowledge and Information Systems* [online] 2018. ISSN 0219-1377. Available from: doi:10.1007/s10115-017-1124-3. **[8] FUAD, A., BAYOUMI, S., AL-YAHYA, H**.: A Recommender System for Mobile Applications of Google Play Store. In: *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* [online] 2020. ISSN 21565570. Available from: doi:10.14569/IJACSA.2020.0110906. **[9] WILSON, L**.: A Complete Guide to App Store Optimization (ASO). In: *Search Engine Journal* [online] 2021. Available from: https://www.-searchenginejournal.com/app-store-optimization-how-to-guide/241967/. **[10] RAHMAN, M., HERNANDEZ, N., RECABARREN R., AHMED, S.I., CARBUNAR, B.:** The Art and Craft of Fraudulent App Promotion in Google Play. In: *Proceedings of the 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security* [online] 2019. New York, NY, USA: ACM, 6.11.2019. ISBN 9781450367479. Available from: doi:10.1145/3319535.3345658.

[11] GLOWINSKI, K., GOSSMANN, C., STRÜMPF, D.: Analysis of a cloud-based mobile device management solution on android phones: technological and organizational aspects. *SN In: Applied Sciences* [online] 2019. ISSN 2523-3963. Available from: doi:10.1007/s42452-019-1819-z. **[12] MEARIAN, L**.: What's the difference between MDM, MAM, EMM and UEM? In: *Computerworld* [online] 2017. Available from: https://www.-computerworld.com/article/3206325/whats-the-difference-between-mdm-mam-emm-and-uem.html. **[13] E-SPIN**: What is the Difference Between MDM, EMM and UEM. In: *E-SPIN* [online] 2018. Available from: https://www.e-spincorp.com/what-is-the-difference-between-mdm-emm-and-uem/. **[14] AKELLA, P**.: BYOD in the workforce: MDM and MAM with Microsoft Intune. In: *Synopsis* [online] 2022. Available from: https://www.-synopsys.com/blogs/software-security/byod-workforce-mdm-mam-microsoft-intune/. **[15] SAMSUNG**: BYOD, CYOD, COPE, COBO, COSU: What do they really mean? In: *INSIGHTS* [online] 2022. Available from: https://insights. samsung.com/2022/12/06/byod-cyod-cope-cobo-cosu-what-do-they-really-mean/. **[16] GOOGLE**: Application fundamentals. In: *Android Mobile App Developers Tools: Android Developers* 2023. Available from: https://developer.android.com/guide/components/ fundamentals.

♠ ♠ ♠

Summary

This paper deals with the distribution of mobile applications from the perspective of the needs of applications to support rail traffic operations, whose needs are very specific, especially with respect to security and a characteristic group of users. The authors conduct a systematic literature review in order to provide a comprehensive overview of the field and to identify gaps in current knowledge, focusing on parameters key to rail transport operations. The research identifies and describes the types of mobile application distribution that can be considered for this area. App stores provide a unified and user-friendly environment for developers and users and other features, but have security limits and approval delays. Mobile device management (MDM, etc.) offer the ability to set security policy and control over the device and applications, with the disadvantages of cost of the solution, limited user flexibility, and the need for secure access to manage the system. Direct installation of an application on a mobile device is fast and independent of other systems, but there is a risk of installing malicious files and limited boot or operating system support should be considered. Each of these methods is therefore suitable for a different group of applications and users. Thus, the study results in a summary of these parameters that are important to apply in a rail traffic environment. After conducting the study, the authors noted the need to further compare the results in detail using other scientific methods and to incorporate this partial research into a broader set of recommendations for the development of mobile applications for rail operations so that a consistent environment can be created for both developers and users of these mobile applications.

Resumé

Tento článek se zabývá distribucí mobilních aplikací z pohledu potřeb aplikací pro podporu provozu železniční dopravy, jejichž potřeby jsou velmi specifické, především s ohledem na zabezpečení a charakteristickou skupinu uživatelů. Autoři provádějí systematický přehled literatury s cílem poskytnout ucelený přehled o dané oblasti a identifikovat mezery v současných znalostech se zaměřením na parametry klíčové pro provoz železniční dopravy. Výzkum identifikuje a popisuje typy distribuce mobilních aplikací, které lze pro tuto oblast uvažovat. Obchody s aplikacemi poskytují jednotné a uživatelsky přívětivé prostředí pro vývojáře i uživatele a další funkce, mají ale bezpečnostní limity a prodlevy při schvalování. Správy mobilních zařízení (MDM atd.) nabízejí možnost nastavení

bezpečnostní politiky a kontrolu nad zařízením a aplikacemi, nevýhodou je cena řešení, omezená flexibilita uživatelů a potřeba zabezpečení přístupu ke správě systému. Přímá instalace aplikace do mobilního zařízení je rychlá a nezávislá na dalších systémech, existuje ale riziko instalace škodlivých souborů a je třeba uvážit omezenou podporu zařízení nebo operačního systému. Každá z těchto metod je tedy vhodná pro jinou skupinu aplikací a uživatelů. Výsledkem studie je tedy souhrn těchto parametrů, které je důležité aplikovat v prostředí provozu železniční dopravy. Autoři po provedení studie zaznamenali potřebu výsledky dále detailně použitím dalších vědeckých metod porovnat a tento dílčí výzkum začlenit do širšího celku doporučení pro vývoj mobilních aplikací pro provoz železniční dopravy tak, aby bylo možné vytvořit jednotné prostředí jak pro vývojáře, tak pro uživatele těchto mobilních aplikací.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.38

POVOLOVÁNÍ LOKOMOTIV A JEJICH ZMĚN VE 4. ŽELEZNIČNÍM BALÍČKU

AUTHORISATION OF LOCOMOTIVES AND THEIR CHANGES ACCORDING TO THE 4TH RAILWAY PACKAGE

Jiří ŠTĚPÁNEK[*)]

1 ÚVOD

Od roku 2020 vstoupil v Evropské unii v platnost tzv. 4. Železniční balíček. Tímto balíčkem zavedla Evropská agentura pro železnice (ERA) jednotný systém pro povolování vozidel. Jednotlivé členské země ho postupně implementovaly do svých národních legislativ a společnost CZ LOKO má dnes již bohaté zkušenosti s jeho aplikací v různých případech.

2 POVOLOVÁNÍ VOZIDEL

Základními legislativními dokumenty jsou SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2016/797 o interoperabilitě železničního systému v Evropské unii a na ni navazující PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2018/545 kterým se stanoví praktická pravidla pro postup povolování železničních vozidel a typu železničních vozidel v souladu se směrnicí Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/797.

Směrnice o interoperabilitě definuje základní podmínky pro dosažení interoperability. Vztahuje se na Železniční systém Unie, v oblasti vozidel se týká jak lokomotiv a jednotek, tak vozů a speciálních vozidel, ale netýká se metra, tramvají a městské kolejové dopravy a funkčně oddělených sítí kolejové dopravy.

Základními stavebními kameny interoperability jsou Technické specifikace pro interoperabilitu (TSI), které jsou vypracovány pro všechny tzv. subsystémy. Subsystémy lze dle jejich povahy rozdělit na:

1. strukturální oblasti (infrastruktura, energie, traťové řízení a zabezpečení, palubní řízení a zabezpečení, kolejová vozidla) a
2. funkční oblasti (provoz a řízení dopravy, údržba, využití telematiky v osobní a nákladní dopravě).

Subsystémy uváděné na trh musí být ve shodě s těmito specifikacemi. Součástí subsystémů jsou i tzv prvky interoperability. Dále se připouští použití vnitrostátních předpisů v každém členském státě, ve kterém má být subsystém provozován. Shoda s TSI a vnitrostátními předpisy pro subsystémy i prvky interoperability musí být posouzena Subjektem pro posuzování shody.

Žadatel pak ke každému vozidlu při jeho povolování dokládá Prohlášení o ověření všech relevantních subsystémů a Prohlášení o shodě každého vozidla s povoleným typem vozidla.

[*)] **Ing. Jiří ŠTĚPÁNEK,** CZ LOKO, a.s., Semanínská 580, CZ-560 02 Česká Třebová, +420 602 234 778, jiri.stepanek@czloko.cz. vedoucí oddělení schvalování vozidel.

Prováděcí nařízení definuje role a jejich povinnosti ve schvalovacím procesu: Žadatel, Orgán vydávající povolení, Provozovatel infrastruktury (IM), Vnitrostátní bezpečností orgán (NSA) a Agentura (ERA). Postupným propadem do další legislativy jsou pak do procesu zapojeni i další účastníci, především subjekty pro posuzování shody: Notifikovaná osoba (NoBo), Určená osoba (DeBo), Posuzovatel bezpečnosti (AsBo) a další.

Rozlišuje se 5 typů povolení vozidel:

1. první povolení,
2. obnovené povolení typu vozidla,
3. rozšířená oblast použití,
4. nové povolení a
5. povolení ve shodě s typem.

Dále jsou stanoveny postupy pro jednotlivé typy žádostí, obsah žádosti a rozsah požadované dokumentace (příloh). Pro komunikaci s Agenturou se využívá jednotného elektronického kontaktního místa One-Stop-Shop (OSS), kde se žádosti zadávají, evidují, zpracovávají, a kde je následně vydáno i rozhodnutí a povolení k uvedení vozidel na trh EU.

Po uvedení na trh EU následuje v jednotlivých zemích ještě uvedení vozidel do provozu dle příslušných legislativních požadavků dané země.

Údaje o povolených typech jsou zaznamenávány v registru ERATV, dokumentace související s interoperabilitou v databázi ERADIS a jednotlivá vozidla v národních registrech nebo postupně v Evropském registru vozidel (EVR).

3 POVOLOVÁNÍ ZMĚN NA VOZIDLECH

Změny na povolených typech nebo jednotlivých vozidlech se zařadí do jedné ze čtyř kategorií:

1. změna, která nevede k odchylce od technické dokumentace přiložené k ES prohlášením o ověření subsystémů,
2. změna, která vede k odchylce od technické dokumentace přiložené k ES prohlášením o ověření subsystémů,
3. změna základních konstrukčních vlastností typu vozidla, která nevyžaduje nové povolení nebo
4. změna, která podle vyžaduje nové povolení.

Na základě kategorizace se pak stanoví další postup, který musí Žadatel dodržet. Od pouhého oznámení změny Orgánu až po postup rovnající se povolení typu vozidla. V jednotlivých kategoriích mohou vznikat:

1. nový typ vozidla,
2. nová varianta typu vozidla nebo
3. nová verze (varianty) typu vozidla.

4 ZÁVĚR

Jednotná evropská legislativa si vytyčila smělý cíl sjednocení povolovacího procesu ve všech zemích EU. Ačkoli legislativa je jen jedna, její implementace v jednotlivých zemích je na různé úrovni. V každé členské zemi zůstalo více či méně národních požadavků a zvyklostí, které je nutné při povolování vozidel znát a respektovat. Role Vnitrostátních bezpečnostních orgánů je tak stále významná. Legislativa se navíc na všech úrovních neustále vyvíjí, k jednotlivým směrnicím a nařízením jsou vydávány obsáhlé návody a vysvětlení, které jsou stavěny na úroveň zákonů. Celý evropský proces tak představuje vysokou administrativní zátěž, nemluvě o finanční náročnosti. Jen v několika málo situacích je jednotný proces výhodou, ve většině ostatních pak spíše záležitostí, která je zde „navíc“.

Literatúra

[1] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2016/797 o interoperabilitě železničního systému v Evropské unii. **[2] PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2018/545** kterým se stanoví praktická pravidla pro postup povolování železničních vozidel a typu železničních vozidel v souladu se směrnicí Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/797.

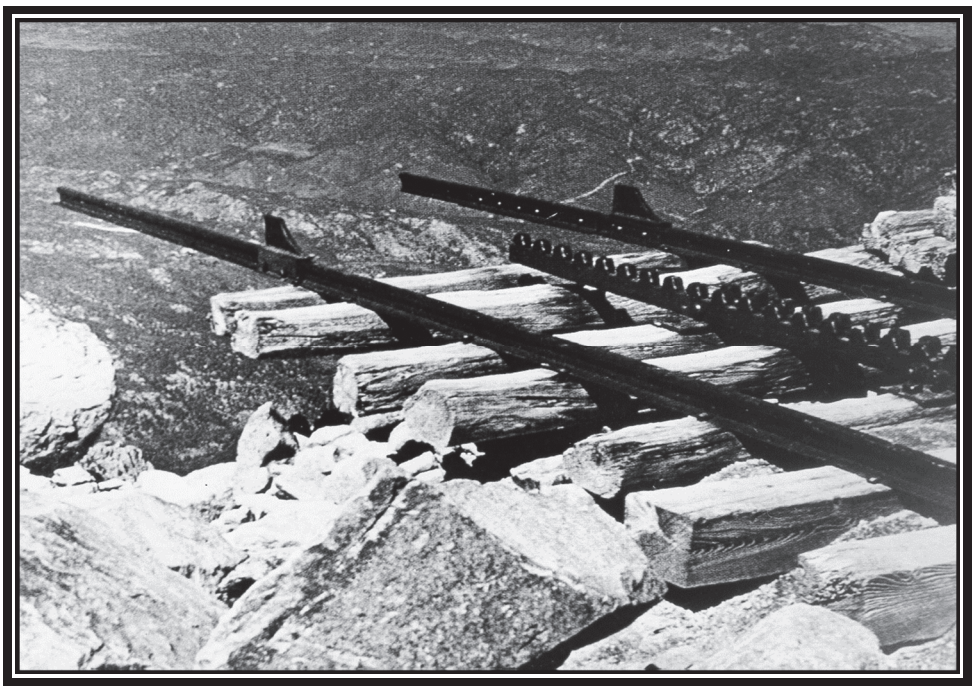
♠ ♠ ♠

Resumé

Příspěvek uvádí základní evropskou legislativu týkající se 4. železničního balíčku. Rekapituluje jednotlivé role účastníků povolovacího procesu, jednotlivé typy povolení a postupy pro podání žádostí a zadání údajů v registrech. Dále se věnuje jednotlivým kategoriím změn a jejich dopadům na typ vozidla.

Summary

The paper presents the basic European legislation regarding the 4th railway package. It recapitulates the individual roles of the participants in the authorization process, individual types of authorization and procedures for submitting applications and entering data in the registers. It also deals with individual categories of changes and their impact on the type of vehicle.




T679019

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.39

SKÚSENOSTI ZO SCHVAĽOVACIEHO PROCESU NÁKLADNÉHO ŽELEZNIČNÉHO KOĽAJOVÉHO VOZIDLA PO ZAVEDENÍ 4. ŽELEZNIČNÉHO BALÍČKA

EXPERIENCE FROM APPROVAL PROCESS OF FREIGHT RAILWAY VEHICLE AFTER IMPLEMENTATION OF THE 4TH RAILWAY PACKAGE

Peter TARAJČÁK, Pavol SEMANČÍK[*)]

1 ÚVOD

Schvaľovací proces železničných koľajových vozidiel sa neustále vyvíjal, pričom v poslednom období sme svedkami viacerých významnejších zmien, vyvolaných zavádzaním takzvaných železničných balíčkov (ŽB). Tieto sú iniciatívou Európskej únie (EÚ), medzi ktorej základné princípy patrí zjednocovanie a prenášanie právomoci národných štátov na nadnárodné európske inštitúcie. Hlavným cieľom Európskej únie je Európa s výrazným hospodárskym rastom, konkurencieschopnou ekonomikou a zlepšujúcou sa kvalitou životného prostredia. Samotná myšlienka zjednotenej Európy, ako i zlepšovania životného prostredia, podporená tiež Zelenou a Bielou knihou, ako aj dokumentmi obsahujúcimi opatrenia EÚ vedúcimi k postupnému prijímaniu legislatívnych zmien, vedú prirodzene k podpore nákladnej železničnej dopravy. Táto je právom v porovnaní s inými druhmi nákladnej dopravy vnímaná ako efektívny, ekonomický a ekologický spôsob dopravy. Nevyhnutnou súčasťou EÚ je prehlbovanie stupňa integrácie zavádzaním jednotných postupov schvaľovania, ktoré so sebou prinášajú aj isté úskalia. Príspevok sumarizuje skúsenosti spoločnosti Tatravagónka a. s. ako výrobcu a žiadateľa o schválenie typu nákladných železničných vozidiel, získané od zavedenia 4. ŽB do platnosti.

2 HISTÓRIA ZAVÁDZANIA ŽELEZNIČNÝCH BALÍČKOV

Jednotlivé ŽB predstavujú súbor právnych dokumentov, navrhnutých pre teritórium EÚ, za účelom prispieť k zjednoteniu a rozvoju európskeho železničného priestoru.

Prvý ŽB bol prijatý v roku 2001. Bol zameraný na otvorenie medzinárodného trhu nákladnej dopravy, objasnenie úloh v železničnom systéme a udeľovanie licencií prevádzkovateľom nákladnej dopravy. Ďalej stanovil politiku prideľovania kapacity a stanovenia poplatkov železničnej infraštruktúry.

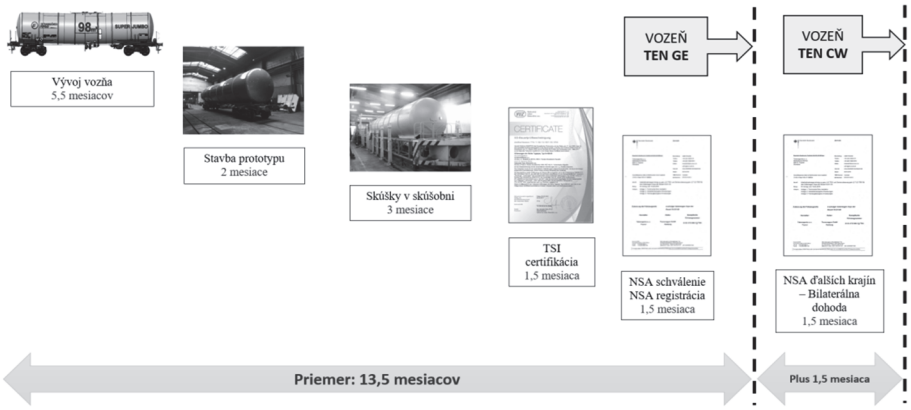
[*)] **Ing. Peter TARAJČÁK,** Tatravagónka a.s., Poprad, Štefánikova 887/53, 058 01 Poprad, Slovensko, Tel.: +421 52 71 12 810, e-mail: peter.tarajcak@tatravagonka.sk, Supervisor for Vehicles Approval.

Ing. Pavol SEMANČÍK, Tatravagónka a.s., Poprad, Štefánikova 887/53, 058 01 Poprad, Slovensko, Tel.: +421 52 71 12 171, e-mail: pavol.semancik@tatravagonka.sk, Vehicles Approval Division.

Druhý ŽB bol prijatý v roku 2004. Bola ním prijatá smernica o interoperabilite, pokrývajúca sieť TEN, ako aj zriadená Európska železničná agentúra (ERA).

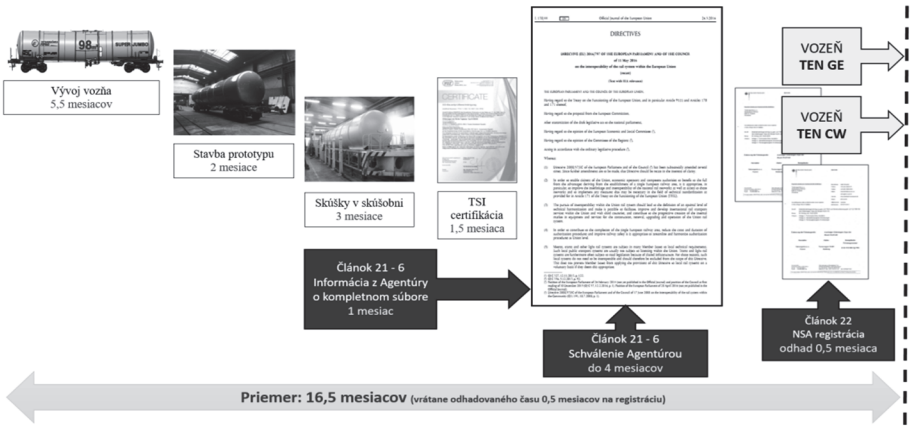
Tretí ŽB bol prijatý v roku 2007. Zabezpečil ručenie práv cestujúcich, otvorenie trhu pre medzinárodnú železničnú dopravu a stanovenie európskej licencie pre rušňovodičov.

Aktuálne posledný štvrtý ŽB bol prijatý v roku 2016. Jeho hlavným cieľom je revitalizovať železničný sektor, zefektívniť ho a zvýšiť jeho konkurencieschopnosť voči iným spôsobom dopravy. Zahŕňa technický a trhový pilier, pričom technický pilier nadobudol platnosť 15. júna 2016, avšak jeho transpozícia bola možná v dvoch krokoch - k 16. júnu 2019 a k 16. júnu 2020. Slovenská republika začala uplatňovať 4. ŽB v neskoršom z vyššie uvedených termínov. Ciele 4. ŽB, definované v recitáli Smernice EP a Rady (EÚ) 2016/797 z 11. mája 2016 o interoperabilite železničného systému v EÚ, možno zhrnúť nasledovne: Cieľom zmeny schvaľovacieho procesu v rámci 4. ŽB má byť **zníženie nákladov** na postupy vydávania povolení, **skrátenie dĺžky ich trvania** a zvýšenie bezpečnosti železníc. Nižšie uvádzame na základe našich doterajších skúseností porovnanie časového rámca schvaľovacieho procesu podľa 3. a 4. ŽB.



Obr. 1 *Časový rámec schvaľovacieho procesu podľa 3. ŽB*

Fig. 1 *Time frame of the approval process according to the 3rd RP*



Obr. 2 *Časový rámec schvaľovacieho procesu podľa 4. ŽB*

Fig. 2 *Time frame of the approval process according to the 4th RP*

3 JEDNOTLIVÉ TYPY ŽIADOSTÍ NA ÚRADE ERA

ERA zavedením 4. ŽB ponúka rôzne typy žiadostí, každú pre iný účel. Jedná sa o nasledovné typy žiadostí:

Prvé povolenie

- Nové povolenie
- Rozšírená oblasť použitia
- Obnovené povolenie pre typ vozidla

Povolenie v zhode s typom

- Prvé povolenie + Povolenie v zhode s typom
- Nové povolenie + Rozšírená oblasť použitia

Spoločnosť Tatravagónka a.s. má skúsenosti z podania žiadosti o prvé povolenie a žiadosti o povolenie v zhode s typom.

3.1 Žiadosť o prvé povolenie

Žiadosť o prvé povolenie sa týka schválenia typu železničného koľajového vozidla. Žiadosť podáva žiadateľ prostredníctvom jednotného kontaktného miesta (OSS). Zákonná lehota úradu ERA na spracovanie žiadosti je 1 mesiac na posúdenie úplnosti žiadosti a následne 4 mesiace na samotné posúdenie žiadosti.

3.2 Žiadosť o povolenie v zhode s typom

Žiadosť o povolenie v zhode s typom podáva žiadateľ prostredníctvom OSS za účelom schválenia umiestnenia vozidla na trh, ktoré sa vydáva pre konkrétne vozidlo, ktoré je už vyrobené a pripravené na prevádzku. Na spracovanie tohto typu žiadosti má ERA zo zákona stanovenú lehotu 1 mesiac. Prílohou žiadosti je ES prehlásenie výrobcu o zhode, spolu s platnými certifikátmi od notifikovanej osoby k posúdeniu požiadaviek technických špecifikácii interoperability pre komponenty interoperability, použité na danom vozni. Schválenie umiestnenia vozidla na trh je v porovnaní so schvaľovacím procesom pred zavedením 4. ŽB novým procesom, ďalším krokom pred samotnou registráciou vozidla a jeho nasadením do prevádzky. Z tohto hľadiska sa jedná o ďalšie dodatočné náklady a rovnako časový posun od udelenia schválenia typu po samotné nasadenie vozňa v prevádzke. Pri tomto type žiadosti ERA momentálne nevyužíva na spracovanie žiadosti celú zákonnú lehotu, schválenie býva spravidla udelené v lehote niekoľkých pracovných dní, najčastejšie do jedného týždňa od podania žiadosti.

4 ONE STOP SHOP (OSS)

Spolu so zavedením 4. ŽB bolo zriadené jednotné kontaktné miesto OSS, ktoré má formu webového portálu, umožňujúceho elektronické podanie všetkých typov žiadostí na úrad ERA. Zavedenie OSS predstavuje jednu z najväčších výhod nového schvaľovacieho procesu. Možnosť podať žiadosť online s elektronickými dátami bez potreby doručenia papierovej verzie žiadosti na adresu sídla ERA je pre žiadateľa veľkou výhodou. Rovnako aj ďalšia komunikácia cez toto rozhranie je rýchla, transparentná a efektívna. Žiadosť je možné zdieľať s viacerými užívateľmi, či už v rámci samotnej organizácie, ktorá žiadosť podala, alebo tiež s tretími stranami. Dáta už uloženej žiadosti je možné využiť pri podaní novej žiadosti, čo je výhodou hlavne v prípade opakujúceho sa obsahu žiadostí o povolenie v zhode s typom.

5 DATABÁZY ERADIS A ERATV

Ešte pred začatím uplatňovania nového schvaľovacieho procesu podľa 4. ŽB bola aktivovaná databáza európskej železničnej agentúry pre interoperabilitu a bezpečnosť

(European Railway Agency Database of Interoperability and Safety, ERADIS) a databáza európskeho registra schválených typov vozidiel (European Register of Authorised Types of Vehicles, ERATV). Nižšie uvádzame stručný popis databáz s prvými skúsenosťami užívateľa.

5.1 Databáza ERADIS

Databáza zhromažďuje okrem iného dáta z jednotlivých certifikátov v rámci posúdenia požiadaviek technických špecifikácii interoperability, vydaných notifikovanými orgánmi. Do uvedeného spadajú posúdenia subsystémov, prvkov a bývalých prvkov interoperability. Do databázy sa tiež ukladajú ES prehlásenia výrobcov o zhode jednotlivých vyššie uvedených konštrukčných celkov. Certifikáty vkladajú do databázy samotné notifikované orgány, prehlásenia vkladajú výrobcovia. Databáza je verejne prístupná. Správcom databázy je samotná ERA. Ako žiadateľ o prvé schválenie na úrade ERA prostredníctvom OSS sme sa mnohokrát stretli s výhradami voči forme a obsahu v databáze už zverejnených zápisov. Riešenie týchto výhrad až v prebiehajúcom procese posudzovania žiadosti o schválenie typu železničného koľajového vozidla je nákladné a časovo náročné. Vydanie revízie prehlásenia, jeho opätovné načítanie do databázy ERADIS a zakomponovanie do ďalších nadväzujúcich dokumentov s nutnosťou ich ďalšej revízie je zdĺhavým procesom. Domnievame sa, že zápisy v databáze ERADIS by mali byť ešte pred ich zverejnením posúdené a autorizované automaticky úradom ERA. Do úvahy je tiež potrebné vziať samotný význam zriadenia databázy. Sme toho názoru, že predkladanie potrebných dokumentov z databázy ERADIS v rámci posudzovania žiadosti úradom ERA by mohlo byť automatizované. Dokumenty by boli na základe svojho identifikačného čísla dostupné ihneď, v aktuálnom znení, bez nutnosti ich fyzického predloženia v rámci žiadosti, predkladanej na úrade ERA.

5.2 Databáza ERATV

V databáze sú zhromažďované údaje o schválených typoch vozidiel. V rámci databázy je možné vyhľadávať vozidlá, schválené ešte v rámci 3. ŽB, kedy schválenie udeľovali jednotlivé bezpečnostné úrady (National Safety Authority, NSA) členských krajín EÚ. Evidujú sa v nej taktiež schválenia, vydané už úradom ERA v rámci transpozície 4. ŽB. Štruktúra zápisov sa v čase vyvíjala a preto nie sú konzistentné. Nové zápisy už obsahujú komplexnejšie dáta, umožňujúce rozlíšenie medzi jednotlivými variantmi a verziami typov vozidla. Zápis novej verzie vozidla do databázy ERATV nepodlieha komplexnému schvaľovaciemu procesu. ERA na vybavenie takejto žiadosti nestanovila žiadnu zákonnú lehotu a preto sa stáva, že zápis novej verzie aj napriek skutočnosti, že sa jedná o zjednodušený postup, trvá dlhší čas. Ako žiadateľ by sme aj v tomto prípade privítali stanovenie skrátenej zákonnej lehoty, ktorá by pre nás predstavovala istú garanciu včasného spracovania žiadosti.

6 KATEGORIZÁCIA PROBLÉMOV, IDENTIFIKOVANÝCH ÚRADOM ERA PRI POSUDZOVANÍ ŽIADOSTI A ICH DOPAD NA PRIEBEH SCHVAĽOVACIEHO PROCESU

ERA v procese posudzovania žiadosti identifikuje tzv. „ISSUE“ (v preklade „problém“), ktoré je žiadateľ povinný vyriešiť resp. objasniť. Ide o problémy, rozdelené podľa závažnosti do kategórií 1 až 4, pričom kategória 4 je najzávažnejšia a vyžaduje si zmenu dokumentácie. Do vyriešenia daného problému nie je možné vydať povolenie typu.

6.1 Dočasné alebo obmedzené povolenie typu

V prípade identifikovaných problémov kategórie 1 až 3 môže úrad ERA vydať povolenie typu s pozmenenými podmienkami použitia vozidla alebo s určitými obmedzeniami alebo opatreniami. Tieto sú navrhované žiadateľom a odsúhlasované schvaľovateľom. Štatút časovo alebo inak obmedzeného schválenia bol uplatňovaný (a je

teda overený v praxi) aj v rámci predošlého schvaľovacieho režimu podľa 3. ŽB. Obdobným spôsobom býva udeľované povolenie na skúšobnú prevádzku. Ako žiadateľ o povolenie typu by sme v prípade identifikácie sporného bodu (ISSUE), ktorého riešenie vyžaduje dlhšie časové obdobie, uvítali možnosť získať dočasné alebo inak obmedzené povolenie typu, ktoré by umožňovalo objednávateľovi vozňov ich nasadenie do prevádzky a zároveň by takéto dočasné schválenie poskytlo dostatočný časový priestor pre žiadateľa na odstránenie nedostatkov žiadosti.

6.2 Problematické požiadavky ERA

Jednou z kategórie problémov, identifikovaných zo strany ERA, sú požiadavky na predloženie hodnotiacich správ, správ z auditov, prípadne ďalšej sprievodnej dokumentácie k certifikátom, vydaných notifikovaným úradom (Notified Body, NoBo). Tieto dokumenty tretích strán sú často dôvernými listinami, obsahujúcimi ich know-how. Vlastník tejto dokumentácie nesúhlasí s ich poskytnutím tretím stranám. Jednou z alternatív je – ak s tým samozrejme vlastník dokumentácie súhlasí - poskytnúť schvaľovateľovi túto dokumentáciu zaheslovanú. Heslo poskytne dodatočne už vlastník dokumentácie priamo schvaľovateľovi. Avšak nie všetci zúčastnení s týmto postupom súhlasia, výhrady voči takémuto postupu vzniesol aj úrad ERA.

Problematicky vnímame taktiež nejednotnosť požiadaviek jednotlivých schvaľovateľov na úrade ERA z pohľadu formy a obsahu predkladanej dokumentácie, či štruktúru jej ukladania v systéme OSS.

Opakovaným posudzovaním už raz posudzovaného, kedy ERA opätovne preveruje schvaľovacie postupy NoBo, je do schvaľovacieho procesu vnášaná duplicita. Schvaľovací proces stráca na efektivite, predražuje sa a časovo predlžuje. V rámci 4. ŽB nadobudol úrad ERA štatút dozorného orgánu nad NoBo. Domnievame sa, že prípadné výhrady ERA voči schvaľovacím postupom NoBo by nemali byť riešené v rámci posudzovaných žiadostí o schválenie typu, ale mali by byť realizované osobitnou formou v rámci uplatnenia právomoci dozorného orgánu ERA nad NoBo.

Lehoty, stanovené úradom ERA na objasnenie resp. odstránenie zistených nedostatkov, vnímame ako nedostatočné a príliš krátke. V prípade výhrad voči dokumentácii tretích strán často nemáme možnosť zabezpečiť včasnú reakciu obratom, následkom čoho ERA schvaľovací proces preruší alebo dokonca úplne ukončí s negatívnym stanoviskom. Domnievame sa, že schvaľovací proces môže aj napriek otvoreným ISSUE pokračovať ďalej. V prípade, že žiadateľ nie je aktuálne schopný vyjasniť identifikované ISSUE a ERA vydá rozhodnutie s negatívnym stanoviskom, mal by žiadateľ dostať možnosť opakovaného podania opravnej žiadosti s požiadavkou na odstránenie nedostatkov a stanovením skrátenej zákonnej lehoty pre úrad ERA na posúdenie odstránených kritických ISSUE. Zákon takúto možnosť aktuálne neponúka. Rovnako v prípade opakovane podaných žiadostí alebo žiadostí, ktorých predmetom je schválenie ďalšieho variantu už schváleného typu, by schvaľovací proces mal byť zameraný už iba na dané rozdiely a teda mal by trvať kratšie. Skrátená lehota na schválenie nového variantu typu, ktorý už bol predtým schválený, však aktuálne nie je legislatívou stanovená.

6.3 Udržiavanie TSI certifikátov v platnosti

Výsledkom posúdenia požiadaviek technických špecifikácii interoperability v zmysle modulu SB orgánom NoBo je vydanie certifikátu schválenia typu, ktorý aktuálne platí 10 rokov od jeho vydania. Súčasťou schválenia je taktiež posúdenie systému manažérstva kvality, ktoré sa aktuálne vydáva na dobu 2 rokov. Súčasťou schválenia typu vozňa sú aj komponenty interoperability, ktoré sa na vozni nachádzajú, pričom zoznam komponentov interoperability môže okrem komponentov, zabudovaných vo vozni, obsahovať aj ich ďalšie varianty pre ich potencionálne použitie. Každé 2 roky uskutočňuje NoBo u výrobu dozorový audit. V prípade pozitívneho výsledku auditu sa predlžuje platnosť certifikátov, vydaných pre

systém manažérstva kvality výroby, na ďalšie 2 roky. Práve počas dozorového auditu je aktualizovaný aj zoznam komponentov interoperability, ktorých vhodnosť je preukázaná platnými certifikátmi a ES prehláseniami jednotlivých výrobcov o zhode komponentov. Tieto tvoria prílohu daného certifikátu v rámci súboru technických dát o vozni. V čase podania žiadosti na úrade ERA o prvé schválenie sú súčasťou požadovaných podkladov aj platné certifikáty a prehlásenia v súvislosti s komponentami interoperability. Keďže schvaľovací proces prebieha počas dlhšieho časového obdobia, stáva sa, že niektoré z certifikátov komponentov interoperability, zahrnutých v schválení typu vozňa, vydaného orgánom NoBo, stratia svoju platnosť. ERA v tomto prípade vyžaduje predloženie certifikátov a prehlásení s obnovenou platnosťou. Súčasne ERA požaduje revíziu všetkých nadväzujúcich dokumentov, ako sú samotné certifikáty vozňa, nadväzujúce prehlásenia alebo ďalšie dokumenty, odvolávajúce sa na vyššie uvedené doklady. Takýmto spôsobom vzniká tzv. domino efekt, spôsobujúci ďalšie náklady a omeškanie v schvaľovacom procese.

V prípade žiadostí o povolenie v zhode s typom je pre ERA postačujúce predloženie platných certifikátov a prehlásení, týkajúcich sa komponentov, ktoré sú aktuálne vo vozni zabudované. Ako žiadateľ by sme uvítali uplatniť tento princíp aj pri žiadostiach o prvé povolenie.



Obr. 3 *Cisternový vozeň Zans 88 m^3 typ N-316-00 – pohľad na komponenty*

Fig. 3 *Tank wagon Zans 88 m^3, type N-316-00, with the view of the components*

7 STAV PLNENIA CIEĽOV 4. ŽB

Aj keď zámerom zavedenia 4. ŽB zo strany jeho autorov bolo zníženie nákladov na postupy vydávania povolení, skrátenie dĺžky ich trvania a zvýšenie bezpečnosti železníc, ich naplnenie k dnešnému dňu nemožno potvrdiť. Kým pôvodný schvaľovací proces na základe 3. ŽB sa ustálil na pomerne krátkej dobe schvaľovania pri relatívne rentabilných nákladoch, v prípade 4. ŽB to nie je možné konštatovať. Zatiaľ čo priemerná doba trvania schvaľovacieho procesu vozňa v rámci voľného obehu na schvaľovacom úrade podľa 3. ŽB bola približne 1,5 mesiaca a náklady sa pohybovali zhruba na úrovni 5.000,- EUR, podľa 4. ŽB sa schvaľovací proces vozňa predĺžil 3-násobne a náklady narástli dokonca na 4-násobok. Príspevok k zvýšeniu bezpečnosti železníc ponecháme bez vlastného hodnotenia.

Za prínos je možné označiť zavedenie možnosti elektronického podania žiadostí prostredníctvom OSS, zjednotenie postupu schvaľovania, ako i vydanie samotného schválenia (nielen pre plne interoperabilné vozne voľného obehu, TEN GE) pre celú EÚ, resp. pre oblasť použitia, špecifikovanú v žiadosti.

8 ZÁVER

Na záver je možné konštatovať nasledovné: Aj napriek skutočnosti, že cieľ 4. ŽB nebol doposiaľ dosiahnutý, odvetvie nákladnej železničnej dopravy jeho naplnenie stále očakáva. Veríme, že optimalizáciou schvaľovacieho procesu a postupným vybudovaním dôvery medzi úradom ERA a zúčastnenými stranami bude v nadchádzajúcom období možné naplniť ciele, vytýčené v rámci 4. ŽB.

Literatúra

[1] NARIADENIE EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2016/796 z 11. mája 2016 o Železničnej agentúre Európskej únie, ktorým sa zrušuje nariadenie (ES) č. 881/2004. **[2]** SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2016/797 z 11. mája 2016 o interoperabilite železničného systému v Európskej únii. **[3]** SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2016/798 z 11. mája 2016 o bezpečnosti železníc. **[4]** VYKONÁVACIE NARIADENIE KOMISIE (EÚ) 2018/545 zo 4. apríla 2018 ktorým sa stanovujú praktické dojednania týkajúce sa postupu vydávania povolení pre železničné vozidlá a povolení pre typ železničných vozidiel podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2016/797

♠ ♠ ♠

Resumé

Príspevok sa zoberá stručným popisom vývoja a zavádzania tzv. železničných balíčkov (ŽB) zo strany orgánov Európskej únie. Uvádza základné porovnanie zmien schvaľovacieho procesu a ich dopadov podľa 4. ŽB voči predošlému schvaľovaciemu procesu v rámci 3. ŽB z pohľadu výrobcu nákladných vozňov a žiadateľa o schválenie typu nákladného vozňa. Príspevok popisuje vybrané typy žiadostí a jednotné kontaktné miesto (OSS), zriadené podľa 4. ŽB za účelom adresovania žiadostí Európskej železničnej agentúre (ERA), ako aj kategorizáciou výhrad, vznášaných zo strany ERA počas prebiehajúceho schvaľovacieho procesu. Popisuje sa tiež problematika udržiavania platnosti TSI certifikátov, popis databáz ERADIS a ERATV, ako i hodnotenie plnenia cieľov, stanovených zavedením 4. ŽB.

Summary

The article deals with a brief description of development and introduction of so called railway packages (RP) by the European Union bodies. It also introduces a basic comparison of changes of the approval process and their consequences according to the 4th RP when compared to the previous approval process according to the 3rd railway package from the point of view of the rolling stock manufacturer and the applicant for freight wagon type approval. The article further describes selected types of applications and the One-stop shop (OSS) established by the 4th RP for submitting applications at the European Railway Agency (ERA), with categorisation of issues raised by ERA during a running approval process. Also, a problem of maintaining the TSI certificates validity is introduced, as well as description of ERADIS and ERATV databases and evaluation of fulfilment of the targets defined by introduction of the 4th RP.

Poďakovanie:





Tento príspevok bol vytvorený v rámci realizácie projektu „Nová generácia nákladných železničných vozidiel“(Kód projektu v ITMS2014+: 313010P922), na základe podpory operačného programu Výskum a inovácie financovaného z EFRR - Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

This contribution was elaborated within execution of the project “New generation of freight railway wagons” (Project code in ITMS2014+: 313010P922), based on support of the operational program Research and innovation financed from the ERDF - European Regional Development Fund

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt:

„Nová generácia nákladných železničných vozidiel “(Kód projektu v ITMS2014+: 313010P922), spolufinancovaný zo zdrojov EFRR - Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

This publication was issued thanks to support within the operational program Research and innovation for the project: “New generation of freight railway wagons” (Project code in ITMS2014+: 313010P922) co-financed from the resources of the ERDF - European Regional Development Fund.

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.40

NOVÉ DIAGNOSTICKÉ VOZIDLÁ NA ŽSR

NEW DIAGNOSTIC VEHICLES ON SLOVAK RAILWAYS

Ján URDA[*)]

1 ÚVOD

Hlavnou činnosťou Železníc Slovenskej republiky (ŽSR) je správa, údržba a prevádzkovanie železničnej infraštruktúry. Pre bezpečnosť a prevádzkyschopnosť dopravnej cesty je potrebné údržbou a opravnými zásahmi zabrániť degradácií jednotlivých jej súčastí. Jednou z možností ako tento stav dosiahnuť je aj diagnostika.

Základný výkon činností súvisiacich s diagnostikou zariadení infraštruktúry zabezpečuje príslušný správca infraštruktúry ŽSR. Výkon diagnostických činností a meraní zabezpečuje vlastnými zamestnancami, prostredníctvom vnútornej organizačnej jednotky ŽSR Výskumného a vývojového ústavu železníc Žilina (VVÚŽ) a v niektorých prípadoch cestou externých dodávateľov.

Výkony diagnostiky a jej opakovateľnosť sa vykonáva na základe kontrolnej a dohliadacej činnosti vyplývajúcej z „Metodického usmernenia riaditeľa Odboru infraštruktúry Generálneho riaditeľstva ŽSR (GR ŽSR) ku kontrole stavieb a zariadení železničnej infraštruktúry“. Hodnotenie parametrov stavieb a zariadení infraštruktúry sa vykonáva v zmysle príslušných noriem EN, STN, predpisov a nariadení ŽSR.

ŽSR s cieľom zabezpečiť kvalitnejšiu, presnejšiu a modernejšiu diagnostiku dopravnej cesty vlastnými diagnostickými prostriedkami a vlastnými kapacitami, zahájilo v roku 2018 verejné obstarávanie na dodanie dvoch nových diagnostických vozidiel na nedeštruktívne skúšanie koľajníc - DV NDT a na meranie geometrických parametrov koľaje - DV GPK. Výsledkom bolo podpísanie zmluvy o dielo v decembri 2019 so združením firiem NDCon LOGIC, a.s. Praha a XML Team, s.r.o. Bratislava na dodanie nového diagnostického vozidla DV NDT a v januári 2020 so združením NDCon LOGIC, a.s. Praha a MER MEC, S.p.A. Monopoli na dodanie nového diagnostického vozidla DV GPK. Spoločnosť MER MEC, S.p.A. neskôr vystúpila zo združenia aj z celého projektu.

2 DIAGNOSTICKÉ VOZIDLO NA NEDEŠTRUKTÍVNE SKÚŠANIE KOĽAJNÍC (DV NDT) – PROJEKT, VÝROBA, SCHVÁLENIE

2.1 Projektová a realizačná dokumentácia

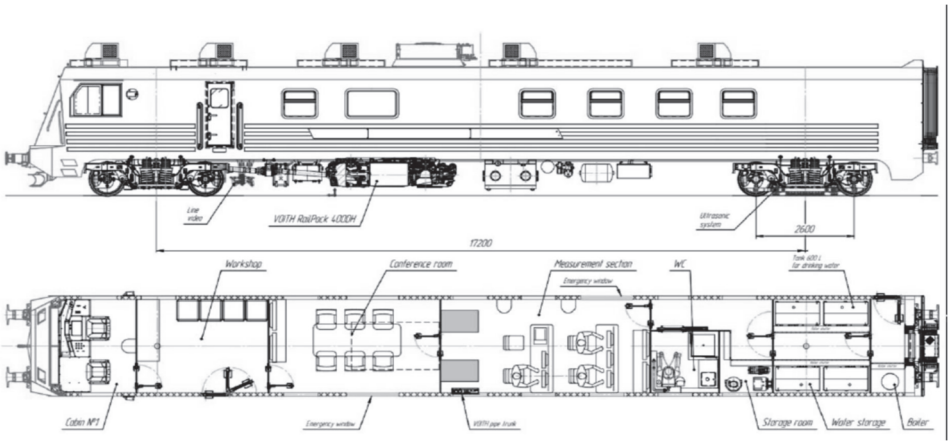
Práce na projekte DV NDT sa začali v januári 2020 stretnutím pracovných skupín zhotoviteľa a ŽSR. Výsledkom mnohých osobných ale aj online stretnutí bola vypracovaná „Projektová a realizačná dokumentácia DV NDT“ (PaRD), ktorá obsahovala základný popis vozidla a jeho technické parametre, popis a špecifikáciu meracích systémov, IT riešení

[*)] **Ing. Ján URDA, PhD.,** ŽSR Výskumný a vývojový ústav železníc v Žiline, Hviezdoslavova 31, 010 02 Žilina, tel.: 00421 911 670 840, e-mail: urda.jan@zsr.sk, 45 rokov, riaditeľ.

a taktiež akceptačné a preberacie procedúry. Po schválení tejto dokumentácie oboma stranami mohol zhotoviteľ začať s výrobou.

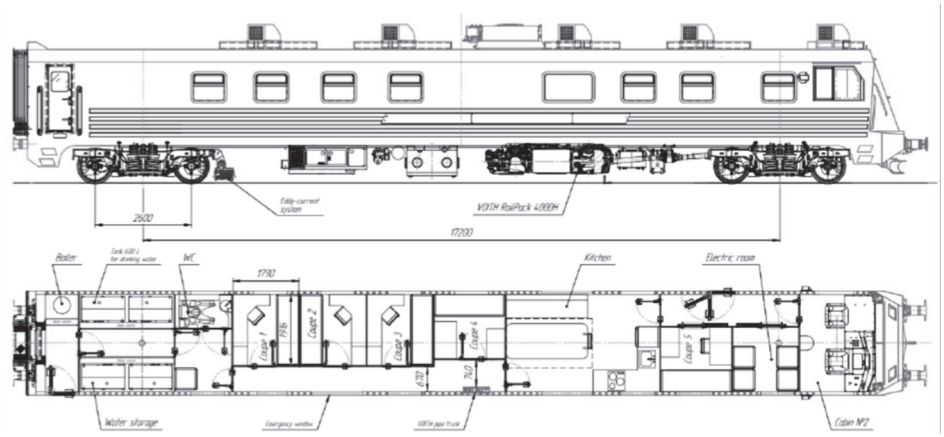
Základné technické parametre DV NDT:

- označenie: SEVER 1435 TWIN,
- rozchod: 1 435 mm,
- dvojvozidlová súprava (meracie a servisné vozidlo),
- vlastný zdroj pojazdu (2 motory VOITH MAN R6 Diesel),
- dve rovnocenné riadiace stanovištia,
- max. rýchlosť jazdy: 120 km/h,
- max. rýchlosť pri meraní: 0 –70 km/h,
- prechod oblúkom: min. R = 150 m,
- celková dĺžka súpravy: 50 m (2 x 25 m),
- celková hmotnosť: 128 t (2x 64 t),
- 4 systémy brzdenia.



Obr. 1 *Meracie vozidlo DV NDT*

Fig. 1 *Measure vehicle DV NDT*



Obr. 2 *Servisné vozidlo DV NDT*

Fig. 2 *Service vehicle DV NDT*

2.2 Výroba DV NDT

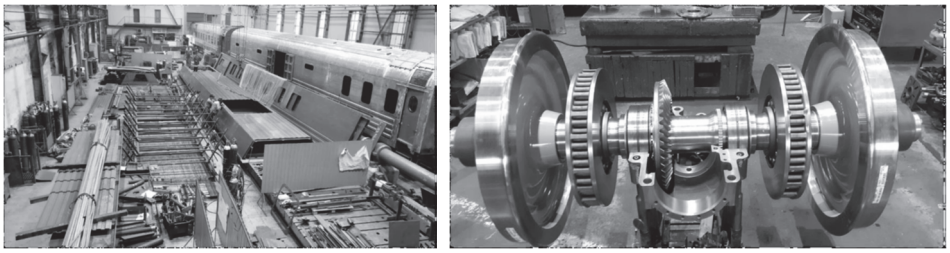
Výroba samotného DV NDT prebiehala vo výrobnom závode spoločnosti TVEMA v Moskve v Ruskej federácii a trvala približne 24 mesiacov.

Vo vozidle sú nainštalované tieto meracie systémy:

- vizuálna metóda - VT (TVEMA),
- ultrazvuková metóda - UT (TVEMA),
- vírivé prúdy - ET (PLR),
- lokalizačný a video systém (NDCon LOGIC),
- HW a SW riešenia (XML TEAM).

Ďalšie súčasti DV NDT:

- podvozky (GANZ),
- motory a prevodovka (VOITH MAN),
- brzdy (KNORR),
- nezávislé kúrenie (WEBASTO).



Obr. 3 *Výroba skrine a podvozkov DV NDT*

Fig. 3 *Production of wagon and bogies DV NDT*

2.2.1 Meracie systémy DV NDT

Vizuálna metóda – VT

- Vysokorýchlostný optický systém.
- 4 snímacie vysokorýchlostné kamery s rozlíšením 1600 x 1200 pixelov.
- Rozlíšenie obrazu 0,5 mm/pixel.
- Maximálna frekvencia kamery 68 kHz.
- Výkonný osvetľovací systém na báze LED technológie.
- Trvalý záznam povrchu koľajníc, upevňovadiel, podvalov a štrku.
- Možnosť okamžitej identifikácie charakteru chyby.
- Pozorovacie uhly zamerané na hlavu koľajnice, pojazdnú a nepojazdnú hranu, stojinu a hornú časť päty koľajnice.
- Systém VT zaisťuje synchronizáciu kamerových záznamov a údajov zo systémov UT a ET v závislosti od km polohy, resp. lokalizácie indikácií.

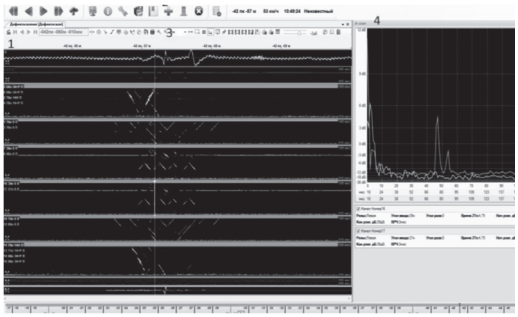


Obr. 4 *Výstup z VT systému*

Fig. 4 *Output from the VT system*

Ultrazvuková metóda – UT

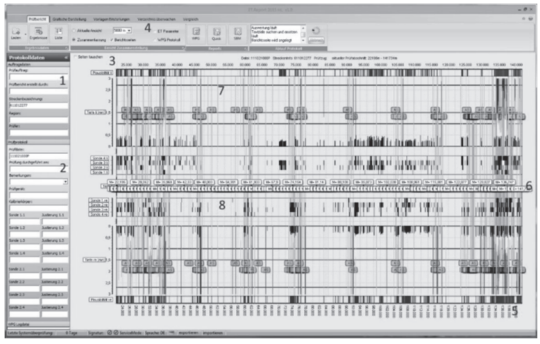
- Systém klzných lyžín s medzerovou väzbou na báze vody.
- Zásoba 6 400 l technickej vody (cca na 600 km merania, 10 l/km).
- 2 klzné lyžiny (v každej je zabudovaných 9 sond v 3 puzdrách 1x70°, 1x40°, 2x70°/14°, 2x58°/34°, 1x0°, 2x58°/34°, 2x70°/14°, 1x40°, 1x70°).
- Impulzná odrazová a prechodová metóda.
- Typy použitých ultrazvukových vĺn –pozdĺžna a priečna.
- Počet kanálov -18 (2 x 9 na každý koľajnicový pás).
- Menovitá frekvencia –2,5 MHz.
- Opakovacia frekvencia -100 až 4800 Hz.
- Rozsah zosilnenia -min 98 dB.
- Dynamický rozsah reg. signálov-min. 48 dB.
- Chyba v meraní určenia polohy voči meranému prierezu < ±2 mm.
- Doba uvedenia do prevádzky < 5 minút.
- Nepretržitá prevádzka min. 8 hodín.
- Spotreba energie pri meraní 1 kW.



Obr. 5 *Výstup z UT systému*
Fig. 5 *Output from the UT system*

Vírivé prúdy – ET

- Systém kontroly na báze vírivých prúdov (SIS ET HS).
- Detekcia chýb HC a vyhodnotenie poškodenia povrchu hlavy koľajnice.
- Dokáže odfiltrovať nežiadúce ostatné chyby a štrukturálne zmeny.
- Vhodný na kvalitatívne posúdenie po reprofilácii hláv koľajníc.
- Spoľahlivá detekcia trhlín v hĺbkach 0,3 až 2,7 mm.
- Maximálna hĺbka vniku 5 mm.
- 4 snímače pre každý koľajnicový pás.
- Použité snímače HC-10 D03.
- Vzdialenosť snímača od skúšobného povrchu koľajnice je 1 mm.
- Snímače majú keramickú vložku ako ochranu proti opotrebeniu.
- Detekčný systém automatického zdvíhania meracích zariadení.



Obr. *6 Výstup z ET systému*
Fig. 6 *Output from the ET system*

2.3 Schvaľovací proces DV NDT

Schvaľovací proces DV NDT zahŕňal:

- Preberacie procedúry.
- Akceptačné procedúry.
- Schválenie typu a povolenie od Dopravného úradu SR (DÚ SR).

Preberacie procedúry pozostávali z 5 čiastkových míľnikov a ich schválení:

- I. míľnik: Projektová a realizačná dokumentácia.
- II. míľnik: Ucelený funkčný celok „Vozidlo“ bez meracích systémov.
- III. míľnik: Ucelený funkčný celok „Vozidlo“ s meracími systémami, HW a SW.
- IV. míľnik: Akceptácia vozidla a schválenie DÚ.
- V. míľnik: Úspešné akceptačné konanie.

Akceptačné procedúry pozostávali z týchto dielčich postupov:

- Kontrola prevádzkovej dokumentácie.
- Skúška doby spustenia.
- Skúšobné jazdy na skúšobnej dráhe a prevádzkovaných úsekoch železničných tratí pre prezentovanie výsledkov skúšok s lokalizáciou koľají.
- Skúška uloženia výsledkov kontroly na počítači.
- Skúška opakovateľnosti meraní.
- Skúška reprodukovateľnosti meraní.
- Skúška spoľahlivosti meracieho systému.

Schválenie typu a povolenie na prevádzku na tratiach v SR od DÚ SR zahŕňalo:

- Vyhovujúcu technickú kontrolu.
- Vyhovujúcu technicko-bezpečnostnú skúšku.
- Schválenie typu Dopravným úradom SR.
- Udelenie povolenia na prevádzku na všetkých tratiach v SR od DÚ SR.

Po úspešnom absolvovaní všetkých preberacích a akceptačných procedúr zhotoviteľ získal dňa 22. 5. 2023 od DÚ SR schválenie typu vozidla a povolenie na prevádzku na všetkých tratiach v SR pod označením „SEVER 1435 TWIN“.



Obr. 7 *DV NDT s označením SEVER 1435 TWIN*

Fig. 7 *DV NDT with designation SEVER 1435*

3 DIAGNOSTICKÉ VOZIDLO NA MERANIE GEOMETRICKÝCH PARAMETROV KOĽAJE (DV GPK) – STAV PROJEKTU

Keďže projekt DV GPK je stále v riešení a vozidlo nebolo ešte dodané a prevzaté do vlastníctva ŽSR, uvádzam tu niekoľko faktov a momentálny stav projektu k 20.6.2023.

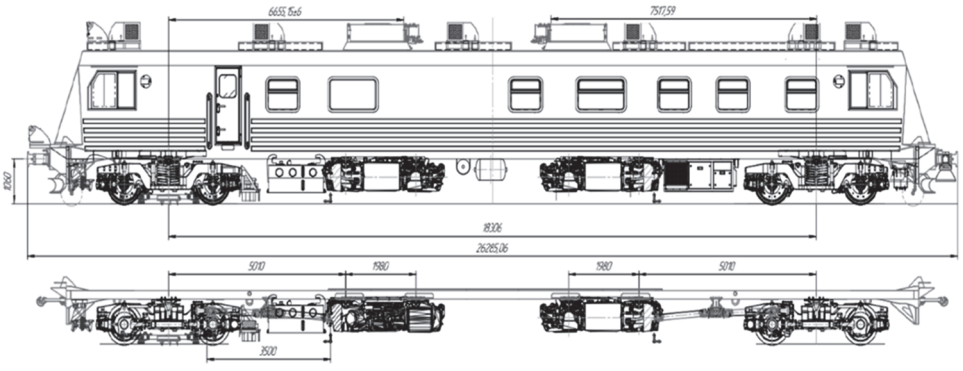
Práce na projekte DV GPK sa začali vo februári 2020 stretnutím pracovných skupín zhotoviteľa a ŽSR. Momentálne je ukončený:

- I. míľnik projektu (odovzdaná Projektová a realizačná dokumentácia),
- II. míľnik projektu (Ucelený funkčný celok „Vozidlo“ bez meracích systémov),
- III. míľnik projektu (Ucelený funkčný celok „Vozidlo“ s meracími systémami, HW a SW).

V súčasnosti prebieha IV. míľnik projektu (statické a dynamické testovanie, posudzovací a schvaľovací proces).

Základné technické parametre DV GPK:

- rozchod koľaje: 1 435 mm,
- adhézne stúpanie: do 40 ‰,
- prevádzková rýchlosť DV: 160 km/h,
- max. celková hmotnosť nazbrojeného vozidla: 72 t,
- maximálna hmotnosť na nápravu: 18 t,
- počet náprav: 4,
- dĺžka cez nárazníky: 26 285 mm,
- výška vozidla: 4 265 mm,
- šírka vozidla max.: 2 800 mm,
- vzdialenosť stredov podvozkov: 18 306 mm,
- usporiadanie pojazdu: B´ B´,
- max. elektrický odpor dvojkolesia meraný medzi jazdnými plochami: menší ako 0,01 Ω,
- menovitý priemer kolies (nové/opotrebované): 920 mm/840 mm,
- priechodnosť minimálnym polomerom oblúka pri traťovej rýchlosti 5 km/h: 150 m,
- obrys vozidla UIC 505-1 (kinematický): G1.



Obr. 8 *Schéma vozidla DV GPK*

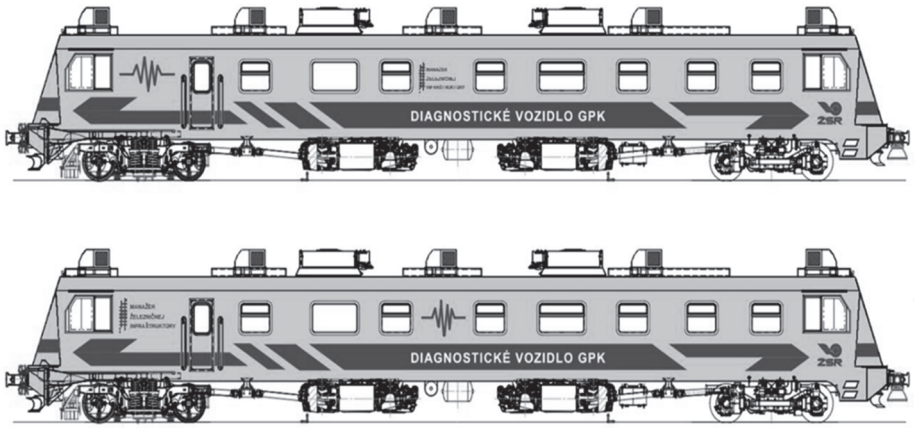
Fig. 8 *Scheme vehicle DV GPK*

Vo vozidle sú nainštalované tieto meracie systémy:

- merací systém geometrických parametrov koľaje (TVEMA),
- merací systém vlnkovitosti a mikrogeometrie povrchu hláv koľajníc (TVEMA),
- merací systém profilu koľajníc (TVEMA),
- merací systém priestorovej priechodnosti (RIEGL),
- merací systém profilu koľajového lôžka (RIEGL),
- merací systém osových vzdialeností koľají (RIEGL),
- merací systém zrýchlenia ložiskovej skrine (TVEMA),
- lokalizační systém (NDCon LOGIC),
- automatizovaný kamerový systém (NDCon LOGIC).

Ďalšie súčasti DV GPK:

- podvozky (GANZ),
- motory a prevodovka (VOITH MAN),
- brzdy (KNORR),
- nezávislé kúrenie (WEBASTO).



Obr. 9 *Návrh vozidla DV GPK*
Fig. 9 *Design vehicle DV GPK*

4 PLÁNOVANÁ DIAGNOSTIKA TRATÍ ŽSR NOVÝMI DIAGNOSTICKÝMI VOZIDLAMI

Defektoskopická kontrola koľajníc a výhybiek a diagnostika GPK sú súčasťou systému starostlivosti o kvalitu pri výstavbe, údržbe a prevádzkovaní tratí ŽSR, pričom ich realizáciou sú plnené povinnosti zo zákona č. 513/2009 Z. z., Vyhlášky MDPT č. 350/2010, predpisov a noriem ŽSR.

Po úspešnom ukončení skúšobnej prevádzky DV NDT (do 12 mesiacov od prevzatia) sa predpokladá jeho postupné nasadzovanie do rutinnej prevádzky. V roku 2025 predpokladáme úplné nahradenie externej dodávky výkonu diagnostiky defektoskopickej vlakovej súpravy novým DV NDT.

Intervaly a početnosti meraní musí sledovať cieľ, ktorým je zmena v pomere výkonov ručných meraní z externého prostredia a meraní DV NDT v prospech jeho využívania v majetku ŽSR. Plánujeme vykonávať min. 2 meracie kampane ročne na hlavných tratiach ŽSR.

Pri DV GPK predpokladáme taktiež po úspešnom ukončení skúšobnej prevádzky (do 12 mesiacov od prevzatia) jeho postupné nasadzovanie do rutinnej prevádzky a nahradenie súčasného MV GPK. Plánujeme vykonávať min. 3 meracie kampane ročne na hlavných tratiach ŽSR.

5 ZÁVER

Obstaraním oboch DV získava ŽSR z pohľadu diagnostiky moderné diagnostické vozidlá s jednotným systémom zberu dát, s vyššou úrovňou automatizácie zberu a spracovania dát a taktiež s rozšírením možností a nástrojov spracovania a analýzy dát.

Na strane užívateľov dát je prínosom možnosť vyššej frekvencie diagnostiky, zvýšenia jej rozsahu, podrobnejšia a presnejšia analýza nameraných dát, online prístupy k dátam a analytickým nástrojom a centralizácia dát.

Prínosom bude aj vytvorenie systémového nástroja železničnej diagnostiky z pohľadu centralizovaného zberu a vyhodnocovania nameraných dát (VVÚŽ), plánovania údržby na úrovni Oblastných riaditeľstiev, strategické rozhodovanie na úrovni manažérov infraštruktúry (GR ŽSR), riešenie pre komplexnú analýzu stavu prevádzkyschopnosti železničnej infraštruktúry, poskytovanie informácií pre centrálne rozhodovacie procesy (GR ŽSR) a digitalizácia dokumentovania stavu železničnej infraštruktúry.

Literatúra

[1] Projektová a realizačná dokumentácia DV NDT, 177 strán, VVÚŽ Žilina, 2021. **[2] Projektová a realizačná dokumentácia DV GPK**, 209 strán, VVÚŽ Žilina, 2022. **[3] www.zsr.sk.**

♠ ♠ ♠

Resumé

ŽSR sa po takmer 40 rokoch dočkali nových diagnostických vozidiel pre NDT skúšanie koľajníc a geometrickú polohu koľaje. Príspevok opisuje tieto dva nové diagnostické vozidlá, ich technické a technologické funkcie, vrátane popisu meracích systémov. Taktiež popisuje zámer ich využitia na diagnostiku tratí ŽSR.

Summary

After almost 40 years, ŽSR has new diagnostic vehicles for NDT testing of rails and the geometric position of the track. The paper describes these two new diagnostic vehicles, their technical and technological functions, including a description of the measurement systems. It also describes the intention of their use for the diagnostic of ŽSR tracks.

26th INTERNATIONAL CONFERENCE
„CURRENT PROBLEMS IN RAIL VEHICLES - PRORAIL 2023“
September 20 – 22, 2023, Žilina, Slovakia

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.41

RESIDUAL STRESS MEASUREMENT IN RAILWAY AXLES

MĚŘENÍ ZBYTKOVÝCH NAPĚTÍ V ŽELEZNIČNÍCH NÁPRAVÁCH

Jaroslav VÁCLAVÍK[*)], **Radka MUSILOVÁ, Roman JOZEFY**

1 INTRODUCTION

The companies producing railway axles are obliged to demonstrate the level of residual stresses in their products based on the specification of standard EN 13261 [1] in which the applicable methods are suggested and the allowable values of residual stresses are specified. The standard requires that surface tension residual stresses measured in the depth of 0.1 mm below the axle surface are lower than 100 MPa (sections A,B,C,D, ***fig. 1***) and in addition that the mutual deviation of the residual stresses measured at 6 points separated by the angle of 60° in the central section of the axle in 2 mm depth (a difference of the maximal and minimum values) have to be within the interval up to 40 MPa.

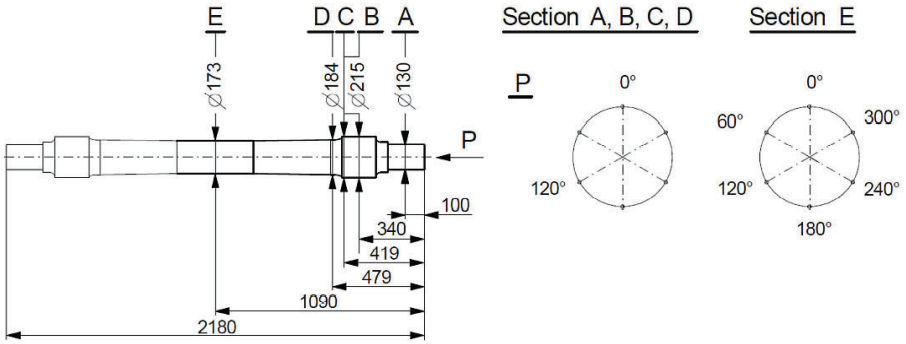


Fig. 1 *According standard EN 13261-2021, at fourteen position the residual stress have to be measured (here the drawing corresponds to real tested railway axle)*

Obr. 1 *Dle standardu EN 13261-2021 je nutno měřit zbytková napětí ve 14 místech (uvedený výkres představuje konkrétní zkoušenou nápravu)*

The hole drilling method is standardly used for this task. However in some cases, especially in the case of hardened or roll-burnished railway axles with 4 mm end-mill diameter this method gives the uncertainties comparable with the demanded stress values

[*)] **Ing. Jaroslav VÁCLAVÍK,** Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o., Dynamická zkušebna 316 00 Plzeň, Orlík 266/15 Bolevec, tel. +420 605 221 757, vaclavik@vzuplzen.cz.

Ing. Radka MUSILOVÁ, Ph.D., Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o., Dynamická zkušebna 316 00 Plzeň, Orlík 266/15, tel. +420 724 863 269, musilova@vzuplzen.cz.

Ing. Roman JOZEFY, Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o., Dynamická zkušebna 316 00 Plzeň, Orlík 266/15 Bolevec, tel. +420 739 587 660, jozefy@vzuplzen.cz.

[2]. With the air turbine and standard hole drilling cutter there is not possible to measure the depths under 1 mm.

Another saw cut method [3] is also recommended in [1], appendix E for residual stress measurement of railway axles.

We propose to use for this task groove grinding method [4]. Here, also single strain gage is used in axle axial direction and the stress relaxation is performed with grinded shallow groove instead of the necessity to saw cut the whole axle. The possibility of calculation of residual stress profile with the depth is another advantage of this method.

2 COMPARISON OF METHODS FOR RESIDUAL STRESS MEASUREMENT

2.1 Hole drilling method

A hole is drilled into the center of the strain gauge rosette in the steps by means of an end mill or a high speed turbine at the revolutions ranging from 20,000 to 400,000 rpm and the residual stress is calculated from the released strains using calibration constants (***Fig. 2a***). The ASTM E837 standard specifies these constants for the Vishay rosettes of the sizes D 1/32, 1/16 and 1/8 inches. Using the largest rosette it is possible to determine the residual stress to the depths up to 2 mm. The minimum depth is within the range from 0.025 to 0.1 mm according to a size of the rosette. However the groove grinding method is nearly three times more sensitive than hole-drilling method as it can be seen from ***fig. 2b***.

The new revision of ASTM E837-20 standard for residual stress measurement using hole-drilling method issued in the year 2020 with successive improving of evaluating procedures dated from first issue from the year 1981 (one step measurement), followed with multiple power series method (2001) and ending with the integral through profile method [2] (2008, 2013).

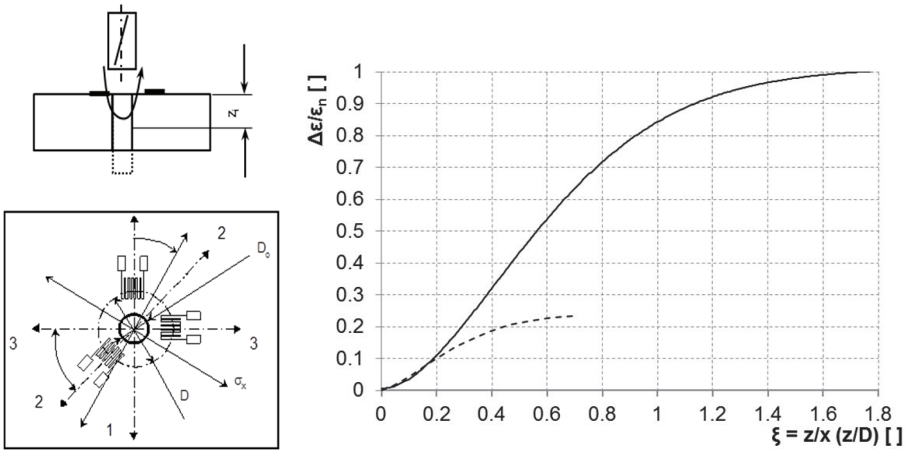


Fig. 2 *Principle of hole-drilling method (a); Comparison of the sensitivity of hole-drilling and groove-grinding methods (b)*

Obr. 2 *Princip metody odvrtání otvoru (a); Porovnání citlivostí metod odvrtání otvoru a vybroušení mezikruží (b)*

Implementation of hole-drilling method

One set of measurement on surface hardened axle (1/8 inch RY61 rosette, electric motor of 20,000 rpm) was evaluated according to both last issues of standard ASTM E837 and also with constants from original integral method; differential Kockelmann's and SINT HDM method were also added for comparison (***fig. 3***). The absolute value of stress

evaluated with ASTM E837-20 in comparison with the last issue was at the most of 6% higher.

It was also examined what was the mutual deviation of the evaluated residual stresses in the centre of the axle in the depth of 2 mm. The measurement was carried out with a 1/8 inch rosette again at six points separated by an angle of 60° and the result is shown in ***fig. 4a***.

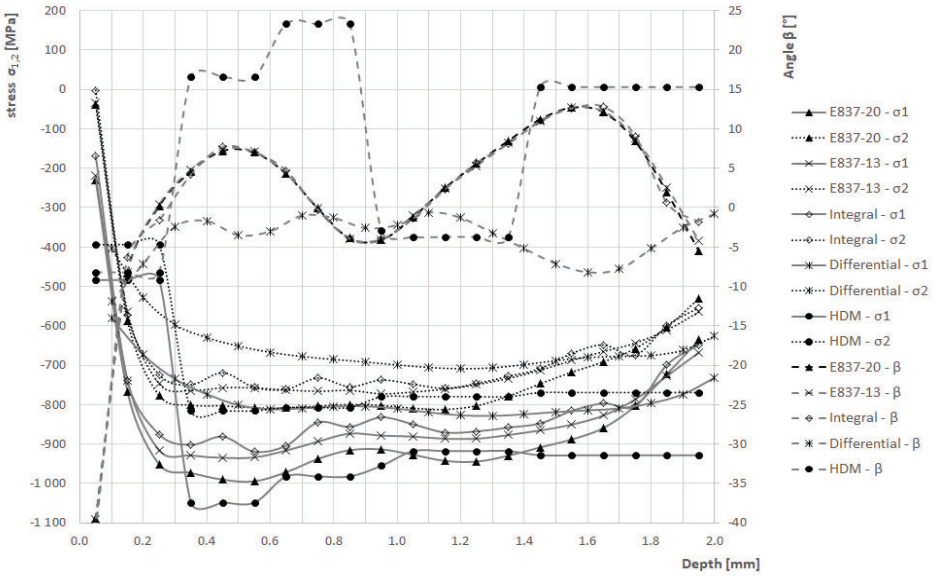


Fig. 3 *Comparison of residual stress evaluation using hole-drilling with various methods using the software SINT Eval 7.20 including both ASTM E837-13 and E837-20 issues*

Obr. 3 *Porovnání vyhodnocení zbytkového napětí, měřeného metodou odvrtání otvoru, různými metodami za použití software SINT Eval 7.20 včetně vydání norem ASTM E837-13 a ASTM E837-20.*

The measurement was carried out for 4 axles made of the material A1N (R_e = 520 MPa), A4T (R_e = 580 MPa), for the surface-hardened axle and for the roll-burnished axle, the material OS (according to GOST 4728). The angular deviation of the residual stress for the axles made from the materials A1N and A4T is low and the requirement of the standard ASTM E837 can be reached. The results for the hardened and roll-burnished axle significantly exceed the permissible deviation of 40 MPa. This fact may be caused not only by a big measuring error which is increased with the measured value of the residual stress but also by the fact that the level of the residual stresses in both axles approximates to the yield point of the material.

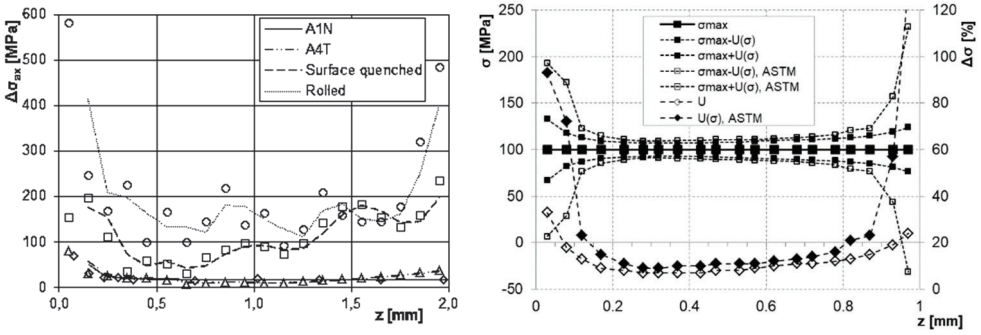


Fig. 4 *The maximal deviation of the axial component of the residual stresses measured in the axle centre for two standard materials of the axles and for the hardened and roll-burnished axles (a); Uncertainty tolerance limits for pre-set and critical ASTM input uncertainties (b)*

Obr. 4 *Maximální odchylka osové složky zbytkového napětí, měřená ve středu nápravy, pro dva standardně používané materiály náprav a pro kalené a válečkované nápravy (a); toleranční limity v software SINT Eval 7.20 pro přednastavené nejistoty měření a pro nejistoty, dovolené ve standardu ASTM*

Using uncertainty computation with the software Sint Eval 7.2 is presented in ***fig. 4b*** for model example for the pure tension. The tolerance limits for 95.4 % coverage probability were evaluated for two cases of input uncertainties. The first case are pre-set "Eval" values labelled as ±U(σ), the second case are uncertainty values specified by ASTM standard as the worst accuracy of measured strains, hole dimensions and the depth (labelled as ±U(σ), ASTM). It is obvious, that the highest uncertainties are at the surface and at the whole depth. The uncertainty at the whole depth increases with the increase uncertainty of the measured input values. For pre-set optimistic parameters the uncertainty is about 33 % at the surface and 23.3 % at the whole depth; for lower input uncertainties the stress uncertainty may reach about 100 %. On the other hand, the uncertainty in the middle depth does not change significantly from depth 0.3 mm to 0.7 mm (uncertainty is here lower than 10 %).

2.2 Saw cut method

Using this method, six strain gauges are attached to the axle in axial direction, separated by the angle 60°. After cutting the plate 25 mm thick with strain gauges in its middle, the residual stresses can be calculated directly from the released strains. The saw cut method is suitable only for cases of homogenous stress field not significantly changed with the depth. The high stress surface peaks cannot be detected with this method. That is, when the stress is presented only in 1 mm surface layer, then less than 20 % of really presented residual stresses are evaluated.

Implementation of saw-cut method

Six strain gauge rosettes HBM RY91-6/120 were glued with the adhesive HBM Z70 at six measured points in one axle section, 50 mm from the axle part end in axial direction angularly of 60°from each other separated, ***fig. 5***. Only two grids from each rosette were used for measurement. The initial reading was made before the cutting. Then the disc of 25 mm thickness was cut from the axle on the saw machine with two cuts just leaving the strain gauge rosettes in the middle of the disc. The second strain gauge reading was made after cutting. Supposing the principal residual stresses are lying in axial end tangential directions the residual stresses were calculated using common relations for bi-axial stress distribution.

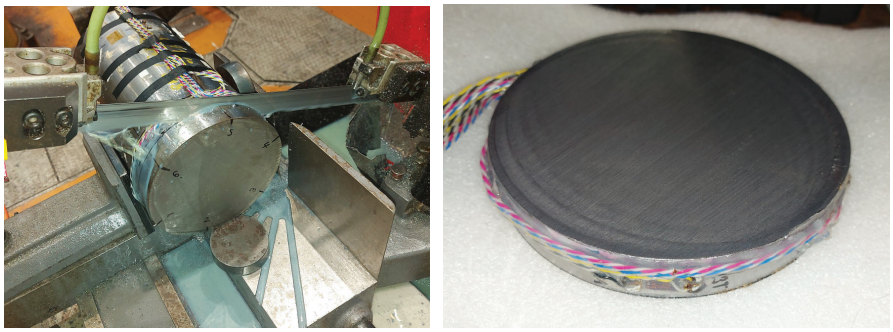


Fig. 5 *Saw-cutting one face disk from the axle (a), cut disc 25 mm width from the axle with installed strain gauges*

Obr. 5 *Řezání strojní pilou jedné strany disku z nápravy (a); vyřezaný disk s tenzometry*

2.3 Grove grinding method

The principle of the method consists in grinding an annular grove at the depth z_i perpendicularly to the surface and calculating the stresses from the relieved strains at the strain gauge glued perpendicularly at a given distance from the groove edge with the help of the calibration constants (***fig. 6***a). The residual stress σ_{xk} at the depth z_j is then estimated using the linear elasticity theory from the relieved strains ε_j, measured at one or more linear strain gauges glued near the edge of the groove (1). The calibration constants a_{jk} indicate the relieved strain in the groove j steps depth due to unit stresses within the groove step *k*. Using the integral method, the residual stresses within each groove depth step can be computed from the measured strains solving the matrix equation (2)

$$\boldsymbol{\varepsilon_i} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{E}} \sum_{\boldsymbol{k=1}}^{\boldsymbol{j}} \boldsymbol{a_{jk}} \cdot \boldsymbol{\sigma_{xk}} \tag{1}$$

$$\bar{\boldsymbol{a}}\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{E}\boldsymbol{\varepsilon} \tag{2}$$

The numerical values of calibration constants were calculated for the given grinding wheel diameter, the strain gauge HBM 0.6LY11 grid dimensions and the given distance of the strain gauge from the groove edge. Also, the influence of the strain gauge misalignment was studied. An FEM analysis was carried out inside the system ANSYS v 19.1. Two cases were modelled: homogenous and non-homogenous stress fields.

The grinding tool has been designed in Research and Testing institute in Pilsen. It works in automatic regime using stepping-motor and microcontroller unit without the necessity to be connected to the computer (***fig. 6b***).

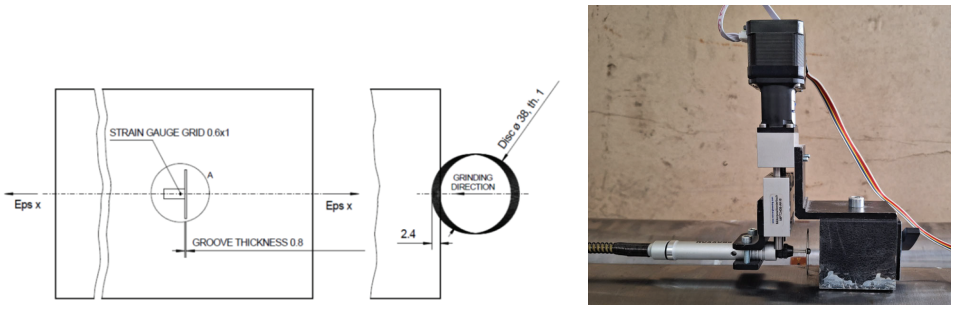


Fig. 6 *Principle of grove-grinding method (a) and the device, used for grinding the grove (b)*

Obr. 6 *Princip metody vybroušení drážky (a) a zařízení pro vybroušení drážky (b)*

Implementation of grove-grinding method

The investigation was made on surface-hardened middle part of railway axle. The diamond cutting wheel ø38 mm was used with 15000 rpm. The relieved strains at 2 mm distance between the cutting wheel edge strain gauge middle point and evaluated axial stresses using integral method are given in ***fig. 7***. The measurement was performed in one axle section at six 60° separated measured points. The dispersion of residual stresses in the 2 mm depth between measured points (***fig. 8***) is lower than 40 MPa, just fulfilling the ASTM E-837 requirements.

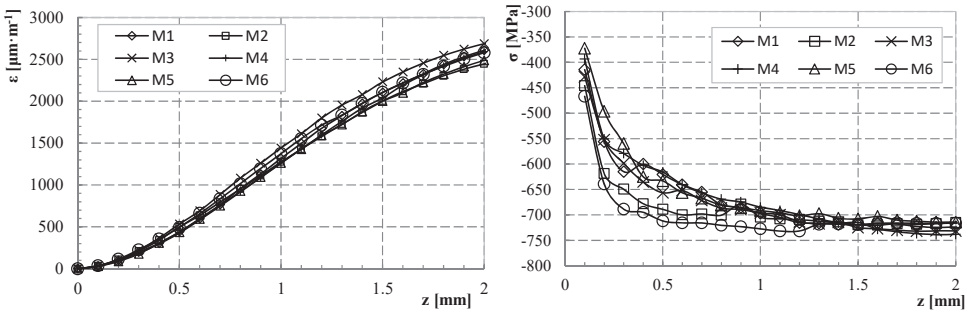


Fig. 7 *Released strain by groove grinding method at six measured points in one axle section, angularly separated of 60°from each other (a); evaluated residual stresses (b)*

Obr. 7 *Poměrné deformace po uvolnění napětí vybroušením drážky v šesti místech v jednom řezu nápravy, rozmístěny vzájemně po 60° (a); vyhodnocená zbytková napětí (b)*

The results of evaluated residual stresses near the surface compared with saw cut method are given in ***fig. 8b***. Dispersion about 20 MPa was measured. Tangential stress component obtained after cutting the disk was low compared with the axial component.

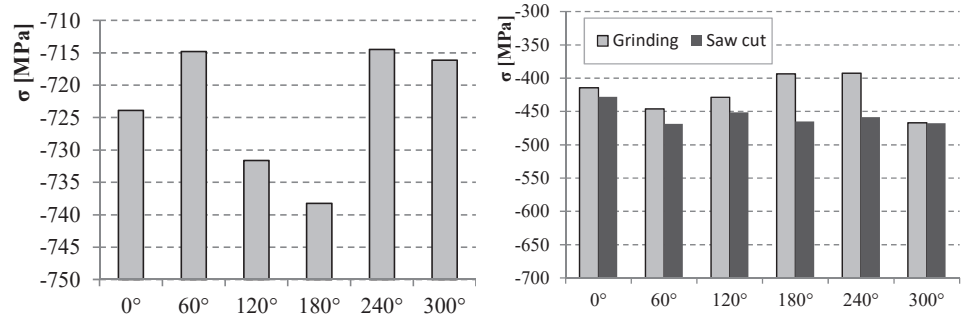


Fig. 8 *Dispersion of residual stresses in the 2 mm depth measured with groove grinding method (a); comparison of residual stress measured with groove grinding and saw cut method at the surface (b)*

Obr. 8 *Odchylka zbytkových napětí v hloubce 2 mm, měřená metodou vybroušení drážky (a); porovnání zbytkových napětí metodou odvrtání otvoru a vybroušením mezikruží na povrchu nápravy*

4 CONCLUSION

It was found that the groove grinding method can be used for residual stress evaluation in railway axles according the standard EN 13261 with sufficient sensitivity even on hardened surfaces, where the hole-drilling method is sometimes difficult to use. The results were experimentally verified with comparison between grove-grinding and saw cut

methods. Even if the saw cut method cannot catch the high stress peaks at the surface, both methods give surprisingly comparable results.

The article has originated in the framework of the institutional support for the long-term of conceptual development of the research organization.

References

[1] EN 13 261 Railway applications – Wheelsets and bogies – Axles – Product requirements (2021). **[2] Řeha, B., Václavík, J., Návrat, T., Halabuk, D.:** Residual stresses in railway axles. Proceedings of 10th European Conference on Residual Stresses ECRS10, Leuven, Belgium, September 2018. Edited by Marc Seefeldt KU Leuven, department of Materials Engineering. Part of Material Research Proceedings Vol.6 (2018), pp. 95-100, ISBN 978-1-94529188-3 (Print), ISBN 978-1-94529189-0 (eBook). **[3] Berger, A.W**. at al, Eigenspan-nungen in Radsatzwellen –Vergleichende zerstörende und zerstörungsfreie Unter-suchungen, 11. Fachtagung ZfP im Eisenbahnwesen, March 12,2020, Erfurt, Germany (in German), NDT.net issue 2020-08. **[4] Václavík, J., Hejman, M., Weinberg, O.**: Groove grinding method for near the surface residual stress measurement. Proceedings of 57th International Conference Experimental Stress Analysis 2019, Brno University of Technology, Luhačovice, CD ROM, June 2019. ISBN 9781510889699.

♠ ♠ ♠

Summary

The semi-destructive methods for investigation of residual stresses in railway axles according EN 13261 standards are discussed and compared: hole-drilling method, saw-cut method and grove-grinding method. The grove-grinding method is recommended for this task, having the highest sensitivity and is easy to use. The tool with stepping motor was designed and implemented for this method.

Abstrakt

Jsou diskutovány a porovnány semi-destruktivní metody pro měření zbytkových napětí v železničních nápravách podle norem EN 13261: metoda odvrtání otvoru, metoda odřezání pilou a metoda vybroušení drážky. Pro měření zbytkových napětí na nápravách článek doporučuje metodu vybroušení drážky, která má nejvyšší citlivost a je snadno použitelná. Pro tuto metodu byl navržen a implementován nástroj s krokovým pohonem.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.42

WAYSIDE DIAGNOSTIKA POJEZDU KOLEJOVÝCH VOZIDEL A JEJÍ PŘÍNOS PRO ÚDRŽBU

WAYSIDE DIAGNOSTICS OF RUNNING GEAR OF RAILWAY VEHICLES AND ITS CONTRIBUTION TO MAINTENANCE

Jakub VÁGNER, Martin KOHOUT, Petr VOLTR, Stanislava LIBEROVÁ, Michal JIRKA, Ondřej KOVÁŘ[1)]

1 ÚVOD

Diagnostika stavu pojezdu kolejových vozidel je důležitá jak pro provozovatele vozidla, tak pro správce infrastruktury. V prvním případě je cílem odhalit poruchy včas a provést nebo naplánovat údržbový zásah na vozidle. Některé vady také zvyšují hluk a vibrace v prostoru pro cestující. V druhém případě jde hlavně o ochranu infrastruktury proti zvýšeným dynamickým účinkům, ale také s cílem snížit hluk a vibrace v okolí tratí. Důležitým aspektem je pak detekce náhlých poruch, což zvyšuje bezpečnost dopravy. V síti železničních tratí Správy železnic s.o. je okolo 66 diagnostických míst [1], které detekují stav vozidel měřením v koleji. Jedná se zejména o zařízení ASDEK. Zatím nejsou výsledky diagnostiky poskytovány dopravcům a jedná se tak o systémy, jejichž úkolem je ochránit infrastrukturu. V případě metra je situace odlišná. V tunelech by bylo velmi složité instalovat zařízení o velikosti systému ASDEK, přitom detekce těchto poruch má zde mnohem větší význam. Jedná se o provoz v hustě obydlených oblastech a hlukové emise v tunelu mají větší dopad na cestující.

Autoři se touto problematikou zabývají již několik let a bylo vyvinuto zařízení s pracovním názvem DiMet, které má kompaktní rozměry a pomocí měření v koleji dovede detekovat mnoho poruch v pojezdu vozidla. Kromě funkce ochrany infrastruktury má

[1)] **Ing. Jakub VÁGNER, Ph.D.**, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Česká republika. Tel.: +420 466 036 493, e-mail: jakub.vagner@upce.cz.

Ing. Martin KOHOUT, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová, Česká republika. Tel.: +420 466 037 427, e-mail: martin.kohout@upce.cz.

doc. Ing. Petr VOLTR, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Výukové a výzkumné centrum v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Česká republika. Tel.: +420 466 038 505, e-mail: petr.voltr@upce.cz.

Ing. Stanislava LIBEROVÁ, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová, Česká republika. Tel.: +420 466 037 429, e-mail: stanislava.liberova@upce.cz.

Michal JIRKA, Škoda Transportation, a.s., Full Servis Praha, Sazečská 1, Depo Hostivař, 108 37 Praha 10, Česká rep. Tel.: +420 378 183 513, e-mail: michal.jirka@skodagroup.com.

Ing. Ondřej KOVÁŘ, STARMON s.r.o., Průmyslová 1880, 565 01 Choceň, Česká republika. Tel.: +420 465 530 177, e-mail: ondrej.kovar@starmon.cz.

zařízení také přínos do údržby vozidel. Tento příspěvek stručně popisuje zařízení, možnosti detekce poruch a přínosy pro údržbu vozidel metra.

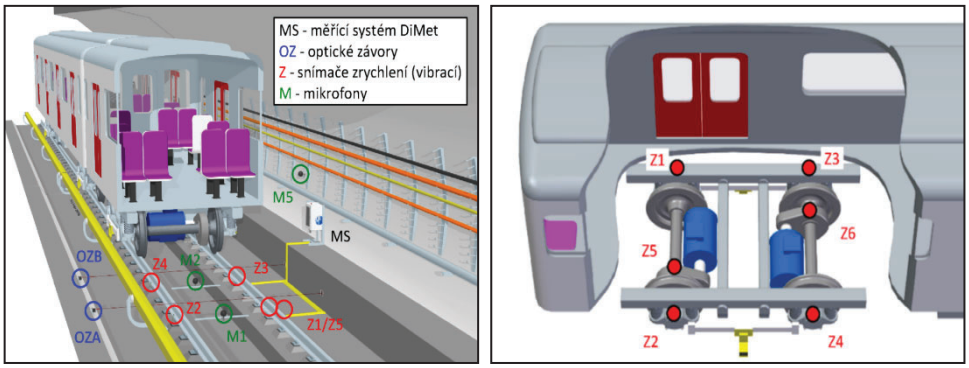
2 WAYSIDE, NEBO ONBOARD?

Diagnostika poruch je realizovatelná několika způsoby. Dle umístění sensorů lze zařízení rozdělit na „onboard“ – tedy umístěné na vozidle – nebo „wayside“ – tedy zařízení umístěné na trati. Nutno podotknout, že zařízení na trati může dále detekovat technický stav trati i vozidla, a naopak zařízení na vozidle může detekovat technický stav vozidla i trati. Vznikají tak čtyři kombinace koncepcí diagnostického systému, jejichž základní vlastnosti jsou uvedeny v ***TAB. 1***.

TAB. 1 *Výhody a nevýhody v různých přístupech diagnostiky*

TABLE 1 *Advantages and disadvantages of approaches to diagnostics*

Diagnostika / Umístění	Vozidla	Tratě
Na vozidle	+ měření přímo na vozidle – vysoké náklady na pořízení, musí být na každém vozidle	+ jedno zařízení pro celou trať – nutnost znát polohu na trati
Na trati	+ jedno zařízení pro celou flotilu vozidel – nutnost identifikace vozidla – obvykle nelze použít na odpružené části	+ měření přímo na diagnostikovaném objektu – obvykle nutnost identifikace vozidla – vysoké náklady na pořízení, každé místo na trati by muselo mít sensor



Obr. 1 *Příklad umístění snímačů wayside diagnostiky (vlevo) a onboard diagnostiky (vpravo)*

Fig. 1 *Example of position of sensors for wayside diagnostics (left) and onboard diagnostics (right)*

Pro případ metra se autoři rozhodli použít přístup „wayside“ z důvodu nižší pořizovací ceny, relativně jednoduchého přenosu dat v tunelu a možnosti identifikace souprav. Na měřené trase se pohybuje konstrukčně shodná skupina vozidel, což umožňuje z diagnostiky vytěžit další přidanou hodnotu v podobě možnosti porovnávat soupravy mezi sebou.

2 TECHNICKÝ POPIS SYSTÉMU

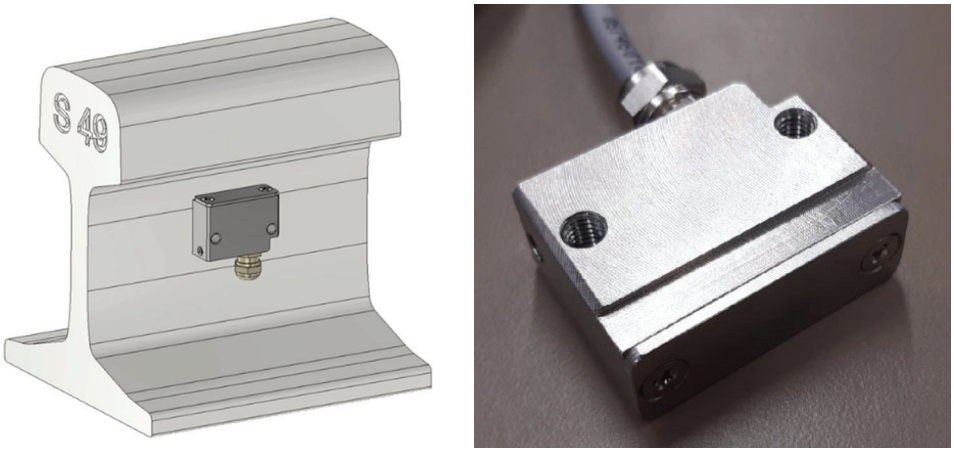
2.1 HW řešení DAQ části

Celý systém se skládá z několika podsystémů, které jsou distribuované do několika míst. Jedná se o DAQ jednotku v trati, která je v průmyslovém provedení a určená pro železniční provoz (viz ***obr. 2***). Umístění je v blízkosti koleje – cca 5 m od osy koleje, resp. od snímačů zrychlení umístěných v koleji (ACC-S, viz ***obr. 3***).



Obr. 2 *DAQ jednotka (výrobce STARMON s.r.o.)*

Fig. 2 *DAQ unit (manufactured by STARMON s.r.o.)*



Obr. 3 *Snímače ACC-S umístěné na stojině kolejnice (výrobce STARMON s.r.o.)*

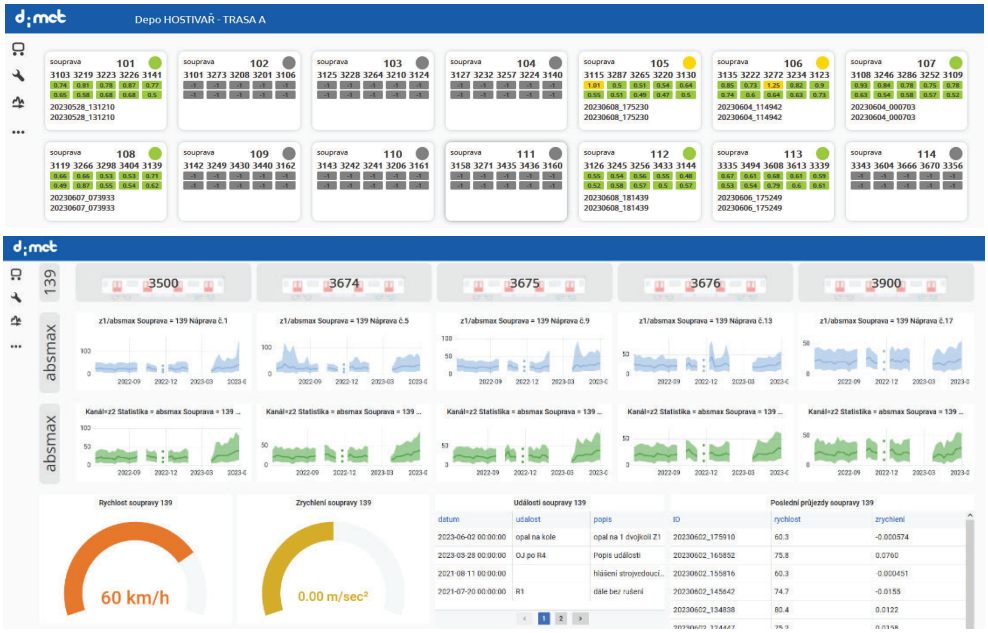
Fig. 3 *ACC-S sensors installed at the rail web (manufactured by STARMON s.r.o.)*

DAQ jednotka je propojena s měřícím průmyslovým počítačem. Propojení je provedeno optickým vláknem, případně izolovaným metalickým spojem (izolační pevnost 4 kV). V průmyslovém počítači pak běží software DAQ-S, který data zaznamená. Pro určení rychlosti souprav a směru jízdy je v blízkosti sensorů ACC-S umístěn kolejový dotek Frauscher RSR 180, který zaznamená průjezd každé nápravy a tato informace se zaznamená do měřených dat.

Zkušební provoz zařízení již běží v DPP několik měsíců, nyní se rozběhl zkušební provoz také v jedné lokalitě Správy železnic s.o. v plném provozu.

2.2 SW řešení

Naměřená data se přenášejí na server, kde jsou vyhodnocována a následně vizualizována uživateli skrze webové rozhraní. Pro výzkumné účely jsou přenášena surová data, ale do budoucna se počítá se zpracováním dat na místě tak, aby byla přenášeny pouze výsledky diagnostiky.



Obr. 4 *Ukázka webového rozhraní pro vizualizaci výsledků. Pohled na obrazovku „depo“ s přehledem stavu souprav (nahoře) a pohled na detail „souprava“ (dole).*

Fig. 4 *Example of the web interface for presentation of results: view of the „depot“ screen with summary of the whole fleet (top) and view of the „trainset“ detail (bottom).*

Hodnocenou veličinou je svislé zrychlení, měřené na stojinách obou kolejnic, doplňkově lze měřit i hluk. Při vyhodnocení je potřeba znát parametry koleje, protože se jedná o interakci vozidlo–kolej [2, 3, 4]. Proto byla provedena dynamická analýza koleje (experimentálně i simulačně) a výsledky byly zohledněny při vyhodnocení dat. Dále je potřeba zohlednit fakt, že ocelová kolejnice dobře vede vibrace a lokalizace poruchy po jednotlivých nápravách může být obtížná. Ze zkušenosti ale víme, že lokalizace na určitý podvozek funguje vždy. Samotné vyhodnocení se provádí automaticky za použití nástrojů pro zpracování signálu jak v časové, tak frekvenční oblasti. Výsledky jsou pak uloženy v databázi, která je zdrojem informací pro webové aplikace – ukázka takové aplikace je na ***obr. 4***. Testuje se také funkce, která při překročení zadaných hodnot upozorní uživatele e-mailem nebo oznámením v aplikaci na mobilním telefonu. Zatím se daří výstrahy předat do 15 minut od průjezdu vlaku s tím, že tato doba by se měla ještě zkrátit.

3 PŘÍKLADY DIAGNOSTIKOVANÝCH PORUCH

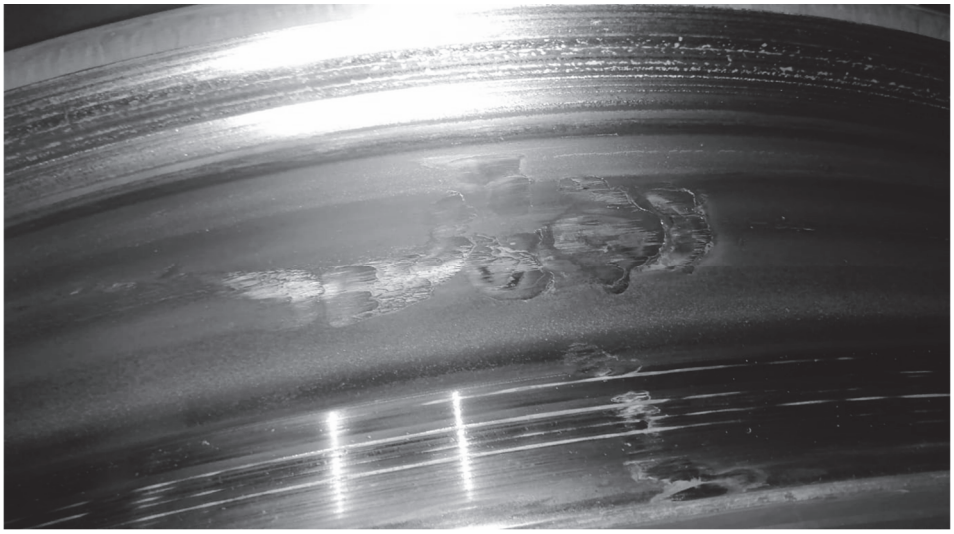
3.1 Plochy na jízdní ploše kola

Plochá kola vznikají v každém železničním provozu. Nejčastějším důvodem je brzdění vozidla přes mez adheze a následný smyk kola. Vada se hodnotí obvykle podle velikosti plochy v milimetrech čtverečních, což nemusí být parametr korelující s dynamickou

odezvou na trati. Dále je možné hodnotit délku plochy (délka po obvodu kola), která také nemusí být určujícím parametrem.

Během zkušebního provozu zařízení bylo zachyceno desítky případů plochých kol s různou velikostí odezvy. Detekci lze sice provést pouhým statistickým hodnocením signálu, ale aby se vyloučily jiné poruchy, je potřeba použít pokročilejší techniky hodnocení (kombinace vyhodnocení v časové a frekvenční oblasti).

Na ***obr. 5*** je vidět příklad plochého místa na kole, které vzniklo při použití nouzového zastavení soupravy na zhlaví depa Hostivař. Je vidět členitost plochy, zřejmě z důvodu vzniku v místě výhybky. Hodnotící parametr „plocha“ (jednotky v mm^2) a „délka“ (jednotky v mm) pak není zcela relevantní a nekoreluje s dynamickou odezvou na trati.



Obr. 5 *Členitá plocha po smyku kola v místě zhlaví depa*

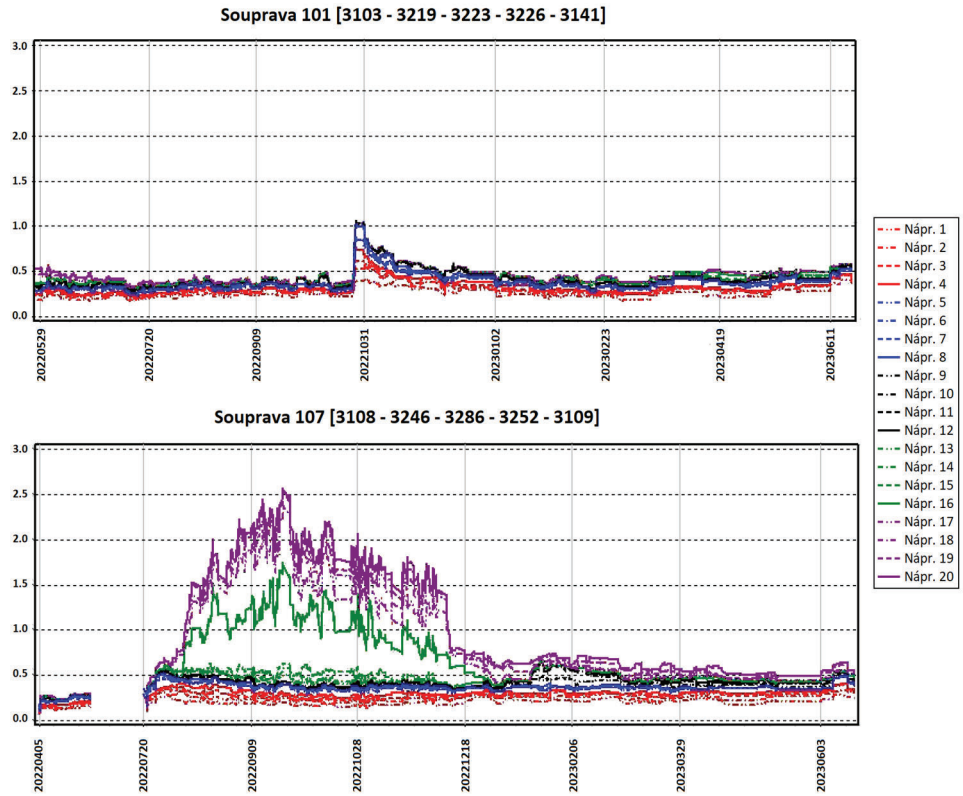
Fig. 5 *Irregularly shaped wheel flat after skidding at the depot tracks head*

3.2 Zhoršený stav povrchu jízdní plochy kola

Povrchové vady kol se objevují z několika důvodů. Jedním z nich je reprofilace kol, kdy po reprofilaci zůstává na povrchu kola určitá drsnost od soustružení. Tyto nerovnosti nejsou zcela náhodné, mají určitou vlnovou délku a při jízdě generují charakteristické frekvence vibrací, které jsou závislé na rychlosti jízdy. Tento stav je přechodný a obvykle po 1 až 2 týdnech dochází k zajetí kola do normálního stavu.

Druhým sledovaným případem je odezva, u které zatím nebyla potvrzena příčina vzniku, kdy při zajetí nových dvojkolí dochází naopak k nárůstu této odezvy. V první fázi dochází k nárůstu „šumu“ v signálech, v druhé fázi se přidá signál podobný odezvě plochého kola. Tento signál však nemá tak silnou odezvu. Při ověřovacích jízdách však je tato odezva slyšitelná, pracovně byla označena jako „dupání kola“. Zjištění příčiny je v procesu zkoumání.

Pro tento účel byl zaveden hodnotící parametr $R_{64\text{-}80}$, kterým lze tento jev kvantifikovat. V grafu na ***obr. 6*** lze vidět jeho vývoj po výměně dvojkolí v revizi R4. Je vidět rozdíl mezi nápravami bez poruchy (1. až 16.) a nápravami s poruchou (17. až 20.). U nápravy č. 16 není detekce jednoznačná, protože vibrace od 17. nápravy prochází kolejnicí až k sousední nápravě č.16, která je však bez poruchy.

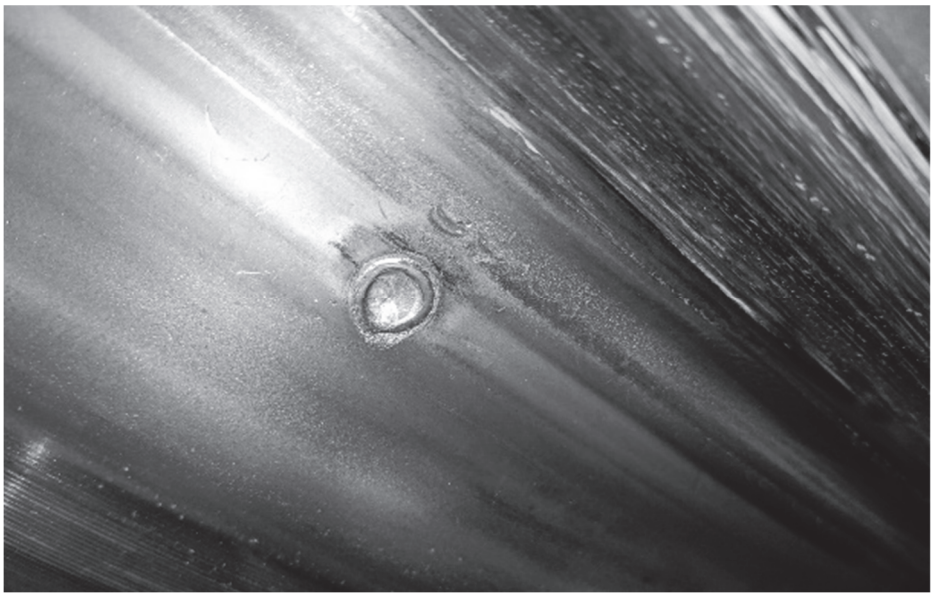


Obr. 6 *Nahoře: zajetí kol po reprofilaci dle parametru R_{64-80}; dole: vývoj parametru R_{64-80} při zajíždění nových kol s vadou*

Fig. 6 *Top: running in after wheelset reprofiling as seen in the R_{64-80} parameter; bottom: development of the R_{64-80} parameter during running in of new wheels with faults*

3.3 Opálená místa od elektrického oblouku

Při detekci lze narazit na signály, které detekují plochu na kole, ale jedná se o jiný typ poruchy. Hlavním znakem je odezva v určitém frekvenčním pásmu, oproti ploše, která má odezvu více širokospektrální. Po ohledání soupravy bylo zjištěno, že důvodem je porucha, která vznikla průchodem zpětného trakčního proudu z kolejnice na kolo. Jedná se zřejmě o situaci, kdy kolo stojí blízko kolejnicového styku a vlivem poruchy vedení zpětného trakčního proudu má každá kolejnice jiný elektrický potenciál. Při zastavení (nebo pomalé jízdě v depu) v tomto místě se pak vytáhne elektrický oblouk, který způsobí tuto vadu (viz ***obr. 7***).



Obr. 7 *Povrch jízdní plochy kola opálený elektrickým obloukem zpětného trakčního proudu*
Fig. 7 *Surface of the wheel tread damaged by an electric arc caused by return current*

4 PŘÍNOSY PRO ÚDRŽBU VOZIDEL

4.1 Obecně

Před používáním zařízení byla údržba vozů metra, co se týče poruch a stavu pojezdů, závislá na subjektivních informacích od strojvedoucích, nebo případně od cestujících. Detekce závady byla složitější i z důvodu absence obsluhy na vložených vozech, informace od strojvedoucích jsou limitovány pouze na čelní vozy. Navržené autonomní zařízení umožňuje získat objektivní informace o stavu pojezdu ve velmi krátké době, a to na všech vozech soupravy. Tím dochází k podstatnému zrychlení reakce údržby a zpřesnění informací. Před využíváním zařízení docházelo ke stavům, kdy závada nebo poškození dvojkolí bylo zjištěno až při plánované prohlídce, která mohla být až měsíc po vzniku závady.

Zařízení je i použitelným nástrojem při prokazování špatné manipulace ze strany strojvedoucích. Umožňuje zjistit, v jakém časovém úseku došlo k závadě a podstatně tím snižuje čas analyzy dat z tachografu soupravy. Zároveň zařízení eliminuje situace, kdy obsluha záměrně nenahlásí vznik závady, protože si je vědoma svého pochybení.

Snížením času detekce závady dochází k omezení pohybu vadné soupravy na trati, protože souprava je stažena z provozu v krátkém čase. Tím pádem nedochází ke zbytečnému poškozování koleje plochami a vydroleninami. Udržuje se tím i komfort přepravy cestujících, kteří nejsou vystaveni nadměrné hlučnosti a vibracemi od poškozených dvojkolí.

4.2 Modelový příklad z provozu

Pro porovnání přínosu diagnostiky jsou níže uvedeny dva scénáře z reálného provozu, které ukazují původní přístup k řešení poruch a přístup, který lze zavést po nasazení diagnostiky.

Provoz bez diagnostiky:

Na soupravě došlo na zhlaví depa k poškození dvojkolí skluzem na mokrých kolejnicích. Na soupravě zareagovala protiskluzová ochrana, nicméně i tak došlo k poškození dvojkolí plochami na vozech č. 3 a č. 4. Strojvedoucí oznámil dispečerovi zásah protiskluzové ochrany a pokračoval další jízdou do stanice, kde ohlásil, že nedetekuje žádné poškození dvojkolí. Souprava byla ponechána v provozu a plochy byly objeveny až při kontrole v rámci revize R1 o tři týdny později, kdy už na dvojkolích docházelo k vypadávání materiálu z ploch a jejich změně na vydroleniny – postupně tedy došlo ke zhoršení stavu jízdní plochy. Mezitím docházelo k poškozování kolejnic a snížení komfortu pro cestující. Souprava zároveň musela čekat déle na reprofilaci (z důvodu obsazenosti soustruhu), než kdyby byla odstavena mimo provoz v den vzniku závady.

Provoz s diagnostikou:

Na soupravě došlo na zhlaví depa k poškození dvojkolí skluzem na mokrých kolejnicích. Na soupravě zareagovala protiskluzová ochrana, nicméně i tak došlo k poškození dvojkolí plochami na vozech č. 3 a č. 4. Strojvedoucí oznámil dispelčerovi zásah protiskluzové ochrany a pokračoval další jízdou do stanice, kde ohlásil, že nedetekuje žádné poškození dvojkolí. Souprava byla ponechána v provozu. Při průjezdu zařízením bylo detekováno poškození dvojkolí. Souprava byla následně stažena z trati, v depu byla provedena kontrola soupravy včetně zjištění okolností vzniku závady. Souprava byla ještě týž den objednána na soustruh a soustružení bylo provedeno o dva dny později. Včasnou reakcí nedošlo k poškození kolejnic a snížení komfortu přepravy. Včasným soustružením nedošlo k zhoršení stavu jízdní plochy – tvoření vydrolenin s nutným úběrem materiálu z věnce kola.

5 ZÁVĚR

Traťová diagnostika jedoucích vozidel je na železnici běžně používaná (více než 60 lokalit v ČR), ale v provozech MHD se zatím ve velké míře neuplatňuje. Přínosy jsou však nesporné, zejména s ohledem na to, že se jedná o provozy v hustě osídlených místech.

Hlavní přínosy při použití popsaného diagnostického systému v pražském metru lze shrnout následovně:

- Dochází k snížení času detekce poruchy na hodiny z původních dnů až týdnů.
- Nedochází ke zbytečnému poškození kolejnic od poruch vozidel.
- Nedochází ke snížení komfortu přepravy cestujících (hluk a vibrace).
- Nedochází k zhoršení stavu jízdní plochy v čase vlivem pozdní reprofilace.
- Přesnější a rychlejší dohledání případů špatné manipulace v tachografu.

Lze předpokládat i další přínosy do budoucna, jednoznačně se nabízí detekce poruch u autonomních souprav neobsazených obsluhou.

Autoři předpokládají dokončení vývoje zařízení na konci roku 2023 a následné komerční použití zejména v oblasti lehké kolejové dopravy.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu TAČR TC02000218 „Wayside diagnostika pojezdu kolejových vozidel“. Tento projekt je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva dopravy ČR v rámci Programu DOPRAVA 2020+.

Literatura

[1] ŘÍHA, Vladimír. Vývoj v oblasti diagnostiky závad jedoucích železničních vozidel: Konference sdělovací a zabezpečovací techniky na železnici [online]. Praha: Správa železnic s.o., 2021 [cit. 2023-07-03]. ISBN 978-80-907189-3-7. Dostupné z: https://typdok.tudc.cz/files/Konf_SZT_2021_Sborn%C3%ADk_www.pdf. **[2] IWNICKI, S. et al.** (eds.) Handbook of Railway Vehicle Dynamics. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press, 2020. ISBN 9781138602854. **[3] KNOTHE, K., GRASSIE, S. L.** Modelling of Railway Track and Vehicle/Track Interaction at High Frequencies. In Vehicle System Dynamics, 1993, 22 (3–4), s. 209–262. ISSN 0042-3114. **[4] MORAVČÍK, M., MORAVČÍK, M.** Mechanika železničných tratí. 2. diel. Teoretická analýza a simulácia úloh mechaniky železničných tratí. 1. vydanie. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2002. ISBN 80-7100-984-9.

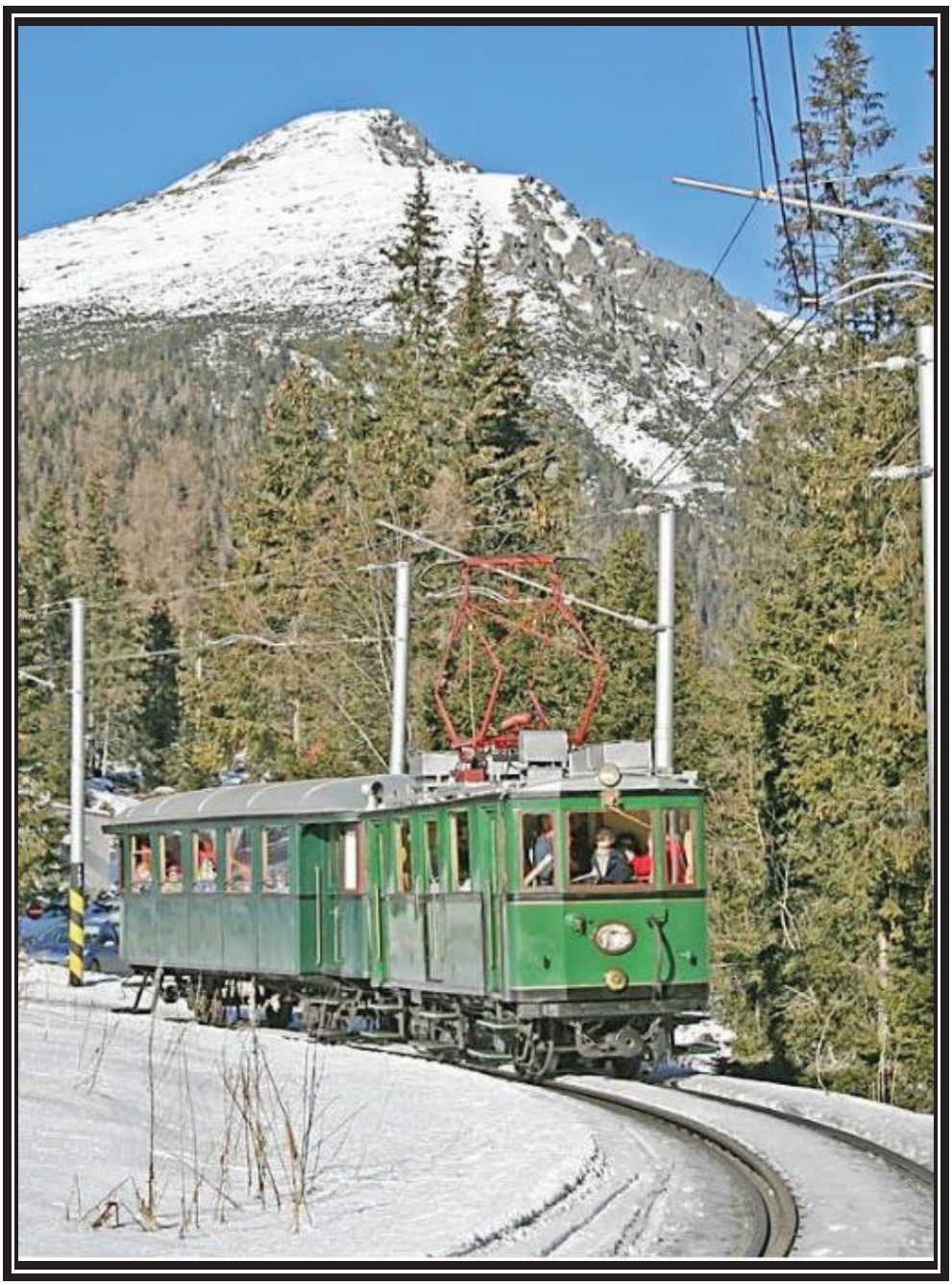
♠ ♠ ♠

Resumé

Traťová diagnostika pojezdu kolejových vozidel se obvykle realizuje zejména za účelem ochrany železničního svršku před dynamickým zatížením od poruch pojezdu – zejména dvojkolí. Příspěvek popisuje HW a SW řešení systému wayside diagnostiky pojezdu, vyvinuté v projektu DiPo. Zařízení je již delší sobu v každodenním provozu na trati metra v Praze, kromě toho je instalováno na jednom místě na síti Správy železnic. Na základě zkušeností jsou popsány některé poruchy kol a jejich projevy v diagnostickém systému. Závěrem jsou zdůvodněny přínosy výsledků traťové diagnostiky v údržbě vozidel a dohledu nad jejich technickým stavem.

Summary

Wayside diagnostics of running gear of rail vehicles is usually implemented in order to protect the track from increased dynamic loads resulting from faulty running gear – in particular wheelsets. The paper describes the HW and SW solutions of the wayside diagnostic system developed in the project „DiPo“. The equipment has been used in everyday operation in Prague metro for some time and it has also been installed at the main line of the Czech infrastructure manager. Based on experience from operation, this paper describes selected wheel defects and their effect in the diagnostic system. The paper is concluded by justification of the benefits of the wayside diagnostic system for rail vehicle condition monitoring and maintenance.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.43

VLIV POVĚTRNOSTNÍCH PODMÍNEK NA HLUKOVÉ PROJEVY A SOUČINITEL TRAKCE V TRAŤOVÝCH OBLOUCÍCH MALÝCH POLOMĚRŮ

INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE NOISE AND THE TRACTION COEFFICIENT IN CURVES WITH A SMALL RADIUS

Martin VALENA, Milan OMASTA, Martin HARTL[*)]

1 ÚVOD

Kolejová doprava je velmi rozšířený způsob přepravy nejen cestujících, ale i nákladu, a to zejména kvůli její nízké energetické náročnosti a velkým přepravním kapacitám. Má ovšem i své stinné stránky. Jednou z nich je hluk generovaný při průjezdu traťovým obloukem, tzv. kvílivý hluk. Ten může pocházet z kontaktu na temeni kolejnice (tzv. squealing) nebo z kontaktu na pojížděné hraně kolejnice (tzv. flanging). Kvílivému hluku je vystaveno 12 % obyvatel Evropy, tedy 1,5 milionu lidí.

Kvílivý hluk ovlivňuje velké množství parametrů, což zapříčiňuje jeho obtížnou predikci, a to, že se objevuje pouze s určitou pravděpodobností [1]. Mezi hlavní parametry, které jej ovlivňují, patří teplota, vlhkost, rychlost vozidla, geometrie trati a opotřebení kola a kolejnice [2]. Jedním z mechanismů vzniku je tzv. „stick-slip“ efekt, který je způsoben negativní trakční křivkou – pro nízké skluzy součinitel trakce roste a po dosažení bodu saturace začne klesat. Po dosažení maximální trakce, kterou je kontakt schopen přenést, dojde k prokluzu, čímž se sníží i trakce pod maximum a kolo se znovu začne odvalovat. Periodické střídání fáze skluzu a lpění způsobí vibrace kola, které se dále šíří ve formě hluku.

Výzkum provedený v Rakousku studoval vliv teploty a relativní vlhkosti na četnost výskytu kvílivého hluku a jeho akustický výkon [3]. Z výsledků vyplývá, že četnost klesá s rostoucí teplotou a tento vliv je markantnější u hluku od okolku. Akustický výkon rovněž klesal. Vliv vlhkosti není monotónní a maximum četností výskytu se objevuje v okolí 70% vlhkosti. Po překročení této hodnoty četnost klesá ve všech případech. Při vlhkosti pod 70 % teplota kolejnice definuje, jestli četnost výskytu bude rostoucí nebo klesající. Obecně lze říci, že akustický výkon roste se zvyšující se vlhkostí, pokud teplota kolejnice přesahuje 10 °C. Z výsledků studie [4] vyplývá, že rostoucí vlhkost zvyšuje šanci výskytu hluku, pokud je teplota nad 10 °C a v případě nižší teploty je tomu obráceně.

[*)] **Ing. Martin VALENA,** Ústav konstruování, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika, Tel.: +420 541 143 209, e-mail: Martin.Valena@vut.cz.

Ing. Milan OMASTA, Ph.D., Ústav konstruování, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Tel.: +420 541 143 323, e-mail: omasta@fme.vutbr.cz.

prof. Ing. Martin HARTL, Ph.D., Ústav konstruování, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Tel.: +420 541 142 769, e-mail: Martin.Hartl@vut.cz.

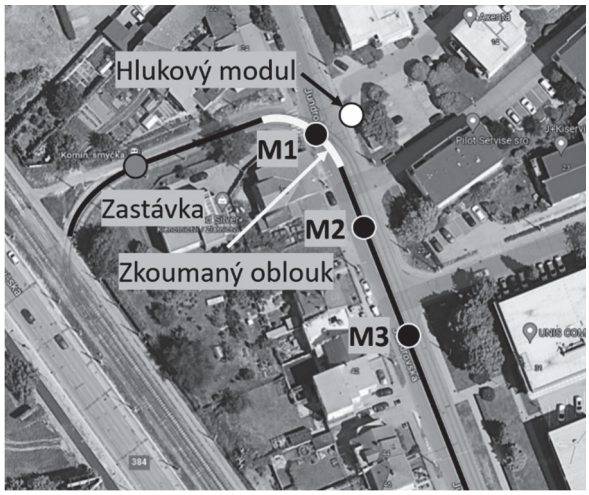
Vliv povětrnostních podmínek na součinitel trakce je studován zejména v laboratoři na zařízeních s čistě skluzovým nebo valivě-skluzový kontaktem. Studie [5] ukazuje, že součinitel trakce klesá se zvyšující se relativní vlhkostí u všech testovaných teplot (1-50 °C). Testy byly provedeny na očištěných vzorcích. V reálném provozu jsou na kolejnici přítomny částice opotřebení, které se simulují přidáním oxidů železa do kontaktu [6]. Tyto oxidy taktéž vedou na nižší součinitel tření za vyšších vlhkostí. Byl zde i zkoumán vliv teploty a ukázalo se, že došlo ke snížení součinitele tření, pokud se zvýšila teplota okolí.

Cílem studie je stanovit vliv povětrnostních podmínek na hluk generovaný při průjezdu tramvaje traťovým obloukem o malém poloměru a také na součinitel trakce měřený přímo na místě. Dále budou stanoveny korelační součinitele pro hlavní závislosti a vazba mezi součinitelem trakce a délkou trvání hluku z temena kolejnice, jakožto hlavním parametrem charakterizující hluk.

2 MATERIÁL A METODY

2.1 Měřící místo

Předmětem studie byla tramvajová smyčka v městské části Brno-Komín, zejména tedy její oblouk na vjedu do zastávky, který má poloměr 21 m a částečně leží ve vozovce, jak je vidět na ***obr. 1***. V době provádění měření v období od 27. 4. do 29. 4. 2023 byla linka obsluhována obousměrnou tramvají KT8, jež místem projížděla v 15minutových intervalech, vždy po levé koleji (vnitřní oblouk). Konkrétní vozidlo zde jezdilo po celou dobu měření, každý den od 4:45 do 22:45.



Obr. 1 *Měřící místo*
Fig. 1 *Place of interest*

Komunikace, ve které je umístěn tramvajový pás, byla vytížena minimálně. Z toho důvodu nedocházelo k téměř žádnému ovlivnění měření.

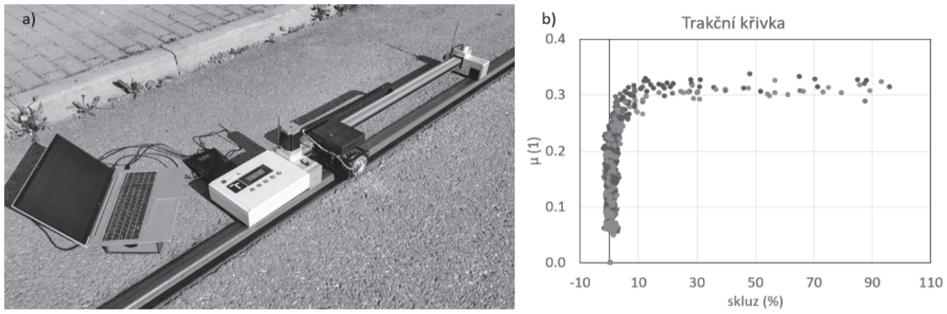
Nájezdová rychlost, která je dostupná z tachografu kolejového vozidla, nebyla v této studii vyhodnocována. V předmětném oblouku je její odchylka obecně relativně malá.

2.2 Stanovení trakčních podmínek na trati

Ke studiu trakčních podmínek na trati byl využit nově vyvinutý traťový tribometr (BUT Rail Tribometer, viz. ***obr. 2 a***), který umožňuje stanovit trakční křivku (viz. ***obr. 2 b***). Traťový tribometr pracuje na principu řízeného brzdného momentu, jenž ovlivňuje skluz v kontaktu, který je měřen dvojicí enkodérů. Průběh brzdného momentu závisí na nastaveném měřícím módu – konstantní, rostoucí rampa, klesající rampa a pulzní. Zařízení umožňuje provádět měření za kontaktního tlaku 0,8 – 1 GPa, který je vytvářen hmotností měřícího modulu a závaží. Traťový tribometr se skládá z rámu s lineárním vedením, jehož konce jsou osazeny magnetickými základnami, pomocí kterých se zařízení připevňuje ke kolejnici. Další hlavní součástí je měřící modul obsahující měřící kolo, brzdu a momentový snímač zaznamenávající brzdný moment.

Byla zvolena tři měřící místa M1–M3 (viz. ***obr. 1***) na levé koleji vzdálená 30 m od sebe a jedno referenční na pravé koleji (stejná pozici jako M1), kde se provedlo měření na začátku a konci dne. Na všech místech bylo měření prováděno na levé i pravé kolejnici, a to z důvodu zaznamenání případných rozdílů mezi kolejnicemi. Měřící kolo traťového tribometru bylo před prvním měřením očištěno; v průběhu dne již čištění neprobíhalo. Ve všech měřeních byl využit mód „rostoucí rampa“ a měřící modul prováděl pohyb v obou směrech. Pokaždé tedy bylo provedeno 12 průjezdů (6 v každém směru), ze kterých byla složena výsledná trakční křivka. Typická trakční křivka je zobrazena na ***obr. 2 b***).

Pro snazší porovnání výsledků byla z každé trakční křivky stanovena průměrná hodnota součinitele trakce, a to jako medián v intervalu skluzu 5 až 15 %, což odpovídá oblasti saturace trakční křivky.



Obr. 2 *a) Traťový tribometr, b) Trakční křivka*

Fig. 2 *a) BUT Rail Tribometer, b) Traction curve*

2.3 Měření a hodnocení hlukových projevů

Pro autonomní monitorování hlukových projevů byl použit hlukový modul, který byl umístěn na sloupu trolejového vedení ve vzdálenosti 11 m od středu oblouku a výšce 4 m. Hlukový modul obsahoval IEPE mikrofon třídy 2 a průmyslový automat, který v reálném čase zpracovával FFT analýzu dat pro rozlišení ve frekvenční oblasti. Akustický tlak byl automaticky vyhodnocován v následujících frekvenčních pásmech, která byla stanovena na základě referenčních měření při průjezdu vozidla:

- Širokopásmový hluk – 20 Hz – 10 kHz
- Hluk z temene („kvílení“) – 500 – 650 Hz
- Hluk od okolku („skřípání“) – 3800 – 5800 Hz

K vytvoření zápisu v každém frekvenčním pásmu došlo pokaždé, pokud byla překročena jistá prahová hodnota (hluk od temene 60 dB a od okolku 50 dB) a doba trvání hluku 0,3 s. V jednotlivých frekvenčních pásmech byla vyhodnocena střední efektivní hladina akustického tlaku, maximální hladina akustického tlaku a doba trvání hlukového projevu.

Vedle hlukových dat modul každou minutu zaznamenával povětrnostní podmínky, tedy teplotu a relativní vlhkost vzduchu a přítomnost deště. Dále byly využity informace o průjezdech tramvají z monitorovacího zařízení výhybky předřazené 200 m před obloukem. Z dat byl stanoven čas průjezdu, číslo tramvaje a kolej, po které souprava projížděla.

Po získání dat bylo nutné propojit jednotlivé průjezdy tramvají s údaji o hluku a povětrnostních podmínkách. Nejprve byla ke každému hlukovému záznamu přiřazena teplota, relativní vlhkost a déšť podle nejbližšího času. Maximální rozdíl, který mohl nastat, je 30 s, což je z pohledu vývoje počasí zanedbatelné. Po průjezdu tramvaje výhybkou bylo stanoveno 5minutové okno a všechny hlukové záznamy spadající do tohoto okna byly přiřazeny danému průjezdu. Standardně jeden průjezd obsahoval několik hlukových

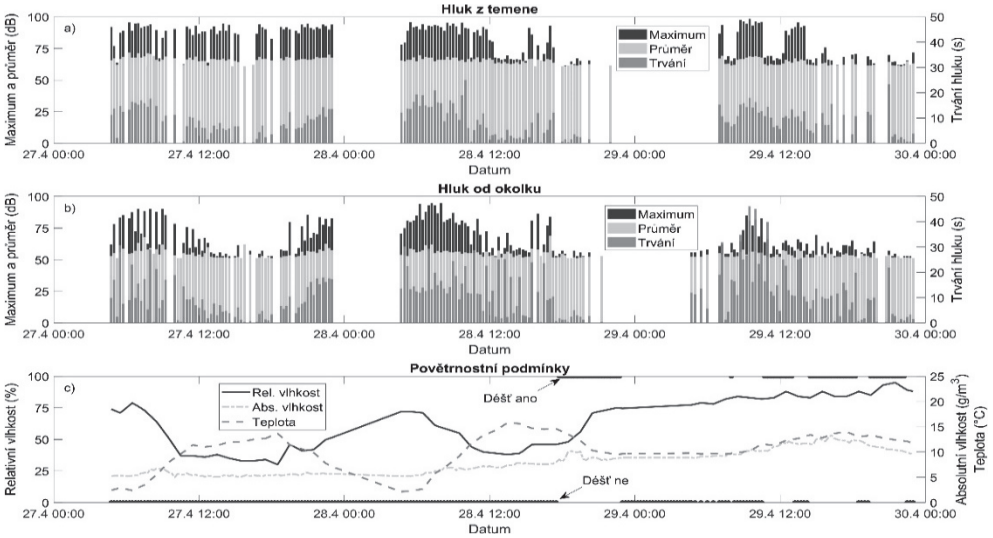
záznamů, neboť hluk není generován nepřetržitě po celý čas průjezdu obloukem, ale pouze v jistých oddělených intervalech.

Záměrem bylo vytvořit jeden záznam, který bude odpovídat jednomu průjezdu tramvaje, a proto byla využita agregace dílčích hlukových záznamů. Sloučené parametry teplota, vlhkost a déšť byly aritmetickým průměrem dílčích. Celková doba trvání tvořila součet jednotlivých dob trvání. Maximální efektivní hladina akustického tlaku byla získána výběrem nejvyšší hodnoty této hladiny ze všech záznamů. Průměrná efektivní hladina akustického tlaku byla stanovena kvadratickým průměrem hladin jednotlivých záznamů.

3 VÝSLEDKY A DISKUSE

3.1 Vliv povětrnostních podmínek na hluk

Obr. 3 zobrazuje zaznamenané parametry v průběhu tří dnů a dává ucelenou představu o tom, jak se v průběhu dne vyvíjí. Horní graf a) odpovídá hluku z temene, prostřední b) hluku z okolku a spodní c) zobrazuje povětrnostní podmínky. Průměrná efektivní hladina akustického tlaku se v obou případech téměř nemění a nelze ji považovat za vhodný parametr charakterizující hluk. Oproti tomu, délka projevu se jeví lépe, neboť reaguje na změny povětrnostních podmínek. U hluku od okolku se mění i maximální efektivní hladina akustického tlaku. V případě hluku z temene dochází k výrazné redukci maximálních hodnot za deště a k jejich okamžitému zvýšení, jakmile déšť ustane, což je patrné z grafu a) den 29.4. Hluk od okolku ovšem nemá tak silnou závislost na dešti, ale reaguje na změny relativní vlhkosti a teploty.



Obr. 3 *Vývoj sledovaných parametrů v čase a) hluk z temene, b) hluk od okolku, c) povětrnostní podmínky*

Fig. 3 *Development of parameters in time a) squeal noise, b) flange noise, c) weather conditions*

Porovnáním výsledků získaných v průběhu tří dnů s dlouhodobým monitoringem Malého [3] lze nalézt jistou podobnost. Malý totiž sledoval akustický výkon a nikoli hladiny akustického tlaku a doby trvání. Pokud ale přijmeme předpoklad, že se jedná o charakteristické parametry hluku, tak lze konstatovat, že závislosti na teplotě a relativní vlhkosti jsou shodné z pohledu monotónnosti.

***TAB. 1** Korelační koeficienty hlavních závislostí*
***TABLE 1** Correlation coefficients of the main dependencies*

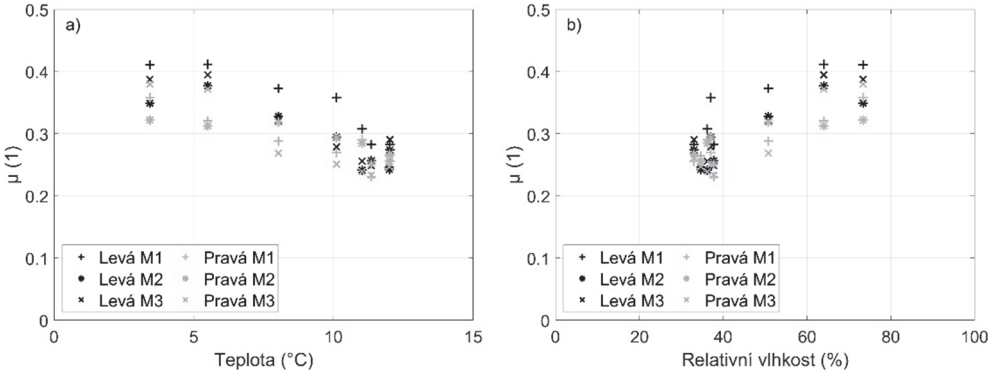
	Hluk z temene		Hluk od okolku	
	Doba trvání (s)	Maximální hladina (dB)	Doba trvání (s)	Maximální hladina (dB)
Relativní vlhkost (%)	0,6236	0,2540	0,3687	0,6437
Absolutní vlhkost (g/m^3)	-0,1674	-0,4547	0,1707	0,0248
Teplota (°C)	-0,6292	-0,4403	-0,2728	-0,5912

Povětrnostní podmínky (především vlhkost vzduchu) ovlivňují kromě samotné intenzity vznikajícího zvuku také jeho šíření do okolí. Proto byla vedle hladiny akustického tlaku hodnocena také doba trvání jednotlivých hlukových událostí, která je šířením zvuku prakticky nedotčena, a přitom je významná z hlediska negativního vnímání hluku.

Je třeba zdůraznit, že měření a vyhodnocení hluku neprobíhalo záměrně podle norem pro měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly (zejména ČSN EN ISO 3095 (280350)), a to zejména z pohledu použitých měřicích přístrojů, umístění mikrofonu a použití třetinooktávových pásem. Cílem bylo umožnit dlouhodobé autonomní monitorování hluku v místech, kde jsou tyto projevy negativně vnímány, a stanovit parametry vyjadřující intenzitu hlukových projevů s ohledem na tonální a často impulzní/krátkodobé působení.

3.2 Vliv povětrnostních podmínek na součinitel trakce

Obr. 4 a) zobrazuje součinitel trakce vykreslený v závislosti na teplotě a b) na relativní vlhkosti. Barevně jsou odlišeny koleje (levá a pravá) a symboly se liší jednotlivá místa měření. Levá kolej ve všech případech vykazovala vyšší součinitel adheze, což může být dané větším zajetím z důvodu prokluzu vnitřního kola v oblouku. Rozdíly mezi jednotlivými místy nejsou velké, zejména v případě pravé kolejnice.



***Obr. 4** Vliv povětrnostních podmínek na μ a) Teplota, b) Relativní vlhkost*
***Fig. 4** Effect of weather conditions on μ a) Temperature, b) Relative humidity*

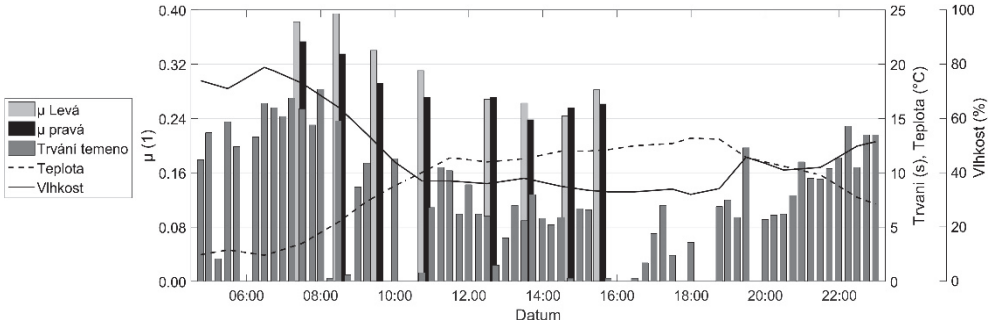
Graf a) ukazuje klesající závislost na teplotě, což je v souladu s pozorováními provedenými v laboratoři [5, 6]. Oproti tomu graf b) zobrazuje rostoucí součinitel trakce v závislosti na relativní vlhkosti. To je ovšem obrácený trend, než je popsaný v literatuře [5, 6]. Ve studiích se ke zvýšení relativní vlhkosti využilo přidávání vodních par a tím došlo i ke zvýšení absolutní vlhkosti. V průběhu experimentů byla držena konstantní teplota. Z ***obr. 3*** a) je ovšem patrné, že absolutní vlhkost se v průběhu měření téměř neměnila, což je hlavní

rozdíl oproti uvedeným studiím. Na základě to lze vyvodit, že relativní vlhkost se mění v důsledku změny teploty, a proto vykazuje rozdílný trend. Z toho důvodu lze považovat změnu teploty jako hlavní příčinu změny součinitele trakce. Korelační koeficient pro závislost na teplotě je -0,835 a na vlhkosti 0.816.

3.3 Souvislost mezi součinitelem trakce a délkou trvání hluku z temene

Obr. 5 vykresluje průběh délku hluku od okolku spolu s teplotou, relativní vlhkostí a součinitelem trakce ze dne 27.04.2023. Doba trvání nejprve roste, kolem 8. hodiny dosáhne svého maxima a následně pozvolna klesá až do 16. hodiny. Tento pokles byl změřen i u součinitele trakce na obou kolejnicích. Na základě záznamů o přejezdech stanic [7] lze usuzovat, že součinitel trakce bude v časných ranních hodinách nižší, a tedy bude mít podobný průběh jako délka trvání. Vyšším součinitelem trakce vznikne větší příčná síla, která vybudí silnější vibrace kola, jež se projeví delším trváním hluku.

Jedná se pouze o jeden měřící den, a závěry z něj mají omezenou platnost, což je největší limitace této studie. Na druhou stranu ukazuje zajímavé souvislosti, které by měly být podrobeny dlouhodobějšímu sledování.



Obr. 5 *Denní záznam trvání hluku z temene a součinitele trakce*

Fig. 5 *Daily record of noise duration and traction coefficient*

4 ZÁVĚR

Studie se zabývala vlivem povětrnostních podmínek na hluku z temene i okolku a na součinitel trakce. Ke sledování hluku, teploty a relativní vlhkosti, které probíhalo na konci dubna, byl využit hlukový modul. Součinitel trakce byl měřen pomocí traťového tribometru. Z výsledků plynou následující závěry:

- Hluk z temene je nejlépe charakterizovaný délkou projevu, která se s rostoucí relativní vlhkostí prodlužovala a zkracovala s rostoucí teplotou.
- Hluk od okolku je charakterizovaný i maximální hladinou akustického tlaku a vykazuje stejné trendy jako hluk z temene.
- Maximální hladina akustického tlaku z temene výrazně klesá za deště, ovšem u okolku tento jev není tak výrazný.
- Zásadnější vliv na hluk má teplota než relativní vlhkost, neboť absolutní vlhkost nevykazovala výraznější změny.
- Součinitel trakce klesal s rostoucí teplotou.
- Součinitel trakce vykazuje stejný trend jako délka trvání hluku z temene.

Další výzkum by měl být zaměřen na delší časové období, ve kterém bude hluk monitorován, tak aby obsáhl větší rozptyl povětrnostních podmínek. Vedle toho by měl být sledován součinitel trakce v průběhu celého dne, což by pomohl objasnit jeho vývoj v brzkých ranních a večerních hodinách. Pro ověření poznatků by bylo vhodné měření provést ve více dnech a ročních obdobích.

Výzkum byl realizován v rámci projektu *Národní centrum kompetence inženýrství pozemních vozidel Josefa Božka* (TN02000054), který je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Národní centra kompetence

Literatura

[1] Müller, B. a J. Oertli.: Combating Curve Squeal: Monitoring existing applications. Journal of Sound and Vibration. 2006, roč. 293, č. 3–5, s. 728–734. ISSN 0022-460X. [2] **Iwnicki, S., M. Spiryagin, C. Cole a T. Mcsweeney**.: Handbook of Railway Vehicle Dynamics. B.m.: CRC Press, 2019. ISBN 9780429469398. **[3] Maly, T., F. Biebl a M. Ostermann**. The effects of weather conditions and wheel wear on curve squeal. Proceedings of the International Congress on Acoustics. 2019, s. 1559–1566. ISSN 24151599. **[4] Eriksson, O., P. Torstensson, A. Pieringer, R. Nilsson, M. Höjer, M. Asplund a A. Świerkoska**. Statistical analysis of curve squeal based on long-term onboard noise measurements. V: 21st Nordic Seminar on Railway at Technology Tampere University. 2022. **[5] Galas, R, M. Omasta, L. Shi, H. Ding, W. Wang, I. Krupka a M. Hartl**. The low adhesion problem: The effect of environmental conditions on adhesion in rolling-sliding contact. *Tribology International*. 2020, roč. 151. ISSN 0301679X. **[6] Lewis, S. R., R. Lewis, U. Olofsson, D. T. Eadie, J. Cotter a X. Lu**. Effect of humidity, temperature and railhead contamination on the performance of friction modifiers: Pin-on-disk study. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2013, roč. 227, č. 2, s. 115–127. ISSN 0954-4097. **[7] White, B. T., R. Nilsson, U. Olofsson, A. D. Arnall, M. D. Evans, T. Armitage, J. Fisk, D. I. Fletcher a R. Lewis**. Effect of the presence of moisture at the wheel-rail interface during dew and damp conditions. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F-Journal of Rail and Rapid Transit. 2018, roč. 232, č. 4, s. 979–989. ISSN 0954-4097.

♠ ♠ ♠

Resumé

Hluk kolejové dopravy je nežádoucím projevem, který snižuje kvalitu života zejména v obydlených oblastech. Především tonální projevy, které vznikají při jízdě traťovým obloukem, jsou velmi negativně vnímány. Cílem této práce je objasnit vliv provozních a povětrnostních podmínek na hlukové projevy v traťovém oblouku tramvajové dráhy a porovnat tyto výsledky s měřením součinitele trakce. Hluk byl sledován dlouhodobě pomocí modulu zaznamenávající délku hluku a hladinu akustického tlaku ve dvou frekvenčních pásmech, které odpovídají hluku od okolku a temene. Součinitel trakce byl měřen v průběhu jednoho dne pomocí traťového tribometru. V příspěvku jsou diskutovány jednotlivé vlivy na hluk z temena kolejnice a okolku, které jsou následně korelovány se součinitelem trakce.

Summary

Railway noise is an unwanted side effect of rail transport that reduces the quality of life in populated areas. In particular, the tonal squeal, generated when a vehicle passes through a curve, is perceived negatively. The aim of this paper is to clarify the influence of operational and weather conditions on a noise from the tramway track curve and to compare these results with the measurement of the traction coefficient. The noise was monitored over a long period using a module that records the noise duration and sound pressure level in two frequency bands, corresponding to squeal and flange noise. The traction coefficient was measured during one day using a track tribometer. The paper discusses the individual effects on squeal and flange noise, which are then correlated with the traction coefficient.


T5233

26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.44

SNÍŽENÍ OPOTŘEBENÍ KOL A KOLEJNIC POMOCÍ AKTIVNÍHO VEDENÍ DVOJKOLÍ U ČLÁNKOVÉ TRAMVAJE

REDUCING WHEEL AND RAIL WEAR WITH ACTIVE WHEELSET STEERING ON ARTICULATED TRAMS

Jan VRBA[*)]

1 ÚVOD

Městské tramvajové tratě vedoucí zejména centry měst jsou často z historických důvodů tvořeny směrovými oblouky s velmi malými poloměry (méně než 25 metrů). Oblouky s ještě menšími poloměry (okolo 15 metrů) lze často nalézt také v depech. Při průjezdu vozidla oblouky s takto malými poloměry dochází k vyčerpání příčných vůlí dvojkolí v koleji a ke vzniku velkých skluzových sil v kontaktu kola a kolejnice. Tyto podélné a příčné síly vedou k nežádoucím jevům v podobě vysokého opotřebení kol a kolejnic a emisím hluku a vibrací. Opotřebení kol a kolejnic má za následek velké náklady jak pro správce infrastruktury, tak provozovatele vozidel. Reprofilace kol, kterou je nutné pravidelně provádět kvůli opotřebení jejich jízdního profilu, a následná výměna obručí kol jsou největším nákladem při údržbě tramvajových vozidel a zásadně se tak podílí na servisní složce nákladů životního cyklu vozidla.

Tratě s oblouky o velmi malých poloměrech také limitují nasazení určitých koncepcí moderních vozidel na tyto tratě, zejména pak článkových tramvají s neotočnými podvozky. Článkové tramvaje s neotočnými podvozky přitom mají mnoho výhod oproti koncepcím s podvozky otočnými, jako je nižší cena, vyšší přepravní kapacita, prostornější interiér nad podvozky či lepší dynamické chování při vyšších rychlostech. Pokud by bylo možné redukovat jejich zásadní nevýhodu, kterou je vyšší opotřebení kol a kolejnic při průjezdu oblouky, lze předpokládat snížení nákladů na tramvajovou dopravu a zvýšení komfortu pro cestující.

Zlepšení průjezdu tramvaje i kolejových vozidel obecně směrovými oblouky malých poloměrů je věnována po dlouhá desetiletí velká pozornost výzkumníků i projektantů vozidel po celém světě. Zatímco v minulosti byla pozornost věnována zejména úpravám čistě mechanickým, v dnešní době se pozornost obrací k aktivně řízeným prvkům v pojezdu kolejového vozidla, pomocí kterých můžeme příznivě ovlivnit jeho interakci s tratí.

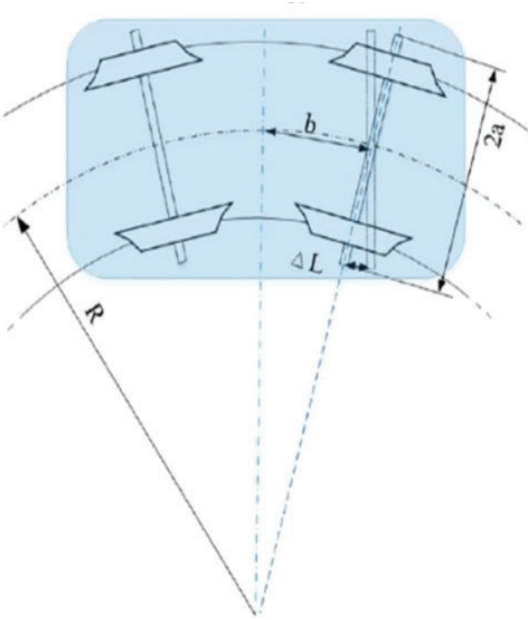
V posledních letech došlo k představení několika zajímavých nových technologií využití aktivních prvků pro natáčení dvojkolí do oblouku. Za zmínku stojí zejména systém LiCAS společnosti Liebherr, který pomocí aktuátoru umístěného v kloubu kyvného ramena vedoucího dvojkolí a rámu podvozku natáčí dvojkolí do oblouku [1,2]. Dle dostupných informací je tento systém, i většina dalších výzkumů, však orientována na klasickou železnici. Výjimku tvoří například výzkum v oblasti aktivního natáčení dvojkolí tramvaje

[*)] **Ing. Jan VRBA**, doktorand ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel, Technická 4, 160 00 Praha 6., e-mail: vrba@fs.cvut.cz, (školitel doc. Ing. Josef Kolář, CSc.).

společnosti Hyundai Rotem či švýcarský start-up Traila [3] se svou koncepcí aktivně vedeného jednonápravového tramvajového podvozku. [4]

Potenciál aplikace technologie aktivního vedení dvojkolí na tramvajová vozidla je však dle názoru autora značný vzhledem k malým poloměrům směrových oblouků, dále jen oblouků, které vozidla musejí často projíždět, i vzhledem k provedení velkého množství tramvají s neotočnými podvozky. Lze se také domnívat, že vzhledem k velkému pokroku v technologiích směřujících k autonomnímu provozu tramvají, jako je například antikolizní systém či využití digitálního dvojčete vozidla, bude možné redukovat prozatím trvající obavy o bezpečnost, robustnost či cenu technologie aktivního vedení dvojkolí.

2 KONCEPT PROVOZU



Obr. 1 *Výpočet výsunu aktuátoru při průjezdu obloukem [5]*

Fig. 1 *Calculation of the actuator stroke when passing through a curve [5]*

Pro aktivní natáčení dvojkolí tramvaje je uvažováno s dopředným řízením aktuátorů v podvozku vozidla. Jako vstupní veličiny algoritmu řídicího výsun aktuátorů slouží poloměr oblouku *R* a rychlost vozidla. Natočení dvojkolí do oblouku je dáno výsunem aktuátoru, 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 ***obr. 1***.

$$\Delta L = \frac{a \cdot b}{R} \tag{1}$$

Rychlost vozidla je s dostatečnou přesností měřena již na dnešních vozidlech. Poloměr oblouku je pak na základě polohy vozidla na trati získáván z databáze trati, která je nahrána ve vozidle. Databáze trati obsahuje informace o jednotlivých úsecích projížděné trati a může být získána například speciálním měřicím zařízením, kterým je trať projeta, a naměřená data jsou následně zpracována do databáze a nahrána do vozidla.

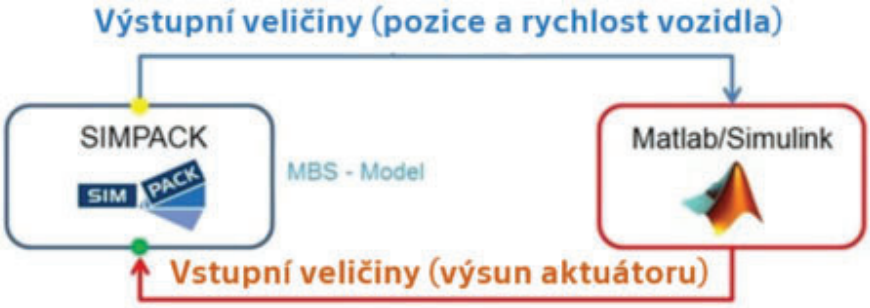
Poloměr oblouku je tedy získáván na základě lokalizace vozidla na trati. Dostatečně přesné určení polohy vozidla na trati v městském prostředí může být problematická, nicméně lze předpokládat, že v dnešní době již technologie pokročila dostatečně k dosažení potřebných přesností. Využito může být například určování polohy na základě high definition (HD) map v kombinaci s globálním navigačním satelitním systémem (GNSS) a odometrií. Tyto zdroje mohou být pak pro dosažení vyšší přesnosti a robustnosti lokalizace kombinovány přes Kalmanův filtr. Jinou možností může být například využití odometrie a technologie radiofrekvenční identifikace (RFID). [6]

Vzhledem k bezpečnostním rizikům a rizikům zvýšeného opotřebení kol a kolejnic v případě špatné hodnoty vstupní veličiny (poloměru oblouku) do algoritmu řídicího natáčení dvojkolí je vhodné tuto veličinu ověřit z více nezávislých zdrojů. Tento přístup je dlouhodobě aplikován například v leteckém průmyslu. Z tohoto důvodu se jeví jako vhodné, aby poloměr

nadcházejícího oblouku byl ověřován pomocí senzoriky na čele vozidla (LiDAR, kamera). Řídicí systém bude schopný z dat získaných ze senzoriky na čele vozidla detekovat kolejnicové pásy a vypočítat poloměr oblouku. Tato technologie je dostupná již v dnešní době [7]. Takto získaný poloměr oblouku bude tedy porovnán s hodnotou v databázi trati, a pokud se hodnoty výrazněji nebudou shodovat, nedojde k natočení aktuátoru a vozidlo projede úsek sníženou rychlostí s aktuátory v nominální poloze. Lze předpokládat, že výše zmíněné senzory na čele vozidla budou na vozidle umístěny primárně za jiným účelem (např. antikolizní systém) a nedojde tak ke zvýšení ceny systému aktivního natáčení.

3 MBS VÝPOČET

Pro validaci navrženého konceptu aktivního natáčení byl v 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 aktuátoru. Princip kosimulace zobrazuje ***obr. 2***.



Obr. 2 *Princip kosimulace využité k MBS výpočtům*

Fig. 2 *The principle of cosimulation used for MBS calculations [8]*

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

$$\boldsymbol{W = T_x \cdot v_x + T_y \cdot v_y + M_z \cdot \varphi_z,} \tag{2}$$

kde T_x je podélná skluzová síla, T_y je příčná skluzová síla, v_x je podélný poměrný skluz, v_y je příčný poměrný skluz, M_z spinový moment a φ_z poměrný spin, který je u kuželového profilu kola roven úhlu natočení kola kolem osy z. Jednotkou čísla opotřebení je Newton. Při integraci indexu opotřebení po délce tratě lze dostat energii disipovanou v kontaktu kolo-kolejnice.

3.1 Model vozidla

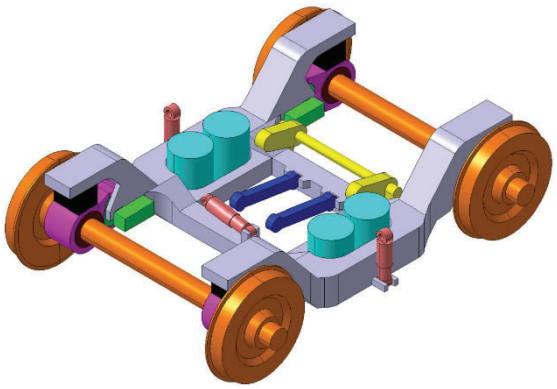
Pro vývoj systému aktivního natáčení bylo vybráno vozidlo koncepce „multigelenk“ tedy vozidlo s pěti články a třemi neotočnými podvozky. Takováto koncepce tramvaje odpovídá jednoznačně nejčastějšímu řešení moderních článkových nízkopodlažních tramvají ve světě. Toto řešení tramvaje se také jeví jako nejvýhodnější pro aplikaci technologie aktivního natáčení, jelikož radiální stavění dvojkolí do oblouku může výrazně zlepšit problémy tohoto vozidla při průjezdu oblouky malých poloměrů, jako jsou velké příčné síly v kontaktu kolo-kolejnice či emise hluku a vibrací. Naopak výhody vozidla, kterými jsou zejména vysoká kapacita, širší ulička nad podvozky, nižší cena oproti vozidlům s otočnými podvozky zůstanou zachovány.

Základní parametry tramvaje pro vytvoření multi-body dynamics simulation (MBS) modelu vozidla na ***obr. 3*** jsou shrnuty v ***TAB 1***. Parametry tramvaje byly určeny na základě základních koncepčních výpočtů, zkušeností autora a z veřejně dostupných zdrojů [9].

TAB. 1 *Základní parametry MBS modelu vozidla*

TABLE 1 *Basic parameters of the MBS vehicle model*

Hmotnost vozidla (ELE / EL4)	44,8 / 56,8 t	Podélná a vertikální tuhost silentbloku kyv. ramene	25 kN/mm
Vertikální tuhost pružiny sekundárního vypružení	500 N/mm	Příčná tuhost silentbloku kyvného ramene	5 kN/mm
Příčná a podélná tuhost pružiny sek. vypruž.	300 N/mm	Torzní tuhost silentbloku kyvného ramene	60 Nm/deg
Příčné a podélné tlumení sekundárního vypružení	29 000 Ns/mm	Tlumení pružiny primárního vypružení	5000 Ns/m
Celková torzní tuhost torzního stabilizátoru	600 kNm/rad	Příčné tlumení pružiny primárního vypružení	300 Ns/mm
Vertikální tuhost pružiny primárního vypružení	2 200 N/mm	Podélné tlumení pružiny prim. vypružení	600 Ns/mm
Podélná tuhost pružiny primárního vypružení	200 N/mm	Rozvor podvozku (*2b* dle ***Obr. 1***)	1 800 mm
Příčná tuhost pružiny primárního vypružení	60 N/mm	Příčná báze umístění aktuátorů (*2a* dle ***Obr. 1***)	1 170 mm



Obr. 3 *Zjednodušený model podvozku pro MBS výpočty*

Fig. 3 *Simplified bogie model for MBS calculations*

Podvozek je řešen jako neotočný, s vedením dvojkolí pomocí kyvného ramena. 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 LiCAS [1,2]. Primární vypružení je uvažováno pomocí pryžokovových pružin. Základní parametry vypružení jednotlivých částí podvozku jsou shrnuty v ***TAB. 1***. Rychlost výsuvu aktuátoru je uvažována 7 mm/s dle [2]. Model aktuátoru nebyl pro dále představené simulace více rozpracován a bude zpřesňován v dalších fázích výzkumu. Maximální hodnota výsuvu aktuátoru nebyla omezena.

3.2 Model trati

Aby bylo dosaženo co nejpřesnějšího odladění a nastavení algoritmu řídicího aktivní prvky v pojezdu tramvaje byla pro dynamické simulace vytvořena mapa trati, která svým profilem odpovídá reálné tramvajové trati. Jako vhodná trať pro zkoušení algoritmu aktivního natáčení byla zvolena pražská tramvajová trať Václavské náměstí – Národní Divadlo – Újezd - Sídliště Řepy. Tuto trať lze považovat za reprezentanta klasické tramvajové trati, která vede z periferie do centra města, a je na ní velká přepravní poptávka.

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). 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. Horizontální i vertikální profil trati byl v SW Simpack vytvořen na základě výkresů trati získaných od Dopravního podniku hl. města Prahy (DPP). Délka úseku převedeného do programu Simpack je 10 641 metrů. Horizontální profil trati z hlediska délky oblouků různých poloměrů a k nim příslušných přechodnic zobrazuje ***TAB. 2***.

TAB. 2 *Horizontální profil trati – zastoupení oblouků a přechodnic*

TABLE 2 *Horizontal profile of the line - distribution of curves and transitions*

Interval poloměrů [m]	Délka oblouků [m]	Délka přechodnic [m]
R20 – R30	103	0
R30 – R50	67	30
R50 – R80	183	53
R80 – R150	318	188
R150 – R300	798	363
R300 - R600	1227	252
R600 - R1000	331	92
> R1000	590	11
Přímá trať	6035	

3.3 Okrajové podmínky MBS simulací

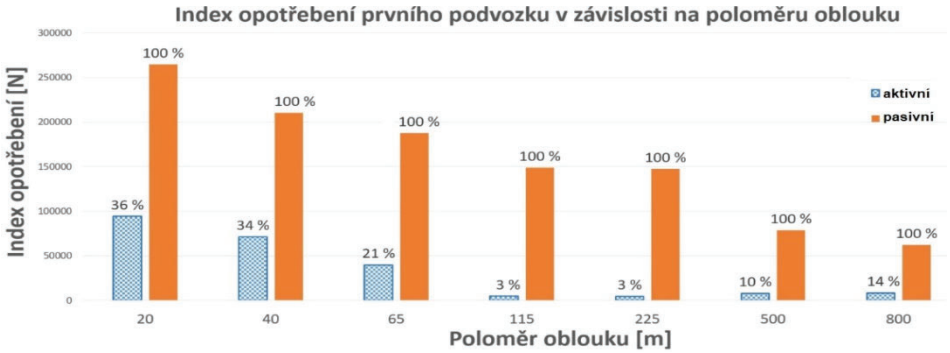
Simulace průjezdu vozidla zkušební tratí či jednotlivými oblouky byly vždy provedeny vícekrát za různých okrajových podmínek výpočtu, aby bylo možné určit jejich vliv na snížení opotřebení kol při porovnání pasivního a aktivního vedení dvojkolí. Simulace jízdy vozidla daným úsekem tak byla provedena vždy celkem 16 krát. Simulován byl průjezd vozidla úsekem za různé kombinace okrajových podmínek jak při pasivním tak aktivním vedením dvojkolí. Měněnými okrajovými podmínkami byly rychlost vozidla – simulován průjezd vozidla konstantní rychlostí 15 km/hod a poté rychlostí odpovídající nevykompenzovanému příčnému zrychlení 1 m/s^2 případně maximální rychlosti vozidla 70 km/hod, koeficient tření v kontaktu kolo-kolejnice (f) – byly použity limitní hodnoty 0,15 a 0,4, naložení vozidla – prázdné vozidlo (ELE), provozně obsazené vozidlo při úvaze 4 stojících cestujících na m^2 (EL4). Simulace byly provedeny se žlábkovou kolejnicí s profilem NT1 a profilem kola odpovídajícímu profilu používaném DPP.

4 VÝSLEDKY SIMULACÍ

4.1 Průjezd jednotlivými oblouky

Na základě analýzy směrových poměrů na výše popsané trati Sídliště Řepy – Václavské náměstí bylo zjištěno, že vyjma oblouků, které představují odbočení trati na křižovatkách v centru města, a oblouků s velkým poloměrem (nad 500 m) jsou všechny ostatní oblouky tvořeny přechodnicí, jejíž průměrná délka dosahuje 15 metrů. Nebyla nalezena korelace mezi délkou přechodnice a poloměrem oblouku. Na základě těchto zjištění byly zkoumány přínosy aktivního vedení dvojkolí tramvaje na sérii úseků tvořených přímou tratí, 15 metrů dlouhou přechodnicí, obloukem o délce odpovídající změně směru jízdy o 90 stupňů, přechodnicí a přímou tratí. Souhrnné výsledky porovnávající index

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. 4***. Každý sloupec grafu představuje součet indexu opotřebení v kontaktu kolo-kolejnice na prvním podvozku vozidla pro 8 simulací průjezdu oblouku za různých okrajových podmínek popsaných v kapitole 3.3.



Obr. 4 *Index opotřebení v kontaktech kola a kolejnice na prvním podvozku za různých okrajových podmínek*

Fig. 4 *Wear index at wheel-rail contacts on the first bogie under various boundary conditions*

TAB. 3 *Redukce disipované energie v procentech v kontaktu kolo-kolejnice na prvním podvozku vozidla při průjezdu obloukem R50R20R50 oproti pasivnímu vedení dvojkolí*

TABLE 3 *Percentage reduction of dissipated energy in wheel-rail contact on the first bogie of the vehicle when passing through a R50R20R50 curve compared to passive wheelset guidance*

		ΦE [°]					
		1,0	**0,8**	**0,6**	**0,4**	**0,2**	**0**
ΦL [°]	**0**	59,5	59,7	59,2	58,0	55,9	53,2
	0,2	62,2	62,6	62,0	60,9	58,8	56,1
	0,4	63,2	63,4	63,0	61,7	59,7	57,0
	0,6	62,5	62,7	62,2	61,0	58,9	56,3
	0,8	59,3	59,6	59,1	57,9	55,8	53,2
	1,0	55,0	55,2	54,7	53,5	51,6	48,9

Speciální pozornost byla věnována průjezdu tramvaje odbočeními na křižovatkách, které jsou složeny z krátkých úseků (kolem 5m) oblouku R50 s vloženým obloukem R20, a které mají největší vliv na opotřebení kol na zvolené testovací trati. Vzhledem k relativně pomalému výsuvu aktuátoru a potřebě velkého natočení dvojkolí pro dosažení radiální polohy u oblouku o malém poloměru bylo testováno natáčení dvojkolí již před vjezdem do oblouku a rovnání dvojkolí z části či úplně až po výjezdu z oblouku. Při přílišném natočení v přímé trati dochází k nárůstu příčné síly v kontaktu kola a kolejnice a k výraznému zvýšení indexu opotřebení, stejně tak, pokud dvojkolí vyjede z oblouku příliš natočené do přímé trati. Na druhou stranu, pokud aktuátor začne dvojkolí natáčet až při vjezdu do oblouku, je dosaženo radiální polohy dvojkolí pouze na krátký moment a aktuátor opět začíná dvojkolí rovnat zpět do nenatočené polohy při výjezdu z oblouku. Aby bylo možno určit optimální bod natočení dvojkolí při vjezdu a výjezdu do respektive z oblouku, byly zvoleny parametry ΦE, ΦL. Parametr ΦE představuje úhel natočení dvojkolí při vjezdu do oblouku a ΦL pak úhlový rozdíl mezi natočením dvojkolí při radiální pozici dvojkolí v oblouku a natočením dvojkolí při vjezdu do přímé trati. Začátek natáčení až při vjezdu do oblouku R50 a naopak opuštění oblouku v nenatočené pozici je tedy reprezentováno hodnotami ΦE=0° a ΦL=1°, naopak vjezd i výjezd do a z oblouku v radiálním postavení dvojkolí odpovídá úhlům ΦE=1° a ΦL=0°.

Rychlost vozidla, která má vliv na optimální hodnoty těchto parametrů byla nastavena na 15 km/hod, což odpovídá maximální dovolené rychlosti v pražské tramvajové síti pro oblouky s velmi malými poloměry. Koeficient tření mezi kolem a kolejnicí byl nastaven na 0,4 a simulace proběhly s obsazeným vozidlem. ***TAB. 3*** pak představuje procentuální snížení disipované energie v kontaktu kolo-kolejnice na prvním podvozku vozidla oproti průjezdu vozidla s pasivním vypružením v závislosti na hodnotách ΦE, ΦL. Jak je z tabulky patrno, nejlepších výsledků bylo dosaženo pro hodnoty úhlů ΦE=0,8°, ΦL=0,4°. Při těchto úhlech bylo dosaženo nejlepších výsledků u obou dvojkolí podvozku, přičemž u prvního dvojkolí bylo dosaženo snížení disipované energie o 72,8 %, na druhém dvojkolí pak o 51,3%. Pro další simulace průjezdu vozidla po výše popsané trati byl algoritmus řídicí natáčení dvojkolí nastaven tak, aby při průjezdu těmito nejostřejšími oblouky natáčel dvojkolí již před vjezdem a při výjezdu z oblouku právě na tyto parametry.

Z hodnot v ***TAB. 3*** lze také vyvodit, že i pokud dojde k nepřesnému určení polohy vozidla a tudíž dvojkolí začnou být natáčena či naopak rovnána dříve či později než v optimálním momentu, nedojde k výraznému snížení přínosu aktivního natáčení na opotřebení kol. Zvolený krok úhlu natočení dvojkolí v ***TAB. 3*** činící 0,2 stupně odpovídá zhruba 1,25 metru ujeté dráhy vozidla při zvolené rychlosti vozidla a výsuvu aktuátoru. Podrobnější zkoumání vlivu přesnosti určení polohy vozidla na trati bude provedeno v dalších fázích výzkumu, nicméně již tyto výsledky naznačují, že i při hodnotách chyby určení polohy, jakých je možné dosáhnout pomocí běžných metod určování polohy, bude přínos pro snížení opotřebení kol stále značný.

4.2 Průjezd celou tratí

Po analyzování průjezdu jednotlivými oblouky a optimalizací průjezdu odbočeními na křižovatkách byly provedeny simulace průjezdu vozidla celou výše popsanou tratí Václavské nám. - Sídliště Řepy. Bylo provedeno 16 simulací za různých okrajových podmínek popsaných v kapitole 3.3. Dosažené výsledky v podobě indexu opotřebení v kontaktu kol a kolejnice u všech kol vozidla zobrazuje ***TAB. 4***.

Z dosažených hodnot je patrné, že dle předpokladů největší snížení indexu opotřebení a tedy i opotřebení kol a kolejnic dojde při vysokém koeficientu tření. Výraznějšího procentuálního snížení bylo dosaženo při jízdě konstantní rychlostí 15 km/hod, což lze vysvětlit zejména dostatečným časem pro natáčení aktuátorů do každého oblouku i delší dobou průjezdu oblouky a tedy delším působením příčných a podélných skluzových sil v kontaktu kolo-kolejnice. I pro okrajové podmínky z druhé strany provozního spektra přinesla technologie významný přínos. V průměru došlo ke snížení indexu opotřebení na všech kolech tramvaje o 73 % při jízdě s aktivním natáčením dvojkolí oproti jízdě s klasickým vypružením.

TAB. 4 *Výsledky simulací průjezdu zkušební tratí*
TABLE 4 *Achieved results of simulations of passage through the test track*

vedení dvojkolí	rychlost	zatížení	třecí koef.	Index opotřebení [N]	Snížení [%]
pasivní	max	EL4	0,4	1 124 368	
pasivní	max	EL4	0,15	342 539	
pasivní	max	ELE	0,4	886 817	
pasivní	max	ELE	0,15	266 268	
pasivní	15	EL4	0,4	1 525 949	
pasivní	15	EL4	0,15	617 168	
pasivní	15	ELE	0,4	1 512 409	
pasivní	15	ELE	0,15	496 158	
aktivní	max	EL4	0,4	338 534	70
aktivní	max	EL4	0,15	141 621	59
aktivní	max	ELE	0,4	270 397	70
aktivní	max	ELE	0,15	111 156	58
aktivní	15	EL4	0,4	381 586	75
aktivní	15	EL4	0,15	167 917	73
aktivní	15	ELE	0,4	304 153	80
aktivní	15	ELE	0,15	134 726	73

5 ZÁVĚR

Článek představuje výzkum přínosů aplikace aktivně řízených prvků do podvozku článkové nízkopodlažní tramvaje za účelem aktivního vedení dvojkolí. Dostatečné robustnosti navrženého systému napomáhá, že jako vstupní veličiny do algoritmu řízení aktivních prvků vstupují pouze veličiny, které je možné bezpečně měřit v dostatečné přesnosti a bez zvýšení nákladů na vybavení vozidla senzorikou. Veličinu ovlivňující natočení dvojkolí, tedy poloměr oblouku, je pak navrženo získávat z databáze trati a ověřovat její hodnotu pomocí senzoriky na čele vozidla. Pro natáčení byl využit koncept aktivního silentbloku inspirovaný systémem LiCAS od firmy Liebherr pro vozidla těžké železnice. Takto koncipovaný způsob natáčení dvojkolí je dle názoru autora reálné zastavět i do tak prostorově omezené konstrukce, jakou současné podvozky nízkopodlažních tramvají mají.

Představený systém byl aplikován do modelu článkové tramvaje koncepce „multigelenk“ a byl simulován průjezd vozidla s aktivním i pasivním vedením dvojkolí jednotlivými oblouky i po trati Václavské náměstí – Sídliště Řepy. Při porovnání aktivního a pasivního vedení dvojkolí bylo dosaženo velmi dobrých výsledků za různých okrajových podmínek výpočtu. U jednotlivých oblouků bylo dosaženo redukce indexu opotřebení v rozmezí 67-97 % v závislosti na poloměru oblouku. Při simulaci průjezdu vozidla celým traťovým úsekem za různých okrajových podmínek došlo ke snížení indexu opotřebení v kontaktu kolo-kolejnice v průměru o 73 % oproti vozidlu s klasickým vypružením.

Samotný model aktivního natáčení i jeho řízení budou dále zpřesňovány a vylepšovány, nicméně prezentované výsledky jasně ukazují, že technologie aktivního natáčení je pro moderní článkové tramvaje velmi vhodná a může přispět k dalšímu rozvoji tramvajové dopravy. Hlavními benefity technologie je snížení opotřebení kol a kolejnic, což přinese výrazné úspory dopravním podnikům a bude mít tak velký vliv na náklady životního

cyklu vozidla. Dalšími velkými výhodami jsou úspory trakční energie či snížení emisí hluku a vibrací při průjezdu oblouky. Jako nadstavbové výhody lze chápat možnost dalšího rozšíření počtu vozidel s neotočnými podvozky, která jsou levnější, kapacitnější a pro cestující z hlediska interiéru vozidla komfortnější.

Další vývoj bude zaměřen zejména na zpřesnění modelu aktuátoru, výzkum vlivu nepřesné lokalizace vozidla na dosažené výsledky a na otestování navrženého algoritmu řízení na zkušebním kladkovém stavu v laboratořích Fakulty strojní, ČVUT.

Poděkování

The paper was created with the financial support of the Technology Agency of the Czech Republic, project No TE01020054 "Bozek Vehicle Engineering - National Competence Center ".

Literatura

[1] *LiCAS passes test successfully* [online]. Dostupné z: https://www.liebherr.-com/en/can/latest-news/news-press-releases/detail/licas-passes-test-successfully.html. **[2]** *Electrohydraulic Controlled Axle Steering (eCAS)* [online]. In: . [cit. 2023-06-21]. Dostupné z: https://www.liebherr.com/shared/media/aerospace-and-transportation/transportation/down-loads/products/liebherr-electrohydraulic-controlled-axle-steering-ecas.pdf **[3]** *Traila* [online]. [cit. 2023-06-21]. Dostupné z: https://www.traila.ch/en/ **[4] VRBA, J. and KOLÁŘ, J.**. Možnosti aplikace aktivních prvků v kolejových vozidlech. Nová železniční technika. 2022, 2022(4), 24-32. ISSN 1210-3942. **[5] FU, Bin a Stefano BRUNI**. Fault-tolerant design and evaluation for a railway bogie active steering system. Vehicle System Dynamics [online]. 2022, 60(3), 810-834. doi:10.1080/00423114.2020.1838563 **[6] 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. **[7] RISTIĆ-DURRANT, Danijela, Marten FRANKE a Kai MICHELS**. A Review of Vision-Based On-Board Obstacle Detection and Distance Estimation in Railways. *Sensors* [online]. 2021, **21**(10) [cit. 2023-06-21]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s21103452 **[8] SCHINDLER, Christian, Ashwin WALAWALKAR a Nureddin BENNETT**. *Payload Estimation in Excavators: Model-Based Evaluation and Comparison of Current Payload Estimation Systems*. **[9] ČIHÁK, Stanislav**. *Optimalizace parametrů článkové nízkopodlažní tramvaje*. Praha, 2022. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Jan Kalivoda.

♠ ♠ ♠

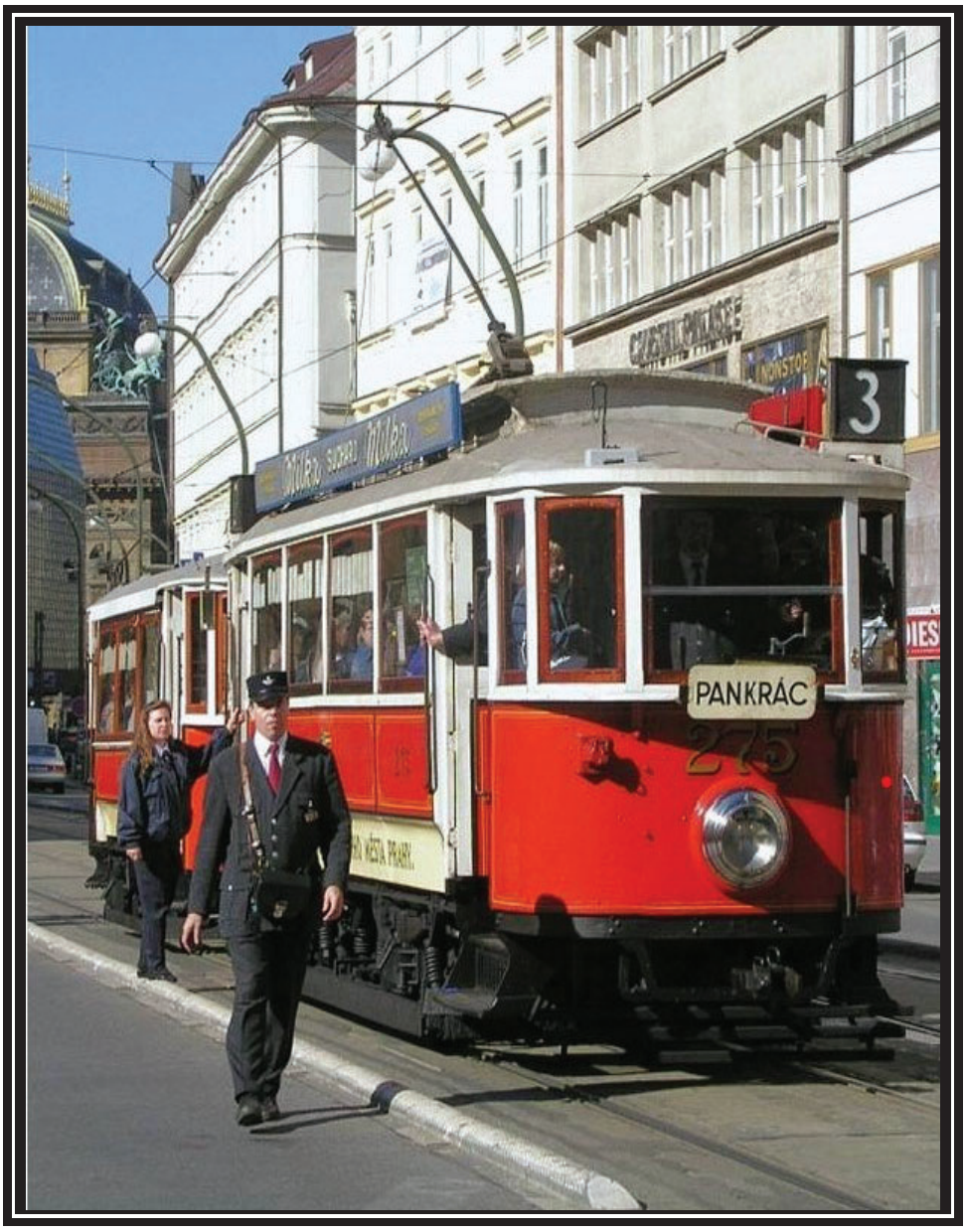
Resumé

Článek představuje koncepci využití technologie aktivního natáčení pro moderní článkové nízkopodlažní tramvaje s neotočnými podvozky. V článku jsou dále představeny a diskutovány výsledky provedených MBS výpočtů simulujících jízdu vozidla vybaveného aktivním vedením dvojkolí jednotlivými oblouky i po konkrétní trati v rámci pražské tramvajové sítě. Při porovnání průjezdu celou tratí vozidla s aktivním a pasivním vedením dvojkolí došlo ke snížení indexu opotřebení v průměru o 73 %.

Summary

The paper presents the concept of using active wheelset steering technology for modern articulated low-floor trams with rigid bogies. The contribution also presents and discusses the results of MBS calculations simulating the travel of a vehicle equipped with active

wheelset steering technology through individual curves and on a specific line within the Prague tram network under different boundary condition. In a comparison of passive and active wheelset guidance, a reduction in wear index of 73% on average was achieved.



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.45

NOVÉ TYPY AKUSTICKY POHLTIVÝCH MATERIÁLOV S MOŽNOSŤOU POUŽITIA V ŽELEZNIČNÝCH VOZŇOCH

NEW TYPES OF ACOUSTICALLY ABSORBING MATERIALS WITH THE POSSIBILITY OF USE IN RAILWAY WAGONS

Peter ZVOLENSKÝ*), Juraj GRENČÍK, Ján ĎUNGEL, Ján KRIVDA

1 ÚVOD

Rozvojom technológii najmä automobilového priemyslu sa inovácie postupne zavádzajú aj do iných priemyselných odvetví, pričom jedným z najdôležitejších postupov je zohľadniť využitie recyklovaných materiálov podľa možnosti už pri konštrukčnom návrhu. Postupným nahrádzaním primárnych materiálov vieme zabezpečiť vyšší podiel využitia recyklovateľných materiálov vo finálnom produkte. Týmto znižujeme spotrebu prírodných zdrojov a znižujeme energetickú náročnosť výroby. Postupné zvyšovanie povedomia a informovania verejnosti a podpora odvetvia spracovania odpadu vedie k nárastu nových možností zhodnocovania druhotných materiálov.

Ako akustické materiály v automobilovom priemysle sa využívajú v prevažnej miere textilné materiály vyrábané zo syntetických, prírodných a recyklovaných vlákien, ktoré zabezpečujú tepelný a akustický komfort. Toto určuje použitie recyklovaných materiálov a ich zavedenie do špecifického výrobného procesu s možnosťou použitia výroby viacvrstvových kompozitných materiálov, tepelnoizolačných materiálov a vnútorných obkladov [2] Tento trend je možné zaviesť pri aplikáciách v koľajových vozňoch ako pre osobnú tak aj nákladnú dopravu.

Recyklácia textílií znižuje potrebu surovín a následne rad negatívnych vplyvov na životné prostredie. Predpokladom funkčnej recyklácie je systém, ktorý efektívne zhodnocuje textílie s ohľadom na životné prostredie. Recyklácia je predpokladom pre obehové hospodárstvo, t.j. materiály môžu byť recyklované a vrátené späť do výroby a tak znovu

*) **prof. Ing. Peter ZVOLENSKÝ, CSc.,** Katedra DMT, SjF, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 ŽILINA, Slovenská republika. Tel.: (++421 41) 513-2559, e mail: peter.zvolensky@fstroj.uniza.sk, zaoberá sa teóriou prevádzky a údržby koľajových vozidiel a technickou akustikou.

doc. Ing. Juraj GRENČÍK, PhD, Katedra DMT, SjF, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 ŽILINA, Slovenská republika. Tel.: (++421 41) 513-2553, e mail: juraj.grencik@fstroj.uniza.sk, zaoberá sa teóriou prevádzky a údržby koľajových vozidiel a technických zariadení.

Ing. Ján ĎUNGEL,, PhD. Asseco CEIT, a.s., Univerzitná 8661/6A, 010 08 Žilina, Slovenská republika, Tel.: +421 (0)41 513 7463, e-mail: jan.dungel@asseco-ceit.com zaoberá sa technickou akustikou a znižovaním hluku v koľajových vozdilách a technických zariadeniach.

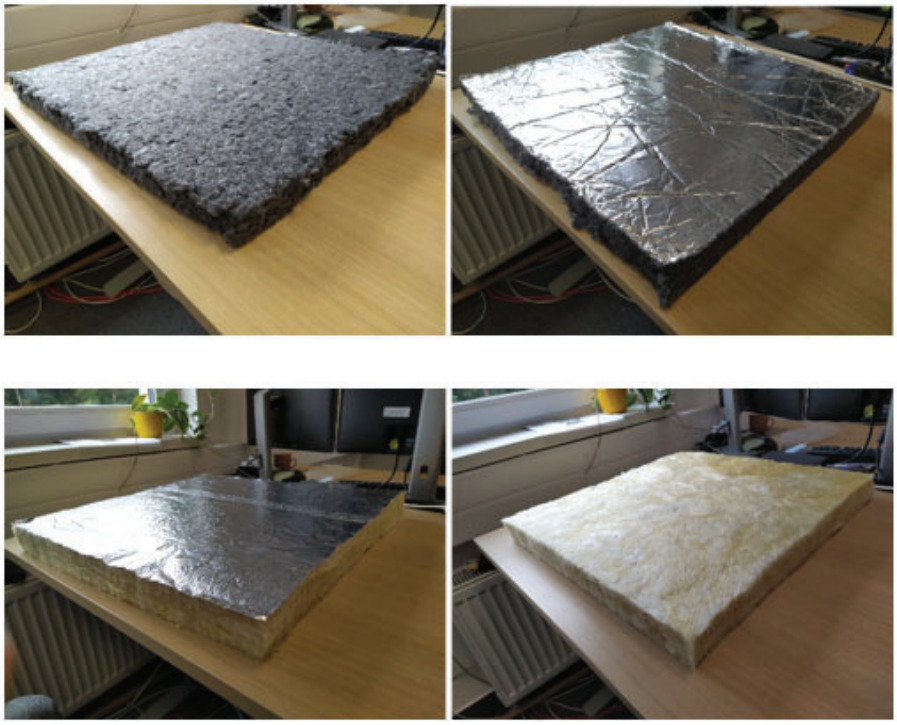
Mgr. Ján KRIVDA, RETEX a.s. U Nádraží 894, 672 01 Moravský Krumlov, Česko Mobil: +420 702 235 546, E-mail: krivda@retex.cz, zaoberá sa technickou akustikou a materiálmi pre znižovanie hluku.

použité. Začiatkom roku 2017 prijal Európsky parlament správu, v ktorej sa uvádza, že recyklácia odpadu by mala do roku 2030 dosiahnuť 70%. V súčasnosti sa recykluje menej ako 50% odpadu v EÚ; čo Európsky parlament považuje za neuspokojivé [1].

Pri koľajových vozidlách ide o dosť konzervatívne rozhodovanie a aplikovanie takýchto materiálov a to najmä z hľadiska veľmi prísnych noriem. Pokiaľ sa výrobca rozhodne, že je ochotný podstúpiť tieto úskalia neznamená to, že táto inovácia bude aj aplikovaná v reálnom vozni. Je to predovšetkým spôsobené, že v koľajových vozidlách sa bez predchádzajúcej referencie neaplikuje inovácia. To spôsobuje uzavretý cyklus, ktorý môže ovplyvniť buď silný finančný partner, alebo univerzity v rámci aktuálnych vedeckých štúdii. Zároveň je potrebné, aby materiál umožňoval s pohľadu akustiky spĺňať limity Noise TSI.

2 IZOLAČNÉ MATERIÁLY V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH

V koľajových vozidlách sa používa pomerne široké spektrum typov izolácií (***obr. 1***). Medzi najpoužívanejšie patrí sklená vata, minerálna vlna, penové izolácie a textilné izolácie. Všetky materiály používané v osobných vozňoch musia podliehať prísnym požiadavkám z hľadiska bezpečnosti, akustickým a tepelným stanoveným vlastnostiam a v neposlednom rade aj požiadavkám prevádzky.



Obr. 1 *Izolačné materiály, textilné hore, sklená vata na spodných snímkach*

Fig. 1 *Insulating materials, textile on top, glass wool on bottom pictures*

2.1 Udržateľné materiály v koľajových vozidlách

Existuje niekoľko typov izolačných materiálov vyrobených z recyklovaných materiálov, ale ich opätovné použitie v koľajových vozidlách je náročné a to najmä v rámci plnenia požadovaných technických noriem EN 45545-2+A1. Táto norma presne definuje

požiadavky na materiál používaný v koľajových vozidlách z hľadiska vzniku požiaru a reakcie na oheň, aby bola dosiahnutá čo najvyššia možná úroveň bezpečnosti cestujúcich. Rozdelenie materiálov je do 3 kategórii od HL1-HL3, pričom HL3 je materiál, ktorý spĺňa najprísnejšie požiadavky a je ho možné umiestňovať do všetkých častí koľajového vozidla. Jedno z najprísnejších kritérií je skúška šírenia plameňom, kde materiál musí odolávať šíreniu plameňa minimálne 30 min (viď. ***obr. 2***) 50 kW/m^2. Pri tejto skúške je dôležitá povrchová úprava materiálu, pre recyklované umelé vlákna je vhodný variant s hliníkovou fóliou bez textilného nosiča. Pri povrchovej úprave zo sklenými vláknami izolácia nie je schopná odolávať tak vysokej teplote ani 1 min (***obr. 2***) a teda touto skúškou nie je schopná prejsť.



Obr. 2 *Skúška šírenia plameňom podľa EN 45545-2+A1*

Fig. 2 *Flame propagation test according to EN 45545-2+A1*

Recyklované vlákna izolačných dosiek sú z polyesterových vlákien PES. Ich veľkou výhodou je, že tieto syntetické textilné materiály sú nenasiakavé. Počas životnosti vozňa je možné, že vplyvom korózie konštrukcie, alebo poškodení, je možné, že sa dostane vlhkosť do konštrukcie a tento materiál príde do kontaktu s vodou. Pri materiáloch na báze sklenej, alebo minerálnej vaty sú veľmi náročné procesy odstraňovania vlhkosti a ich opätovné použitie otázne. Pri materiáloch z PES je proces údržby výrazne jednoduchší a to najmä, že vplyvom vody nedegradujú. Vlákna tohto materiálu sú výrazne jemnejšie, pevnejšie a sú dobre modifikovateľné chemicky aj mechanicky (v tomto prípade bola aplikovaná proti horľavá úprava). Materiál preukazoval vynikajúce izolačné vlastnosti už od objemovej hmotnosti 10 kg/m^3 (vysoká zaplnenosť izolantu), čo výrazne pozitívne vplýva na parameter súčiniteľa tepelnej vodivosti, nakoľko vlákna sú schopné tvoriť veľmi malé vzduchové medzierky a eliminujú prúdenie vzduchu vo vnútri konštrukcie. Vysoká zaplnenosť izolantu jemnými vláknami pozitívne vplýva aj akustické vlastnosti a to na koeficient zvukovej pohltivosti. Akustická energia dopadajúca na plochu izolantu sa vplyvom pružných charakteristík vlákien odráža spätne len minimálne. Naopak táto vlastnosť pomáha pri

absorpcií akustickej energie. Výrazne tomu prispieva aj kruhový prierez vlákna spolu s oblúčkami tak tvoria tzv. „mikropružiny“ (produkt je tvorený desiatkami miliónov mikropružín). Týmto spôsobom je možné zabezpečiť stabilitu výrobku a odolnosť voči mechanickým vplyvom (v praxi je to už samotná aplikácia izolácie).



Obr. 3*Ukážka umiestňovania izolácie vo vozni*

Fig. 3 *Example of insulation placement in a wagon*

Pre ekologicky udržateľné materiály v KV je dôležité vziať do úvahy viacero kritérií, a to najmä:

1. Zdravotná a hygienická nezávadnosť v rôznych prevádzkových stavoch.
2. Splnenie technických kritérií z pohľadu bezpečnosti EN 45545-2+A1.
3. Jednoduchá a lacná inštalácia vo vozňoch.
4. Stabilita vlastností materiálu v rozsahu životnosti vozňa (cez 25 rokov).
5. Opätovná recyklovateľnosť materiálu po skončení životnosti.
6. Nižšia produkcia CO_2.

Stabilné udržateľné akustické materiály v koľajových vozňoch sú veľmi rozsiahlou témou avšak je potrebné vziať do úvahy komplexnosť tejto problematiky, do ktorej patrí udržanie požadovaných vlastností materiálu počas jeho celého životného cyklu, jeho funkčnosť, dostupnosť, environmentálne dopady (spotreba energii počas jeho výroby, vzniknutý odpadový materiál), vplyv výroby materiálu na ľudí vo výrobnej prevádzke, nutnosť aplikácie chemických spojív, úprava povrchu (vplyv nanášania hliníkovej fólie), trvanlivosť materiálu a účinky na životné prostredie po skončení životnosti vozňa.

V akustických aplikáciách prešli nové typy materiálov v posledných rokoch obrovskými inovatívnymi riešeniami, čo sa nedá povedať pre oblasť koľajových vozidiel. Tu prevláda veľmi konzervatívne prostredie a veľmi opatrný postup v zavádzaní inovácii. Záujem o udržateľné akustické materiály rýchlo rastie hneď v niekoľkých odvetviach a to automobilovom, leteckom a stavebnom priemysle. Aktívnej a širšej aplikácii recyklovaných materiálov v týchto odvetviach do istej miery bráni okrem legislatívnych obmedzení aj nedostatočná znalosť ľudí zodpovedných pre výber materiálov, ktorí sa často snažia voliť materiály z primárnych surovín.

2.2 Akustické požiadavky na koľajové vozidlá

Akustické požiadavky na koľajové vozidlá sú pomerne prísne a tieto požiadavky sa priamo úmerne premietajú aj na požadované akustické parametre protihlukových izolácií. Akustické požiadavky sa postupne sprísňujú, čo má za následok mnohé komplikácie v železničnej doprave. Napríklad, pre porovnanie, v minulosti stačilo pri modernizácií vozňa deklarovať, že nedošlo k zvýšeniu vonkajšieho hluku v porovnaní so stavom, keď bol daný vozeň nový. To bolo pomerne jednoduché dosiahnuť, pretože modernizáciou daného vozňa sa mohli akustické vlastnosti prakticky len zlepšiť. V súčasnosti na území SR je ale v platnosti požiadavka, že hodnota hluku vonkajšieho hluku nesmie prekročiť 79 dB(A). Dosiahnutie tejto hodnoty môže byť veľmi náročné aj pri modernizovaných vozňoch.

3 POŽIADAVKY NA ŽIVOTNOSŤ IZOLAČNÝCH MATERIÁLOV V KOĽAJOVÝCH VOZIDLÁCH

Vzhľadom k tomu že pri koľajových vozidlách sa počíta s pomerne veľkou životnosťou, aj samotná izolácia musí vydržať minimálne do generálnej opravy vozňov, nakoľko jej výmena je značne problematická. Výmena protihlukovej izolácie vyžaduje kompletnú demontáž interiéru osobného vozňa. Pomerne často je možné vidieť pri modernizácií starých vozňov, že izolácia nie je na svojom mieste, prípadne je spadnutá smerom k podlahe a podobne. Takto „opotrebovaná“ izolácia už nedokáže plniť svoju funkciu po akustickej stránke a rovnako nedokáže izolovať ani teplo tak, ako bolo pôvodne konštruktérmi navrhnuté.

Preto je ideálne pre správny návrh a aplikáciu v konštrukcii vozňa podrobiť izoláciu skúškam životnosti a následne zistiť jej tepelné a akustické vlastnosti.

Skúšky odolnosti voči náhodným širokopásmovým vibráciám sa vykonávajú podľa normy STN EN 61373/2010. Táto norma upravená podľa pôvodnej normy pre dráhové aplikácie a zariadenia koľajových vozidiel, má daný tzv. skúšobný profil, ktorý zodpovedá prevádzke po dobu tridsiatich rokov. Skúška je vhodná aj pre obkladové materiály používané v dráhových aplikáciách pri namáhaní vo zvolenom smere.

V rámci experimentu sme podrobili skúškam odolnosti sklenú vatu a textilnú izoláciu. Sklená vata sa v súčasnosti používa prevažne ako izolačný materiál v osobných vozňoch. Má požadované tepelné, akustické aj bezpečnostné vlastnosti. Textilná izolácia má potenciál v budúcnosti nahradiť sklenú, pretože dosahuje lepšie akustické vlastnosti ako sklená vata.

Na uskutočnenie experimentu na porovnanie životnosti sklenej vaty a textilnej izolácie, ako prvé bolo potrebné navrhnúť a vyrobiť skúšobný stojan (***obr. 4***). Na stavbu stojana boli použité hliníkové profily, ktoré zabezpečujú požadovanú pevnosť, tak aby samotný stojan zvládol skúšku bez poškodenia. Stojan pozostáva z troch častí hliníkových rámov na ktoré sa umiestňuje testovaná izolácia s rozmermi 600x600x60. Zadnú stranu rámov tvoria oceľové plechy, ktoré zodpovedajú skrini skutočného vozňa. Stojan je ďalej vybavený úchytmi na drôty, ktoré slúžia na upevnenie izolácie rovnako ako na skutočnom vozni. Pri návrhu bol vytvorený 3D model aby sme sa uistili, že všetky rozmery sú v súlade s normou STN EN 61373/2010.

V rámci experimentu životnosti izolácie v prevádzke koľajového vozňa sa simulovala reálna prevádzka železničného vozňa, kde na izoláciu pôsobia najmä vibrácie. Tie môžu počas prevádzky vozňa zapríčiniť zhoršenie parametrov izolácie (tepelno-izolačných, akustických), vplyvom nenávratného poškodenia izolácie.

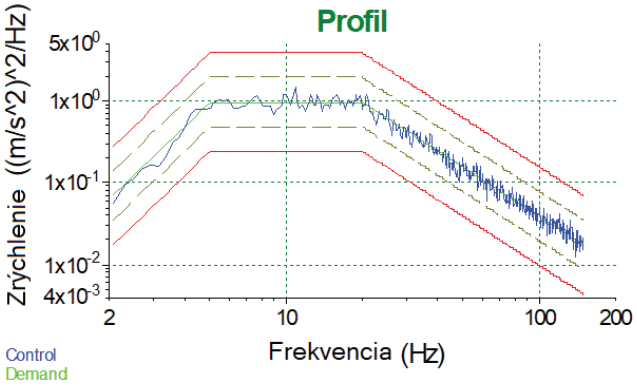
Testovali sa 3 vzorky izolácie súčasne, pri čom sa simulovalo uloženie v stropnej časti vozňa, ktoré predstavuje najnepriaznivejší stav pre samotnú izoláciu. Na vnútornú stranu krycích plechov bol nanesený antivibračný náter, ktorý sa používa na osobných vozňoch.



Obr. 4 *Skúšobný stojan na skúšky životnosti izolácií (1typ izolácie 3 vzorky)*

Fig. 4 *Test stand for durability testing of insulations (1 type 3 samples)*

Skúšky prebiehali na vibračnej stolici podľa normy STN EN 6173, na ktorej bol nainštalovaný skúšobný stojan s izoláciami. Vibrácie ktorým boli vystavené izolácie, prebiehali podľa konkrétneho profilu, ktorý simuloval približne tridsať ročnú prevádzku osobného vozňa (***obr. 5***)



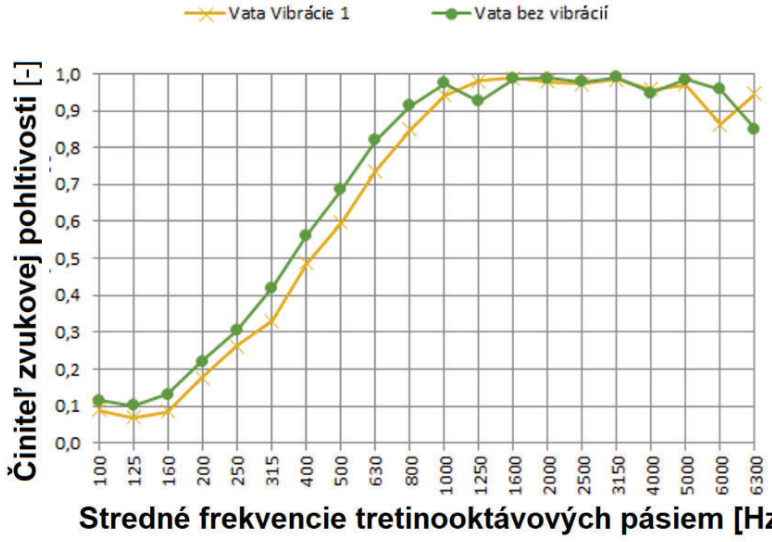
Obr. 5 *Profil skúšky životnosti izolácií*

Fig. 5 *Insulation service life test profile*

Po vyhodnotení výsledkov skúšok sme sa dopracovali k pomerne zaujímavým výsledkom. Sklená vata po skúške vykazovala zhoršenie vlastností zvukovej pohltivosti.

Pôsobenie vibrácii malo negatívny dopad na koeficient zvukovej absorpcie pre sklenú vatu v meranom spektre od 100 – 800 Hz a frekvencie 1/3 oktávovom pásme 6 000 Hz. Pre vyššie frekvencie v pásme 6300 Hz bolo zaznamenané zlepšenie o 0,1. Je vysoký predpoklad, že pri pôsobení ďalších faktorov prostredia a to najmä vlhkosti a zmien teplôt, bude zmena akustických parametrov pre sklenú vatu výrazne nepriaznivejšia. Meranie preukázalo, že samotné vibrácie v konštrukcii železničného vozňa spôsobujú okom

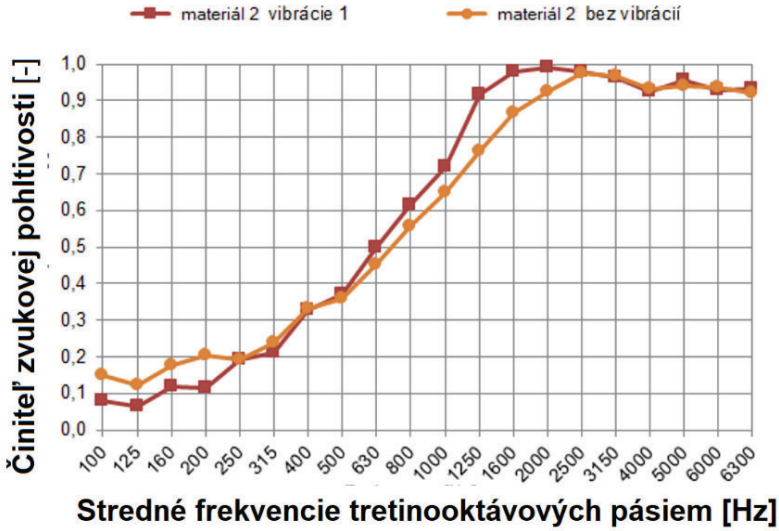
neviditeľné poškodenie akustickej izolácie, ktoré zhoršuje koeficient zvukovej absorpcie v oblasti 1000 Hz pásma. (***obr. 6***)



Obr. 6 *Porovnanie činiteľov zvukovej pohltivosti sklenej vaty pred a po skúške*

Fig. 6 *Comparison of the sound absorption of glass wool before and after the test*

V prípade textilnej izolácie bola situácia mierne odlišná (***obr. 7***). Pôsobenie vibrácii malo negatívny dopad na koeficient absorpcie v spektre od 100 – 200 Hz. Pre frekvencie v pásme 800-2000 Hz bol zaznamenané zlepšenie. Meranie preukázalo, že samotné vibrácie v konštrukcii železničného vozňa spôsobujú okom neviditeľné poškodenie akustickej izolácie, ktoré zhoršuje koeficient zvukovej absorpcie v pásme od 100 Hz do 200 Hz.



Obr. 7*Porovnanie činiteľov zvukovej pohltivosti textilnej izolácie pred a po skúške*

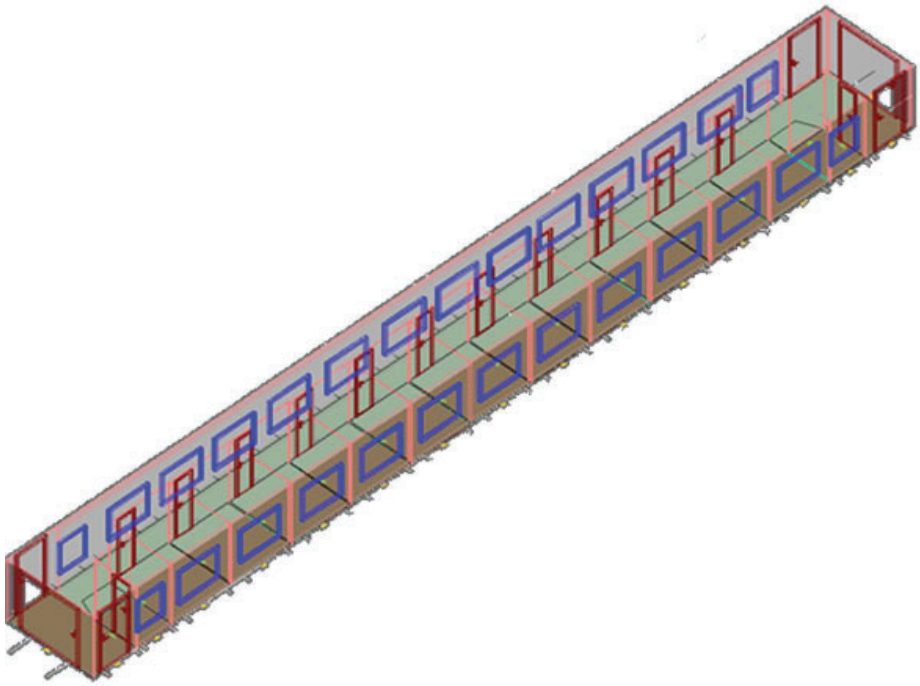
Fig.7 *Comparison of the sound absorption of textile insulation before and after the test*

4 TEPELNÉ POŽIADAVKY

Okrem akustických parametrov sú veľmi dôležité aj tepelnoizolačné vlastnosti materiálov. Výber izolácie zohľadňuje aj spôsob používania železničného vozňa. Pokiaľ sa jedná o vozne používané na regionálnu dopravu pozostávajúcu z krátkych trás je vhodné použiť izoláciu s vyššou tepelnou kapacitou. Pokiaľ sa vozeň používa na dlhé trasy, izolácia s nižšou tepelnou kapacitou bude výhodnejšia, to je najmä spôsobené menším vetraním vozňa otváraním dverí vozňa. Z hľadiska tepelných vlastností existujú samozrejme aj rôzne legislatívne požiadavky na merný prestup tepla. Na vozňoch sa používajú izolácie s hodnotou súčiniteľ tepelnej vodivosti menším ako 0,035 W/mK.

Vozeň musí rovnako spĺňať predpísané hodnoty teploty vzduchu v priestore pre cestujúcich pri danej vonkajšej teplote podľa vyhlášky UIC 553 a STN EN 13 129:

Pre statické vyhodnotenie prestupu tepla bol zhotovený model osobného vozňa v programe TechCon, kde sa menil súčiniteľ tepelnej vodivosti oboch izolačných materiálov zmeraný v akreditovanom laboratóriu.

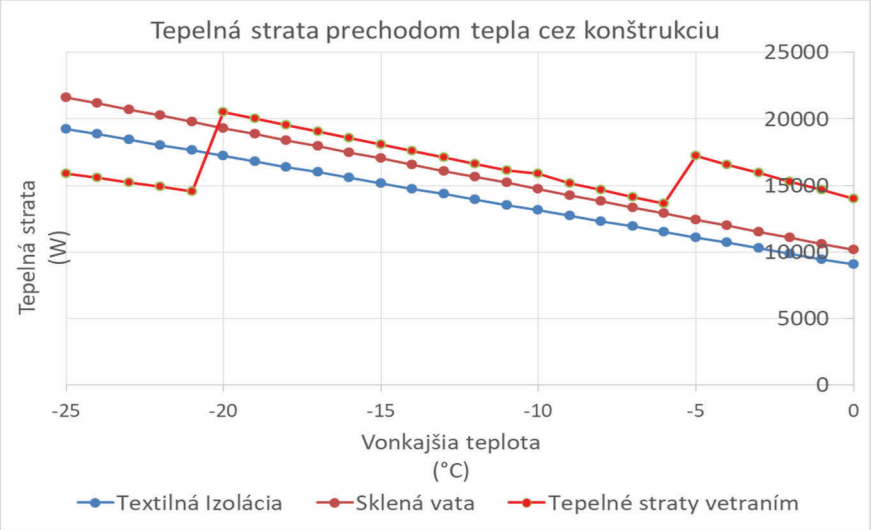


Obr. 8 *Model výpočtu tepelných strát osobného vozňa v programe TechCon*

Fig. 8 *Calculation model for passenger car heat losses in TechCon*

4.1 Tepelné straty vetraním

Tepelné straty vetraním sú ďalším parametrom pre komfort vo vozni, ktorý má dopad na energetiku prevádzky vozňa. Na ***Obr. 9*** je graf, ktorý bol určený podľa špecifikácii dopravcu. Požiadavky na výmenu vzduchu sa líšili podľa typu priestoru (chodba, predstavky alebo v jednotlivých oddieloch pre cestujúcich), tak aby bola distribúcia vzduchu čo najefektívnejšia s požadovaným komfortom. Pri vetraní je započítaná iba nútená výmena vzduchu, pričom vetranie otvorením dverí je premenlivý parameter, ktorý je veľmi ťažko kvantifikovať.



***Obr. 9** Tepelná strata prechodom tepla cez konštrukciu a núteným vetraním*

***Fig. 9** Heat loss due to heat transfer through the structure and forced ventilation*

Percentuálny rozdiel tepelnej straty medzi dvoma izoláciami (sklenou vatou a textilnou izoláciou) sa vplyvom teploty nemení. Na spotrebu energie má najvýraznejší vplyv tepelná strata núteným vetraním a to najmä v režime pri vonkajšej teplote od -5 až 0 °C. Ako je vidieť na ***obr. 9*** v režime od -25 až -21 °C je tepelná strata cez konštrukciu vozňa väčšia ako vetraním, pričom od -20 °C vetraním rastie.

Modelová tepelná strata cez konštrukciu vozňa pri použití textilnej izolácie je o 12 % nižšia, čo dáva výrazný predpoklad aj na zníženie prevádzkových nákladov vykurovania príp. chladenia vozňa. Rozdiel rozloženia vlákien medzi izoláciami nebol braný do úvahy.

4 ZÁVER

Experiment spoločne so simuláciou preukázali, že textilná izolácia má mnoho výhod v porovnaní so sklenou vatou a to najmä:

1. Že lepšie drží svoj vyrezaný tvar, čo je veľká výhoda nielen z hľadiska životnosti, ale aj pri montáži do koľajového vozidla.
2. Značná citlivosť sklenej vaty na manipuláciu, pričom bolo problematické už aj odoberanie vzoriek pre laboratórne testy, pri textilnej izolácii tento problém nenastal.
3. Nižší vplyv degradácie akustických parametrov vplyvom vibrácii vozňa.
4. Možnosť opätovnej recyklácie materiálu.
5. Lepšie tepelno- izolačné vlastnosti.

Je reálny predpoklad, že postupne aj výrobcovia koľajových vozidiel budú legislatívne nútení do využívania recyklovaných materiálov a dopyt po týchto materiáloch bude neustále rásť. Medzi najvhodnejšie materiály v konštrukcii koľajových vozidiel určite sú textilné materiály s umelými vláknami, ktoré je možné opätovne recyklovať.

Pre rýchlejší nástup recyklovaných materiálov je potrebné aj zvyšovanie povedomia verejnosti a odborných technických pracovníkov, aby pri výbere produktu pozerali aj na použité materiály a z čoho sú vyrobené a tým sa znížili negatívne účinky vyrobených produktov na životné prostredie.

Literatúra

[1] North Holding AD.: Recent Tendencies in Recycling. Available online: https://nordholding.bg/en/news-en/recent-tendencies-recycling/ (accessed on 2 October 2018). **[2] Iaşnicu, I.; Vasile, O.; Iatan, R..**: The analysis of sound absorbing performances for composite plates containing recycled textile wastes. UPB Sci. Bull. Ser. D 2016, 78, 213–220. [Google Scholar]**. [3] STN EN 61373: 2011,** Dráhové aplikácie. Zariadenia koľajových vozidiel. Skúšky údermi a vibráciami.

♠ ♠ ♠

Resumé

Znižovanie hluku v životnom prostredí a rovnako znižovanie hlukovej expozície z dopravy sa radia k prioritným úlohám dnešnej doby a k osobitne významným faktorom kvality využívania moderných technológií v konštrukcii železničných vozňov i tratí. Prax znižovania hlučnosti je prevažne náročná investícia s ťažko odhadnuteľným výsledkom. Výrobné odvetvie koľajových vozidiel je často konzervatívne v rámci zavádzania nových technológií alebo inovácii vo výrobných procesoch, údržbe a prevádzke. Je to vo veľkej miere spôsobené aj prísnymi kritériami v rámci legislatívy a schvaľovania zmeny, ktoré sú náročné časovo a aj finančne. Tento príspevok poukazuje na aplikáciu recyklovaných textilných vlákien a ich uplatnenie v koľajových vozidlách a porovnáva ich technické vlastností. Materiály, ktoré je možnosť po ich recyklácii opätovne využiť aj v aplikáciách s vyššou pridanou hodnotou majú obrovský prínos v rámci zhodnotenia odpadu a sú ďalším krokom k trvalo udržateľnému rozvoju životného prostredia. Príspevok tiež rozoberá možnosti využitia a aplikácie nových typov materiálov v porovnaní s už existujúcimi a to pomocou simulácie a vybraných experimentov. Hlavným cieľom je znížiť hlukovú záťaž od železničnej dopravy, pri dodržaní všetkých platných predpisov a noriem.

Summary

The reduction of noise in the environment and the reduction of noise exposure from transport are among the priority tasks of present times and are particularly important factors in the quality of the use of modern technologies in the design of rolling stock and railway lines. The practice of noise abatement is mostly a demanding investment with a not easily predictable outcome. The rolling stock industry is often conservative in introducing new technologies or innovations in manufacturing processes, maintenance and operations. This is largely due to the strict criteria in legislation and approval of change, which are both time-consuming and costly. This paper highlights the application of recycled textile fibres and their use in rolling stock and compares their technical performance. Materials that can be reused after recycling, even in higher value-added applications, have huge benefits in waste recovery and are another step towards environmental sustainability. The paper also discusses the possibilities for the use and application of new types of materials compared to existing ones, using simulation and selected experiments. The main objective is to reduce the noise pollution from rail traffic, while complying with all applicable regulations and standards.