

Vědeckotechnický sborník

Správy železnic, státní organizace

č. 6/2022

ISSN 2694-9172

Vydavatel: Správa železnic, státní organizace

Sídlo: Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1

IČ: 709 94 234 DIČ: CZ 709 94 234

Obsah:

Název a autoři	strana
1. Simulace jízdy vlaku pomocí programu EMTP - ATP Autor: Ing. Jiří Cigánek	3
2. Implementace nefinančního výkaznictví o odpovědnosti a udržitelnosti ESG u Správy železnic, státní organizace Autor: doc. Dr. Ing. Roman Štěrbá, MBA	14
3. 45 let od zrodu lokomotiv řady 742 Autor: Ing. Ladislav Novák	27
4. Měření dynamického chování a jakosti odběru proudu pro rychlosti V_k z pohledu TSI ENE Autor: Ing. Radovan Bureš	51
5. Koncept Železnice 4.0. - vize digitální železnice v ČR Autor: doc. Ing. Martin Leso, Ph.D.	60
6. Porovnání silniční a železniční dopravy z hlediska produkce emisí CO₂ v reálných podmínkách Autoři: Ing. Mgr. Marek Mrázek, Ing. Lukáš Soukup, Ing. Jan Perůtka, Ing. František Sládek	78
7. Návrh tvaru signálního pásu od označnicku na společném nástupišti Autor: Ing. Jana Košťálová	92
8. Dvouzdrojové lokomotivy Autor: Ing. Martin Chýle	117
9. Provoz nákladních vlaků délky 740 m, díl II. Autoři: Ing. Tomáš Michálek, Ph.D., Ing. Jiří Pohl	134

1. Simulace jízdy vlaku pomocí programu EMTP - ATP

Jiří Cigánek¹

Klíčová slova

simulace jízdy, modelování, EMTP – ATP

Keywords

driving simulation, modeling, EMTP – ATP

Anotace

Se zvyšující se intenzitou soukromých dopravců např. Leo Express a RegioJet na trati mezi Ostravou a Prahou, kromě stávajícího dopravce ČD, jsou aktuálním problémem energetické výpočty s ohledem na dimenzování pevných trakčních zařízení. Náročnost energetického výpočtu metodou časové integrace okamžitého výkonu traťového vozidla je v potřebě detailních vstupních dat jako jsou tachogram – závislost rychlosti na čase a k tomu odpovídající ujetá dráha, kterou lze získat výpočtem nebo od provozovatele vlaku. Velikosti zátěže lokomotivy, kterou tvoří vagóny a odporové složky tratě nám výpočtem udává potřebnou hodnotu tažné síly. Ke každé hodnotě tažné síly odpovídá v trakčních charakteristikách hodnota proudu trakčních motorů, která je dále využije k výpočtu výkonu lokomotivy.

Abstract

With the increasing intensity of private carriers such as Leo Express and RegioJet on the line between Ostrava and Prague, in addition to the existing carrier ČD, energy calculations with regard to the sizing of fixed traction equipment are a current problem. The complexity of the energy calculation by the method of time integration of the instantaneous power of the rolling stock is in need of detailed input data such as tachogram - dependence of speed on time and the corresponding distance travelled, which can be obtained by calculation or from the train operator. The size of the locomotive load, which consists of wagons and resistance components of the track, gives us the calculation of the required value of traction force. Each traction force value corresponds in the traction characteristics to the value of the traction motor current, which one is used to calculate the locomotive's power then.

¹Ing. Jiří Cigánek – absolvent inženýrského studia na Fakultě elektrotechniky a informatiky, Technické Univerzity v Ostravě (2006). Nyní student doktorandského studia na Fakultě elektrotechniky a informatiky, Technické Univerzity v Ostravě.

1. Úvod

Jízdu vlaku s lokomotivou řady 182 byla simulována v úseku tratě Přerov - Česká Třebová (trať č. 270 dle značení Správy železnic). Konkrétně v meziměřírenském úseku Grygov, Červenka jak je vidět na obrázku č. 3, kde je znázorněno i rozmístění měření odpovídající skutečnému stavu [6]. Programem EMTP – ATP byly simulovány průběhy napětí a proudů na trakčních motorech v různých časech během jízdy. Výstupní hodnoty se dále použili pro výpočet spotřeby elektrické energie vlaku metodou časové integrace okamžitého výkonu lokomotivy. Spínací stanice v ŽST Štěpánov byla zanedbána.

2. Data k vlaku

Lokomotiva řady 182 je staršího typu, regulace výkonu je odporová, trakční motory jsou stejnosměrné šestipólové sériové elektromotory, řazené třemi způsoby:

- do série (6 motorů sériově, $U = 500V$),
- 1. sérioparalelně (2 větve po 3 motorech zapojených v sérii, $U = 1000V$),
- 2. sérioparalelně (3 větve po 2 motorech zapojených v sérii, $U = 1500V$). V každém místě, kde lze určit intenzitu elektrického pole E a kde je známá konduktivita, lze určit i vektor proudové hustoty. Jeho směr je v izotropním prostředí stejný, jako směr vektoru intenzity elektrického pole.

Pro modelování se uvažuje s odporem šesti motorů s proudem a odporem v závislosti na rychlosti dle charakteristiky na obrázku č. 4 [5].

Lokomotiva je tvořena vyhlazovací tlumivkou o velikosti 8mH zapojenou v sérii s RL členem nahrazující sériové trakční motory. Odpor motorů se mění v závislosti na rychlosti, u 40 km/h má hodnotu 5,95 Ω a pro 30km/h má hodnotu 6,66 Ω , indukčnost má hodnotu 11mH. Pro energetický výpočet jsem využil data z průběhu proudů a napětí s označením V30, V40 na RL členu, ke kterému je paralelně připojen RC filtr sloužící k útlumu přechodných dějů při přepnutí rychlostí lokomotivy. Jako zátěž lokomotivy bylo použito jedenáct nákladních vagonů typu Faccs o celkové hmotnosti 657 tun jak je vidět na obrázku č.1 [3,8].

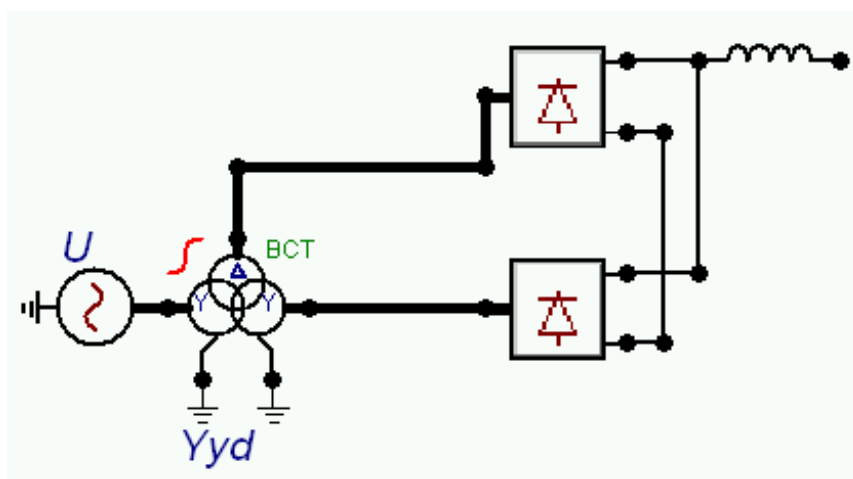


Obr.1 Lokomotiva řady 182 a nákladní vagon Faccs.

3. Data trakčního vedení a měření

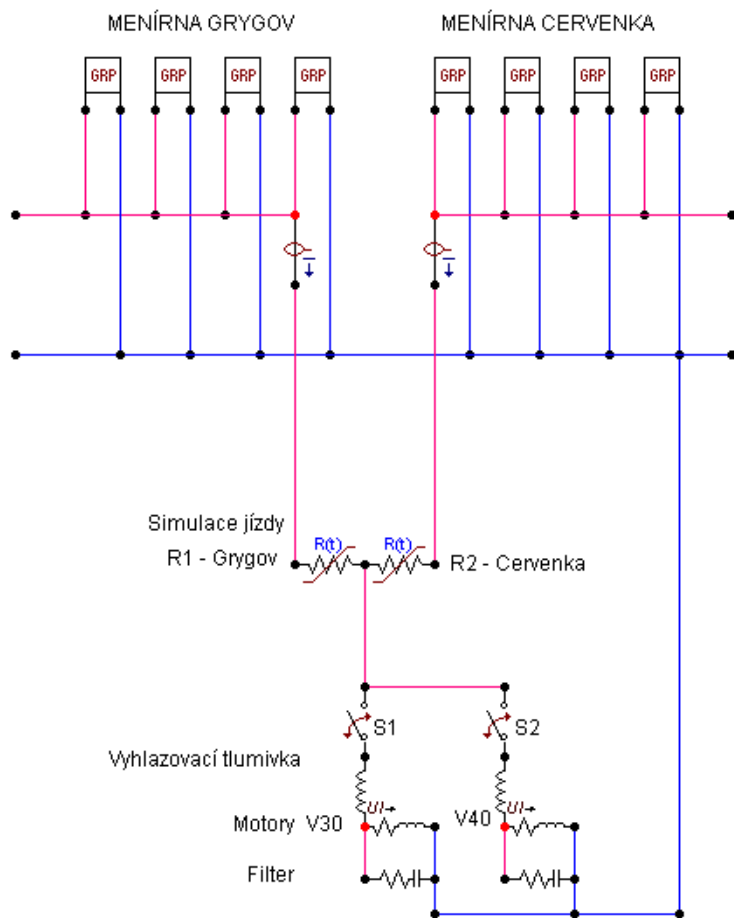
U stejnosměrné trakční soustavy se používá z hlediska úbytku napětí a provozní spolehlivosti dvoustranné napájení z trakčních měření. Vzdálenost trakčních měření u SŽ je obvykle přibližně 15 až 35 km, v tomto případě uvažujeme vzdálenost trakčních měření Grygov – Červenka 27,862 km. Dvoustranné napájení trakčního vedení je realizováno trolejovým drátem 150 mm² Cu a nosným lanem 120 mm² Cu spolu ze zesilovacím vedením 2x 120mm² Cu s měrným odporem 0,06 Ω / km (odpor věšáků, proudových propojení byl pro tyto účely zanedbán).

Základem trakční měřírny je trojvintuťový trakční transformátor 23/ 2 x 2.5 kV ze zapojením vinutí Yyd kvůli fázovému posunu 30° což je zásadní podmínka pro dvanáctipulzní usměrnění. Trakční usměrňovač má dvě paralelně pracující trojfázové můstky, což umožňuje dvanáctipulzní usměrnění trakčního proudu. Na stejném obrázku je znázorněn i odpovídající model usměrňovacího bloku v EMTP – ATP skládající se z transformátoru BCTRAN s odpovídajícími hodnotami trakčního olejového transformátoru o výkonu 5,3 MVA jak je vidět na obrázku č. 2 který vyrábí firma Power – Energo [4].



Obr.2 Model trakčního transformátoru a dvanáctipulsního usměrňovače v Emtp – Atp

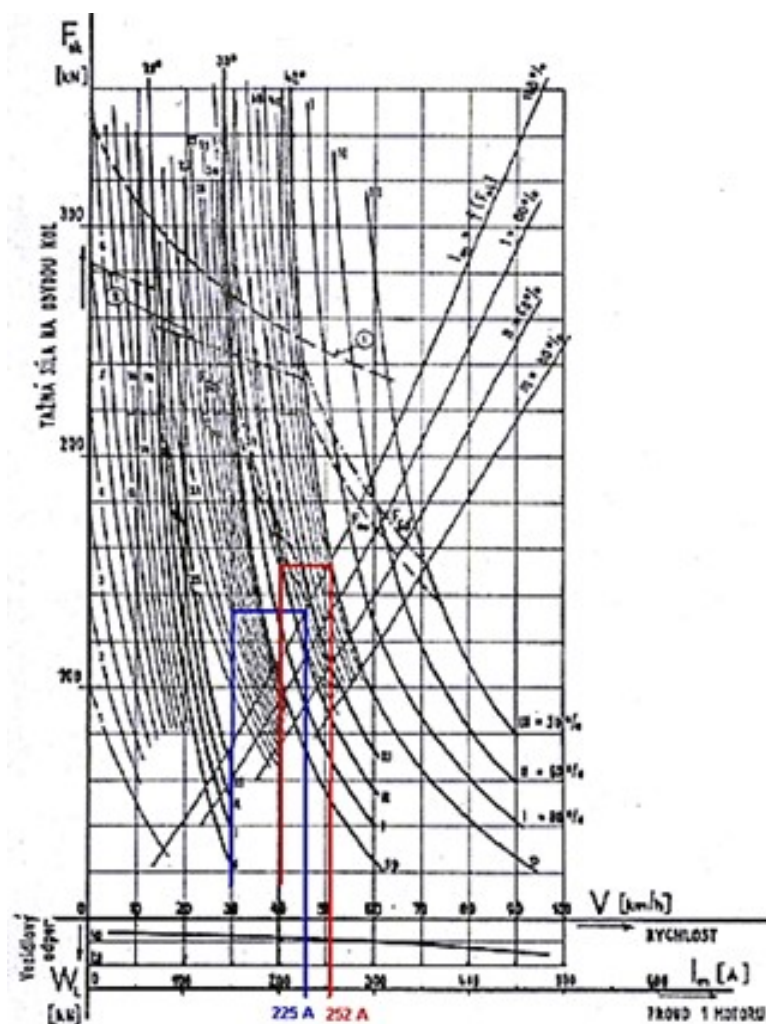
Blok s transformátorem a usměrňovačem je kvůli úspoře místa ve schéma na obr.č.3 zobrazen jako čtverec s označením GRP. Dále jsou v zapojení použity RC členy upravující průběh komutace diod. Každá z měření je vytvořena ze čtyř paralelně spojených bloků, připojených k troleji přes tlumivku o hodnotě 4 mH, v simulaci pomohla vyhladit průběh usměrněného napětí a omezuje strmost nárůstu zkratového proudu.



Obr.3 Trakční motory lokomotivy řady 182 v sérioparalelním řazení a schéma obvodu pro simulaci jízdy vlaku v úseku Grygov - Červenka v EMTP – ATP.

4. Simulace jízdy vlaku s lokomotivou řady 182

Při vzdálenosti mezi stanicemi 27,86 km je hodnota odporu vedení $1,67172 \Omega$. Simulace jízdy vlaku dle průběhu napětí a proudů V30 až V40 mezi stanicemi Grygov – Červenka je řešena dvěma časově závislými rezistory s VA charakteristikou. Hodnota odporu rezistoru R1 Grygov se mění v závislosti na vzdálenosti v úseku, (daná vzdálenost v km $\times 0,06 \Omega$) a hodnota odporu R2 Červenka se snižuje tak aby součet odporů v každém časovém kroku rovnal odporu vedení mezi stanicemi $1,67172 \Omega$ jak je to vidět v tabulce č.1. Stanovení hodnot odporů motorů pro simulaci jsem provedl dle celkového proudu lokomotivy, kde je potřebné znát proud jedním trakčním motorem [7].



Obr.4 Trakční charakteristika lokomotivy řady 180, závislost proudu 1 motoru pro rychlost 30 (modrá čára) a 40 km / h (červená čára).

Pro rychlost 30km/h odpovídá řazení

motorových skupin – sérioparalel s předřazením odporovým stupněm č.25 kde proud jednoho motoru je 225 A (odpovídající tažná síla je 135 kN) a celkový proud lokomotivy se určí dle vzorce:

$$I_{30} = \frac{6 \cdot 225A}{3} = 450A \quad (1)$$

Výpočet odporu pro simulaci je:

$$R_{30} = \frac{3000V}{450A} = 6.66\Omega \quad (2)$$

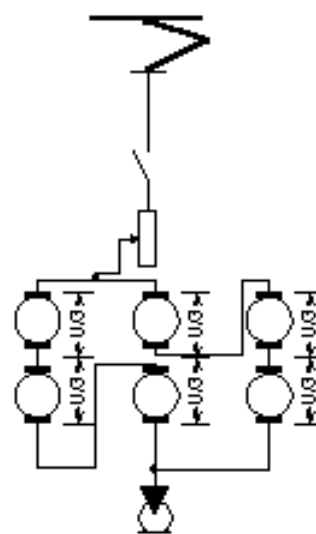
Pro rychlost 40 km/h, odpovídá sérioparalelní řazení motorových skupin se shuntovacím stupněm č.2 kde proud jednoho motoru je 252 A (odpovídající tažná síla je 150 kN) a celkový proud lokomotivy se určí dle vzorce:

$$I_{40} = \frac{6 \cdot 252A}{3} = 504A \quad (3)$$

Výpočet odporu pro simulaci je:

$$R_{40} = \frac{3000V}{504A} = 5,95 \Omega. \quad (4)$$

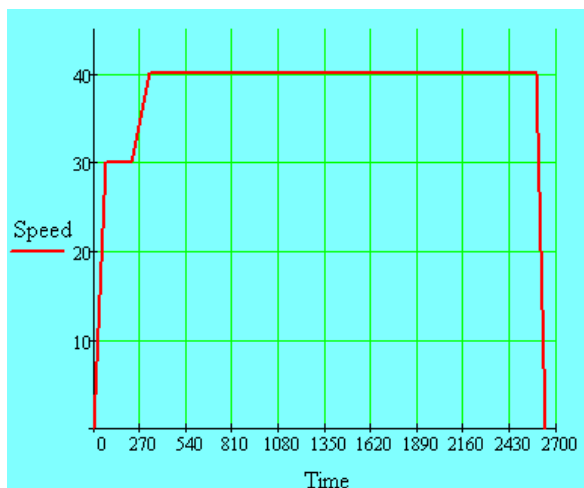
Vzdálenost (km)	Reálný čas (s)	Čas simulace (s / 1000)	R1 - Grygov (Ω)	R2 - Červenka (Ω)
0	0,1	0,0001	0,0001	1,672
0,2891	69,51	0,06951	0,01735	1,654
0,7889	129,5	0,1295	0,04734	1,624
1,303	222,1	0,2221	0,07819	1,594
2,414	322,1	0,3221	0,1449	1,527
3,525	422,1	0,4221	0,2115	1,460
9,080	922,1	0,9221	0,5448	1,127
16,86	1622	1,622	1,011	0,6603
23,52	2222	2,222	1,411	0,2603
24,63	2322	2,322	1,478	0,1937
25,75	2422	2,422	1,545	0,1270
26,86	2522	2,522	1,611	0,06035
27,55	2585	2,585	1,653	0,01852
27,86	2640	2,640	1,672	0,0001



Obr.5 Trakční motory lokomotivy řady 182 v sérioparalelním řazení

Tabulka.1 Data pro simulaci průběhu napětí a proudů jízdy lokomotivy.

Pro simulaci jízdy byl vypočten časový tachogram, který zobrazuje závislost rychlosti na čase jak je vidět na obrázku č.6.



Obr.6 Časový tachogram jízdy dle výpočtu.

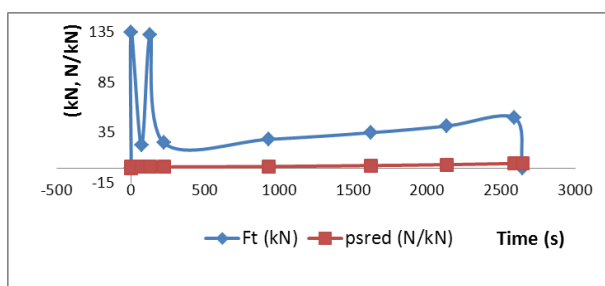
Pro zjednodušení byla uvažována rychlost do 40 km/h. Jízda vlaku dle časového tachogramu začíná rozjezdem z nulové rychlosti na rychlost 30 km/h ve stanici Grygov pokračuje minutu konstantní rychlostí a znovu zrychluje na rychlost 40 km/h kterou udržuje až do příjezdu do stanice Červenka, kdy začne brzdit do zastavení.

Podle času se vypočítala ujetá dráha a odpovídající tažná síla vlaku dle jednotlivých fází jízdy a velikosti redukovaného stoupání jak je to vidět na obrázku č.7.

Reálný čas jízdy vlaku 2640 sekund je pro simulaci v programu EMTP – ATP moc dlouhý proto byl tisíckrát zrychlený:

Čas simulace = Reálný čas / 1000 = 2,640 s.

(5)

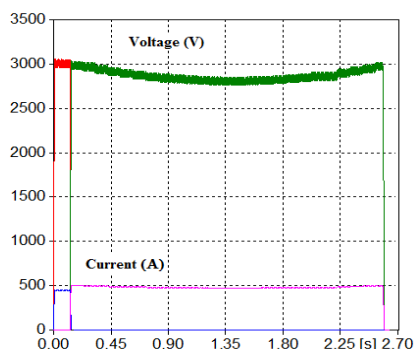


Obr.7 Požadovaná tažná síla na obvodu kol při rozjezdech a při jízdě konstantní rychlostí, kde se zvyšuje v závislosti na redukovaném stoupání tratě.

5. Výpočet spotřeby elektrické energie nákladního vlaku a měření Grygov a Červenka

Výpočet spotřeby elektrické energie jízdy a měření Červenka a Grygov jsem provedl pro jízdu rovnoměrnou rychlostí 40 km / h metodou časové integrace okamžitého výkonu vozidla [1,2,9].

Byla použita doba kroku výpočtu: 0.0001 čemuž odpovídá podle výstupního datového souboru View LIS file časový krok simulace 0.05 sekundy = časový krok reálného času 50 sekund = 0.01388 hodiny. Výstupní průběhy proudů a napětí na trakčních motorech při rychlosti 30 a 40 km/h jsou zobrazeny na obrázku č.8.



Obr.8 Průběhy napětí a proudů lokomotivy při rychlostech 30 – 40 km/h v různých časech během jízdy

Výpočet spotřeby elektrické energie byl vypočítán pro jízdu rovnoměrnou rychlostí 40 km / h. Pro tuhle fázi jízdy byl vypočítán výkon na trakčních motorech a provedena integrace za časový krok simulace $t = 0,01388$ hodiny.

$$f = V_{\text{ýkon}} = \frac{V_{40} \cdot I_{40}}{1000} \text{ (kW)} \quad (6)$$

Pro výpočet spotřeby energie E182 byla provedena integrace v software Mathcad, výsledek je matice hodnot spotřeby elektrické energie za daný časový krok:

$$E_{182} = \int f(t) \text{ (kWh)} \quad (7)$$

Součet všech prvků matice nám dáva celkovou spotřebu elektrické energie:

$$\sum E_{182} = 914,5 \text{ kWh} \quad (8)$$

V železniční dopravě se udává měrná spotřeba elektrické energie (W.h / t.km), což je poměr celkové spotřeby (W.h) vztažený na t.km (tunokilometer). Součin t.km nemá žádný fyzikální význam, je to pojem ekonomický a udává dopravní práci v tunokilometrech. Při spotřebě energie 914,5 kWh je měrná spotřeba elektrické energie (označená jako **Wmsee**):

Výpočet odporu pro simulaci je:

$$W_{msee} = \frac{T_{40} \cdot \sum E_{182} \cdot 1000}{M \cdot L_{40}} = 28,84 \text{ Wh/tkm} \quad (9)$$

kde **T40** je doba jízdy rovnoměrnou rychlostí 40 km /h – 0,6389 hod, **M** je hmotnost lokomotivy a vagonů – 777 tun, **L40** je délka projeté dráhy při jízdě rovnoměrnou rychlostí 40 km /h – 26,07 km.

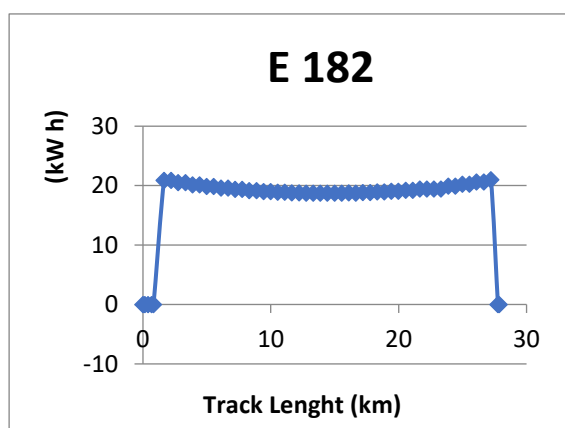
Nutné je připočítat měrnou spotřebu elektrické energie pomocných pohonů (označená jako **W_{pp}**), jako jsou kompresory, ventilátory, ovládací obvody. Pro lokomotivu řady 182 je v literatuře uváděn příkon pomocných obvodů hodnota **P_{pp} = 52,2 kW**.

$$W_{pp} = \frac{T_{40} \cdot P_{pp} \cdot 1000}{M \cdot L_{40}} = 1,647 \text{Wh/tk m} \quad (10)$$

Dále je třeba připočítat v zimním období měrnou spotřebu energie obvodů topení (označená jako **W_{top}**) pro lokomotivu řady 182 je příkon topení **P_{top} = 10 kW**.

$$W_{top} = \frac{T_{40} \cdot P_{top} \cdot 1000}{M \cdot L_{40}} = 0,315 \text{Wh/tk m} \quad (11)$$

Měrná spotřeba elektrické energie na sběrači lokomotivy při jízdě rovnoměrnou rychlostí 40 km / h v **letním období** je $W_{msee} + W_{pp} = 30,48 \text{ W.h / t.km}$.
V **zimním období** je $W_{msee} + W_{pp} + W_{top} = 30,80 \text{ W.h / t.km}$.



Obr.č.9 Závislost spotřeby energie rovnoměrné rychlosti 40 km / h na vzdálenosti (měnícím se odporu vedení při dvoustranném napájení úseku), mezi stanicemi Grygov – Červenka.

Pro výpočet spotřeby energie měnírny Grygov a Červenka (označená jako EGrygov a ECervenka), byla provedena integrace výkonu, který je výsledek součinu napětí V₁,V₂ a proudu I₁,I₂ dle hodnot průběhu napětí a proudů pro jízdu konstantní rychlostí 40 km / h za časový krok simulace 0,01388 hodin v software Mathcad elektrické energie za daný časový krok:

$$E_{Grygov}, E_{Cervenka} = \int f(t) \text{ (kWh)} \quad (12)$$

Výsledkem je matice hodnot EGrygov, ECervenka součet všech prvků matice nám dá celkovou spotřebu elektrické energie měnírny:

$$\sum E_{Grygov} = 486,6 \text{ kWh} \quad (13)$$

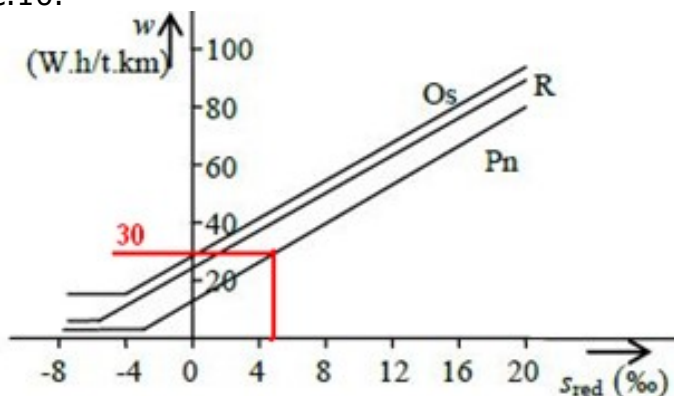
Součet matice hodnot ECervenka je menší zhruba o 13kWh :

$$\sum E_{Cervenka} = 473,7 \text{ kWh} \quad (14)$$

6. Závěr

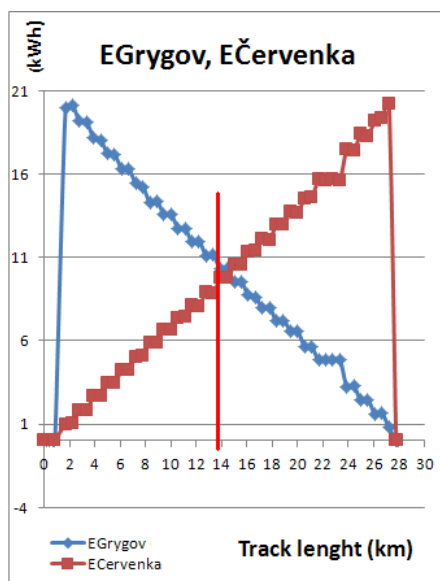
V článku byl řešen problém výpočtu měrné spotřeby elektrické energie pro zvolený vlak – lokomotivu řady 182 s nákladními vagóny Faccs při jízdě rovnoměrnou rychlostí 40 km/h traťovým úsekem Grygov – Červenka. Byla provedena odpovídající simulaci v programu EMTP – ATP, ze které byly použity hodnoty průběhu napětí a proudů pro výpočet měrné spotřeby elektrické energie integrací příkonu za daný čas.

Výsledek pro měrnou spotřebu elektrické energie v letním období je 30,48 W.h/t.km, co odpovídá spotřebě průběžného nákladního vlaku Pn při redukovaném stoupání tratě do 4,5 N/kN jak je vidět v monogramu na obrázku č.10.



Obr.10 Nomogram pro určení orientační měrné spotřeby energie pro typové vlaky.

Dále byl proveden výpočet spotřeby elektrické energie za celou dobu jízdy pro měřírny Grygov a Červenka pro jízdu konstantní rychlostí 40km/h kdy rozdíl ve spotřebě jednotlivých měření byl o 12,9 kWh vyšší u měřírny Grygov, což bylo zapříčiněno nestejnou délkou projetého úseku konstantní rychlostí 40 km/h vzhledem ke středu – 13,93 km, dvoustranně napájeného úseku, jak je vidět na obrázku č. 11. Spotřeba elektrické energie měření dvoustranného napájeného úseku tratě teda závisí od polohy rozjezdu nebo zastavování (brždění) vlaku v úseku.



Obr.11: Poměr nárůstu a poklesu spotřeby elektrické energie trakčních měření Grygov a Červenka při jízdě vlaku rovnoměrnou rychlostí 40 km /h vzhledem k délce traťového úseku. Červenou čarou je vyznačen střed napájeného úseku tratě.

Literatura

- [1]Atlas Lokomotiv. *Locomotive 182* [online]. c2004. [retrieved.2013-11-18].
URL:< <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-182/>>.
- [2]Power Energo. Trakční Transformátor [online]. c2011. [retrieved.2013-10-14]. URL:<<http://www.power-energo.cz/p114-soubory-ke-stazeni-specialni-transformatory.html> />.
- [3]Ing. Jaromír Široký, PhD. *Trakční Charakteristiky* [online]. c2007.[retrieved.2013-19-10]. URL:< http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/vozidla_e/>.
- [4]Historie železničních tratí. Data tratí [online]. c2011. [retrieved.2013-09-05].
URL:< <http://historie-trati.wz.cz/>>.
- [5]Matematický model jízdy vlaku. *Simulace jízdy vlaku* [online]. c2008.[retrieved.2014-05-01]. URL:< <http://diplom.utc.sk/wan/1881.pdf> />.

Lektorovali:

Ing. Jaroslav Luc,

Správa železnic, státní organizace, OŘ Ostrava

Ing. David Kupec,

BorsodChem Ostrava

2. Implementace nefinančního výkaznictví o odpovědnosti a udržitelnosti ESG u Správy železnic, státní organizace

Roman Štěrba¹

Klíčová slova

Správa železnic, železnice, odpovědnost, udržitelnost, ESG

Keywords

Správa železnic, railway, responsibility, sustainability, ESG

Anotace

Generální ředitel Správy železnic, státní organizace rozhodl v roce 2021 o implementaci transparentního nefinančního výkaznictví o odpovědnosti a udržitelnosti ESG. Ohleduplná a udržitelná činnost Správy železnic se řídí kritérii ESG, což znamená Environment (dopady na životní prostředí), Social a Safety (hodnotí společenskou odpovědnost a bezpečnost dopravy) a Governance (hodnotí odpovědný přístup k řízení a správě organizace, především se zřetelem na správní radu a vedení organizace). Transparentní informace ESG nejsou jen o odpovědnosti, ale i o budoucí schopnosti zdrojování financí pro rozvoj železnice.

Abstract

In 2021, Director General of Správa železnic, state organization decided on implementation of transparent non-financial reporting about responsibility and sustainability. Responsible and sustainable activity of Správa železnic refers to ESG criteria (Environment, Social and Safety, Governance). In addition, ESG approaches and practices are important for future ability of Správa železnic to source green finance and investment in order to climate transition.

1. Globální snaha o udržitelný rozvoj

Správa železnic sází na udržitelnost své činnosti, čímž se připojuje ke snaze Evropské unie (EU) vytvořit vnitřní trh usilující o udržitelný rozvoj Evropy, založený mimo jiné na vyváženém hospodářském růstu a vysokém stupni ochrany a zlepšování kvality životního prostředí.

¹ doc. Dr. Ing. Roman Štěrba, MBA – absolvent inženýrského a doktorandského studia na Fakultě dopravní ČVUT v Praze (1998), postgraduálního studia na TU Dresden (1996), College of Europe (2010), Cambridge Business School (2019) a vědecko-výzkumných stipendijních pobytů na Katalánské polytechnice Barcelona (1994) a TU Dresden (1998-2002). Docent na Ústavu logistiky a managementu dopravy, Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Po 36 letech u státní dráhy ČSD, ČSD, s.o., ČD, s.o., ČD, a.s. a SŽDC, s.o. pracuje na pozici vedoucího oddělení koncepce a strategie Správy železnic, státní organizace.

Snaha o udržitelný rozvoj vychází z globálního rámce pro udržitelný rozvoj, tzv. *Agendy pro udržitelný rozvoj 2030* Valného shromáždění Organizace spojených národů (OSN) ze dne 25. září 2015. *17 cílů udržitelného rozvoje* (SDGs) představují program rozvoje na 15 let (2015-2030), který navazuje na úspěšnou agendu *Rozvojových cílů tisíciletí* (MDGs). Na formulaci SDGs se podílely všechny členské státy OSN, zástupci občanské společnosti, podnikatelské sféry, akademické obce i občané ze všech kontinentů. *Agendu udržitelného rozvoje* oficiálně schválil summit OSN 25. září 2015 v New Yorku v dokumentu *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development* (Přeměna našeho světa: Agenda pro udržitelný rozvoj 2030), jehož součástí jsou i Cíle udržitelného rozvoje (SDGs). [1]



Obrázek č. 1: Cíle udržitelného rozvoje OSN [1]

Dne 5. října 2016 schválila EU *Pařížskou dohodu* přijatou v rámci Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu. Pařížská dohoda stanoví záměr zlepšit reakci na změnu klimatu, kromě jiných opatření taktéž sladěním finančních toků s vývojem společnosti směrem k nízkoemisnímu rozvoji a rozvoji odolnému vůči dopadům změny klimatu. V této souvislosti přijala Evropská rada dne 12. prosince 2019 závěry o změně klimatu. Pro zajištění dlouhodobé konkurenceschopnosti EU jsou zásadní udržitelnost a přechod na bezpečné, klimaticky neutrální a oběhové hospodářství, které je odolné vůči změně klimatu a účinněji využívá zdroje. Udržitelnost je již dlouho ústředním tématem EU a Smlouva o EU i Smlouva o fungování EU odrážejí její sociální a environmentální rozměr.

Dne 22. listopadu 2016 přijala Evropská komise v reakci na *Agendu pro udržitelný rozvoj 2030* OSN sdělení nazvané *Další kroky k udržitelné evropské budoucnosti*. Sdělení popisuje, co EU ke splnění úkolů Agendy 2030 dělá, a každý

ze 17 cílů udržitelného rozvoje propojuje s klíčovými politikami EU. Obsahuje rovněž vysvětlení, jak priority Evropské komise přispívají k plnění globálního programu do roku 2030. Ve sdělení Evropská komise oznámila vznik mnohostranné platformy, jíž předsedá první místopředseda Evropské komise Frans Timmermans a která hraje důležitou úlohu při výměně osvědčených postupů týkajících se plnění cílů udržitelného rozvoje a následných kroků.

Dne 30. ledna 2019 přijala Evropská komise diskusní dokument s názvem Směřování k udržitelné Evropě do roku 2030² [2] Čistá energie je uvedena jako klíč k udržitelné budoucnosti. Energii je potřeba vyrábět, skladovat a spotřebovávat trvale udržitelným způsobem. Obnovitelná energie je nedílnou součástí skladby zdrojů energie v Evropě a více než polovina dodávek elektrické energie v EU je z hlediska změny klimatu neutrální. Díky energii z obnovitelných zdrojů a energetické účinnosti existuje v EU více než 1,5 mil. pracovních míst.

Z pohledu Správy železnic jsou významným faktorem budovy. Budovy jsou v EU odpovědné za přibližně 40 % spotřeby energie, je zapotřebí propagovat a podporovat zlepšení jejich energetické účinnosti prostřednictvím renovace a modernizace. Ke snížení energetické náročnosti budov je nutné více využívat účinné a čisté elektrické vytápění, ale také inteligentní budovy a zařízení a zlepšené materiály pro izolaci, a plně tak dodržovat zásady oběhového hospodářství. Směrnice o energetické náročnosti budov³ má za cíl zlepšit kvalitu života pomocí lépe izolovaných a ventilovaných domů, které se tak mají stát lepším místem k životu, a jejím dalším cílem je dekarbonizace budov do roku 2050.

Další významnou hnací silou pro přechod k uhlíkově neutrální budoucnosti, která používá čistou energii, účinně využívá zdroje, je odvětví mobility, mj. městská mobilita, transevropské sítě, silniční doprava, jakož i lodní doprava a letectví. Doprava a služby mobility zaměstnávají přibližně 11 mil. lidí a poptávka po mobilitě je vysoká. Doprava však způsobuje znečištění ovzduší, hluk, přetížení a nehody. Sektor dopravy způsobuje téměř čtvrtinu emisí skleníkových plynů v EU a jeho uhlíková stopa se zvětšuje. Akční plán pro nízkoemisní mobilitu, který Komise předložila v roce 2016, a návrhy související se strategií „Evropa v pohybu“ [3], které následovaly později, počítá s řadou opatření, jež mají zvýšit udržitelnost našeho dopravního systému. Cílem těchto opatření je snížit emise skleníkových plynů a povzbudit evropské podniky k investicím do čisté dopravy.

Prioritou jsou čisté a cenově dostupné alternativy, aby v EU jezdila pouze vozidla s nulovými emisemi a aby moderní společnost optimálně využila digitální technologie s cílem pomoci snížit spotřebu paliva. Snížit emise také pomáhají družicové navigační systémy EU. Prioritně musí přechod k udržitelné mobilitě uskutečnit města. Ta hrají důležitou roli, přičemž jejich úkol spočívá v udržitelném urbanistickém plánování, integraci územního plánování a řešení nároků na mobilitu a infrastrukturu. Městským oblastem je třeba pomoci při digitalizaci, automatizaci a hledání dalších inovativních řešení. Městské oblasti musí usilovat o aktivní a sdílenou dopravu, ať již jde o podporu pěší chůze, jízdy

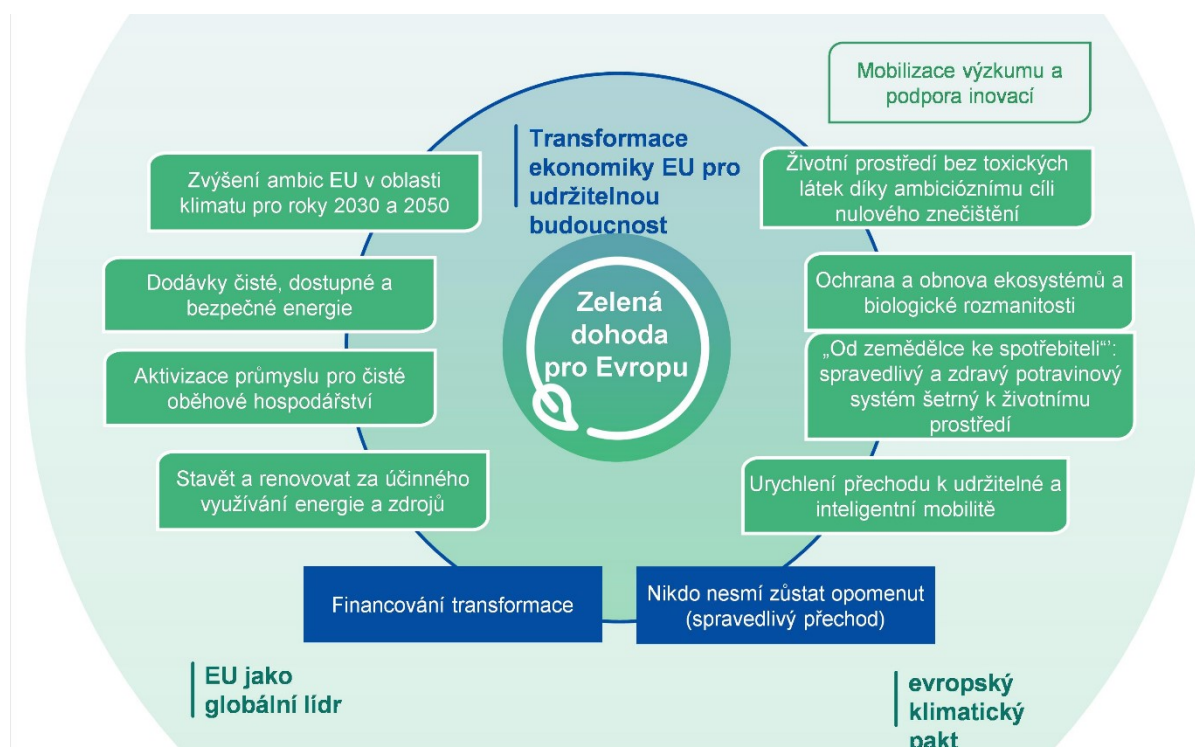
² https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/rp_sustainable_europe_cs_v2_web.pdf

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:02010L0031-20210101&from=CS>

na kole nebo služeb spolujízdy (car-sharing, car-pooling) jako doplněk k páteřním systémům veřejné mobility, které tvoří kolejová doprava.

Významnou roli má sehrát recyklace. Je třeba přejít na oběhové hospodářství, neboť vozidla, jejichž životnost skončila, obsahují mnoho hodnotných materiálů. Právní rámec EU od výrobců požaduje, aby vyvíjeli a vyráběli nová vozidla bez použití nebezpečných látek, a to takovým způsobem, aby bylo snadné materiály ze starých vozidel znovu použít a recyklovat a vyrobit z nich nové produkty. Pro dosažení účinnějšího recyklování je zapotřebí lépe využívat recyklované materiály, které jsou k dispozici ve vozidlech a dopravní infrastruktuře. Pro maximální využití potenciálu oběhového hospodářství v odvětví dopravy budou nutné další regulační a fiskální pobídky.

Pomyslným zlomem v odhodlání Evropské komise bylo ambiciózní sdělení Zelená dohoda pro Evropu.[4] Představuje výchozí plán politických ambicí a opatření. Veškeré činnosti a politiky EU budou muset přispívat k cílům Zelené dohody pro Evropu. Politická opatření musí být smělá a komplexní a musí usilovat o maximalizaci přínosů pro zdraví, životní úroveň, odolnost a konkurenceschopnost. Budou vyžadovat intenzivní koordinaci, aby byly využity veškeré dostupné synergie napříč všemi oblastmi politiky. Zelená dohoda pro Evropu je integrální součástí strategie Evropské komise zaměřené na splnění *Agendy OSN pro udržitelný rozvoj 2030* a jejích cílů udržitelného rozvoje. Udržitelnost se stala ústředním prvkem hospodářské politiky a cíle udržitelného rozvoje centrálním prvkem tvorby politik EU a jejích aktivit.



Obrázek č. 2: Zelená dohoda pro Evropu. [4]

Na dopravu připadá čtvrtina skleníkových plynů produkovaných v EU a její podíl stále roste. K dosažení klimatické neutrality je nezbytné do roku 2050 emise z

dopravy snížit o 90 %. K tomuto snížení musí přispět jak silniční, tak i letecká, železniční a vodní doprava. Dosažení udržitelné dopravy znamená upřednostnit uživatele a nabídnout jim cenově dostupnější, dosažitelnější, zdravější a čistší alternativy k (individuálním) dopravním prostředkům, na které jsou v současnosti zvyklí.

Multimodalita v dopravě potřebuje silné oživení, které zvýší účinnost dopravního systému. Prioritou bude přesun významné části vnitrozemské nákladní přepravy (75%), kterou dnes zajišťuje silniční síť, na ekologické druhy dopravy, kterými Evropská komise rozumí železnici a vodní cesty. K tomu budou třeba opatření k lepšímu řízení a navýšení kapacity železnic a vnitrozemských vodních cest. Automatizovaná a propojená multimodální mobilita bude spolu s inteligentními systémy řízení dopravy, které využívají digitalizaci, hrát stále větší úlohu. Dopravní systém a infrastruktura EU se přizpůsobí tak, aby se - zejména v městských oblastech - snížilo dopravní zatížení a znečištění.

Cena dopravy musí odrážet její dopad na životní prostředí a zdraví. Poskytování dotací na fosilní paliva je třeba ukončit. Současně musí EU urychlit výrobu a zavádění udržitelných alternativních paliv používaných v odvětví dopravy. Kombinace opatření by se měla zaměřit na emise, dopravní přetížení měst a zlepšování veřejné dopravy.

Balíček „Fit for 55“ je souborem návrhů na revizi a aktualizaci právních předpisů EU a na zavedení nových iniciativ, který má zajistit, aby byly politiky EU v souladu s klimatickými cíli dohodnutými Radou a Evropským parlamentem.

Strategie pro udržitelnou a inteligentní mobilitu – nasměrování evropské dopravy do budoucnosti [5] přináší iniciativy Evropské komise k dosažení úspěchu Zelené dohody pro Evropu:

- a) udržitelnost dopravního systému,
- b) odolnost dopravního systému vůči budoucím krizím,
- c) ekologizace mobility,
- d) účinná a vzájemně propojená multimodalita dopravního systému,
- e) vysokorychlostní železniční síť,
- f) infrastruktura pro dobíjení a doplňování paliva nízko- a bezemisních vozidel s nulovými emisemi a čistší a aktivnější mobilita v ekologičtějších městech přispívá ke zdraví a dobrým životním podmínkám jejich občanů.
- g) digitalizace jako hybatel moderní, integrované a efektivnější dopravy,
- h) digitalizace a automatizace pro zvýšení úrovně bezpečnosti, zabezpečení, spolehlivosti i pohodlí,
- i) mobilita dosažitelná a finančně dostupná pro všechny, aby i venkovské a odlehlé regiony byly lépe propojené,
- j) přístupnost pro osoby s omezenou schopností pohybu a orientace,
- k) dobré sociální podmínky, příležitosti ke změně kvalifikace a atraktivní pracovní místa.

Na globální snahy a trendy reaguje Správa železnic modernizací a přeměnou na železnici zelenější, propojenější a inteligentnější.



Obrázek č. 3: Moderní železnice pro 21. století. Zdroj: Správa železnic

2. Plnění programu exekutivy

Správa železnic je právnickou osobou, která je způsobilá vlastními právními úkony nabývat práv a brát na sebe povinnosti. Za její závazky ručí stát. Funkci zakladatele Správy železnic jménem státu vykonává Ministerstvo dopravy. Správa železnic hospodaří s majetkem státu, který tvoří železniční dopravní cestu. Správa železnic nemůže bez souhlasu vlády bezúplatně převádět majetek železniční dopravní cesty na třetí osobu, ani učinit majetek, který tvoří železniční dopravní cestu, předmětem vkladu do jiné společnosti, zástavního práva, ručení nebo kupní smlouvy. Tento majetek též nelze postihnout výkonem rozhodnutí. Správa železnic provozuje státní železniční dopravní cestu ve veřejném zájmu a na smluvním základě může provozovat i jinou dráhu.⁴ Z uvedeného vyplývá úzký vztah mezi státní organizací a vládní exekutivou.

Jedním z klíčových úkolů státu⁵ je dostavba chybějící dopravní infrastruktury a zajištění jejího provozu. Bezpečná a funkční dopravní spojení jsou jednou ze základních podmínek dalšího rozvoje státu a regionů. Pozornost se zaměřuje také na další zkvalitňování veřejné dopravy, která musí být cenově dostupná, lehce dosažitelná a musí nabídnout pohodlnou alternativu k individuální dopravě. Vláda si je vědoma, že rozvoj dopravy spočívá též ve využívání moderních technologií, inteligentních dopravních systémů či v digitalizaci dopravních agend, která povede k celkovému zefektivnění a odbyrokratizování veřejné správy.

Vládní prioritou výstavba vysokorychlostních tratí (VRT). Důležitou součástí celkové koncepce rozvoje železniční infrastruktury bude vedle hlavních větví VRT také moderní rychlé napojení krajských měst. Střednědobým cílem vlády je zmodernizovat 290 km tratí, dokončit přestavbu uzlů v Plzni, Pardubicích a

⁴ Zákon č. 77/2002 Sb., o akciové společnosti České dráhy, státní organizaci Správa železnic

⁵ <https://www.vlada.cz/cz/programove-prohlaseni-vlady-193547/#doprava>

zahájit přestavbu uzlu Česká Třebová a odstraňování úzkých hrdel navyšováním kapacity příslušných tratí a stanic v uzlu Praha. Výrazně též pokročí práce na III. a IV. železničním koridoru a na přípravě uzlu Brno. Vláda hodlá urychlit přípravu a realizaci stavby železničního spojení z centra Prahy na Letiště Václava Havla Praha. Zvyšování kapacity železniční infrastruktury umožní postupný přesun části nákladní dopravy z přetížených silnic a dálnic na koleje. Vláda podpoří programy pro výstavbu multimodálních překladišť, obnovu provozu a elektrizaci železničních vleček s napojením na průmyslové zóny, modernizace seřadovacích nádraží a podpory systému přepravy jednotlivých vozových zásilek. Mezi priority vlády patří i administrativní zjednodušení a urychlení další liniové elektrizace tratí a sjednocení trakční napájecí soustavy na AC 25 kV 50 Hz.



Obrázek č. 4: Ekologická elektrická trakce na české železnici. Zdroj: autor

3. Transparentní nefinanční informace ESG

Evropská komise ve svém sdělení *Akt o jednotném trhu – Dvanáct nástrojů k podnícení hospodářského růstu a posílení důvěry – Společně pro nový růst* [6] vymezila potřebu docílit srovnatelně vysoké úrovně transparentnosti sociálních a environmentálních informací poskytovaných podniky ve všech odvětvích ve všech členských státech. To je plně v souladu s možností, aby členské státy vyžadovaly podle potřeby další zlepšení transparentnosti nefinančních informací podniků, což je ve své podstatě nepřetržitě úsilí.

Potřebu zlepšit uvádění sociálních a environmentálních informací podniky předložením legislativního návrhu v této oblasti zopakovala Evropská komise ve sdělení nazvaném *Obnovená strategie EU pro sociální odpovědnost podniků na období 2011–2014* ze dne 25. října 2011.

Evropský parlament ve svých usneseních ze dne 6. února 2013 nazvaných *„Sociální odpovědnost podniků: řádné, transparentní a odpovědné obchodní*

chování a udržitelný růst“ a „Sociální odpovědnost podniků: podpora zájmů společnosti a cesta k udržitelné obnově podporující začlenění“ uznal, že je důležité, aby podniky zveřejňovaly informace o udržitelnosti, například o sociálních a environmentálních faktorech, s cílem zjistit rizika udržitelnosti a zvýšit důvěru investorů a spotřebitelů. Uvádění nefinančních informací je totiž zásadním krokem pro zvládnutí změny vedoucí k udržitelnému světovému hospodářství, které spojuje dlouhodobou ziskovost se sociální spravedlností a ochranou životního prostředí.

Uvádění nefinančních informací umožňuje měřit, sledovat a řídit výkonnost podniků a jejich dopad na společnost. Pro EU je uvádění nefinančních informací podniky prioritou, neboť poskytuje obraz mnohorozměrné povahy sociální odpovědnosti podniků a rozmanitosti jejich politik, které podniky provádějí, společně s dostatečnou mírou srovnatelnosti tak, aby byly uspokojeny potřeby investorů a dalších zúčastněných stran a také potřeba umožnit spotřebitelům snadný přístup k informacím o dopadu činnosti podniků na společnost.

Se zohledněním programu Evropské komise o zlepšování právní úpravy a zejména sdělení Komise s názvem *Inteligentní regulace v EU*, jehož cílem je navrhovat a přijímat právní předpisy nejvyšší kvality, které dodržují zásadu subsidiarity a proporcionality, a současně zajistit, aby byla administrativní zátěž úměrná výhodám, které přináší, byla přijata směrnice 2013/34/EU o ročních účetních závěrkách, konsolidovaných účetních závěrkách a souvisejících zprávách některých forem podniků. [7] Zavádí pro povinné podniky závazek uvádět informace o správě a řízení podniku (governance). Podnik uvádí povinné a dobrovolné zásady správy a řízení podniku a veškeré důležité informace o postupech správy a řízení podniku používaných nad rámec požadavků podle vnitrostátního práva. Pokud se podnik odchyluje v souladu s vnitrostátním právem od zásad správy a řízení podniku, vysvětlí, od kterých částí uvedených zásad se odchyluje a z jakých důvodů. Pokud se podnik rozhodl nepoužívat žádná ustanovení zásad správy a řízení podniku musí objasnit důvody, které ho k tomu vedou. Platí princip „dodržuj nebo vysvětli“.

Směrnicí 2014/95/EU o *uvádění nefinančních informací a informací týkajících se rozmanitosti některými velkými podniky a skupinami* [8] se zavádí pravidla pro výkaznictví nefinančních informací obsahující v rozsahu potřebném k pochopení vývoje podniku, jeho výkonnosti a postavení a dopadů jeho činnosti informace týkající se alespoň:

- a) environmentálních,
- b) sociálních a
- c) zaměstnaneckých otázek,
- d) dodržování lidských práv a boje proti korupci a úplatkářství, včetně
- e) popisu politik, jež podnik ve vztahu k těmto otázkám sleduje, včetně uplatňovaných postupů náležité péče, výsledků těchto politik a
- f) nefinančních klíčových ukazatelů výkonnosti, které se vztahují k příslušné podnikatelské činnosti,
- g) popis politiky rozmanitosti uplatňované na správní, řídicí a dozorčí orgány podniku s ohledem na aspekty, jako jsou například věk, pohlaví, vzdělání nebo profesní zkušenosti,

- h) cíle politiky rozmanitosti, způsob jejího provádění a její výsledky ve vykazovaném období. Pokud není žádná taková politika uplatňována, obsahuje výkaz vysvětlení, proč tomu tak je.

Sdělením C/2017/4234 [9] vydala Evropské komise *Pokyny pro vykazování nefinančních informací (metodika vykazování nefinančních informací* za účelem pomáhat podnikům zveřejňovat kvalitní, relevantní, užitečné, konzistentní a srovnatelnější nefinanční informace ESG (z environmentální, sociální a správní oblasti) způsobem, který podporuje odolný a udržitelný hospodářský růst a zaměstnanost a zajišťuje zúčastněným stranám transparentnost. Pokyny jsou nezávazné a týkají se požadavků na podávání zpráv o udržitelnosti v dimenzích ESG:

- a) Významnost, v rozsahu potřebném k pochopení vývoje podniku, jeho výkonnosti a postavení a dopadů jeho činnosti;
- b) Objektivnost, vyváženost a srozumitelnost;
- c) Komplexnost, ale zároveň stručnost;
- d) Strategický rozměr a orientace na budoucnost;
- e) Zaměření na zúčastněné strany;
- f) Konzistentnost a soudržnost;
- g) Politiky a náležitá péče;
- h) Nefinančních klíčových ukazatelů výkonnosti.



Obrázek č. 5: Modernizace konvenčních drah a nasazení nových vozidel jsou předpokladem pro snižování jízdních dob. Zdroj: Autor

4. Finanční aspekty nefinančních informací

Udržitelný rozvoj už nejsou jen proklamace. Evropská komise vypracovala zastřešující a komplexní strategii EU pro udržitelné financování s technicky důkladně zajištěným klasifikačním systémem na úrovni EU, aby bylo zřejmé, které činnosti se kvalifikují jako „zelené“ nebo „udržitelné“, přičemž se má začít činnostmi v oblasti zmírňování změny klimatu. Dne 8. března 2018 zveřejnila Evropská komise svůj akční plán nazvaný *Financování udržitelného růstu* [10], kterým odstartovala ambiciózní a komplexní strategii pro udržitelné finance. Jedním z cílů stanovených v akčním plánu je přesměrování kapitálových toků směrem k udržitelným investicím pro dosažení udržitelného růstu. Nejdůležitějším a nejnaléhavějším opatřením akčního plánu je zavedení jednotného klasifikačního systému pro udržitelné činnosti. V akčním plánu se přesměrování kapitálových toků k udržitelnějším činnostem opírá o společné komplexní chápání environmentální udržitelnosti činností a investic. Jasné pokyny ohledně činností, které se kvalifikují jako činnosti přispívající k environmentálním a sociálním cílům, pomáhají informovat investory o investicích, kterými se financují environmentálně udržitelné hospodářské činnosti.

Nařízení (EU) 2020/852 o *zřízení rámce pro usnadnění udržitelných investic* [11] stanovuje klíčové environmentální cíle:

- a) zmírňování změny klimatu;
- b) přizpůsobování se změně klimatu;
- c) udržitelné využívání a ochrana vodních a mořských zdrojů;
- d) přechod na oběhové hospodářství;
- e) prevence a omezování znečištění;
- f) ochrana a obnova biologické rozmanitosti a ekosystémů.

Za významný přínos ke zmírňování změny klimatu považuje nařízení hospodářskou činnost, která se kvalifikuje jako „významně přispívající ke zmírňování změny klimatu (stabilizaci koncentrací skleníkových plynů v atmosféře), včetně prostřednictvím inovací postupů nebo inovací výrobků“, některým z těchto způsobů (např.):

- zvyšováním čisté nebo klimaticky neutrální mobility;
- přechodem na používání obnovitelných materiálů z udržitelných zdrojů;
- výrobou čistých a účinných pohonných hmot z obnovitelných nebo uhlíkově neutrálních zdrojů.



Obrázek č. 6: Schéma nefinančních informací ESG. Zdroj: Evropská komise

5. Formulace zprávy o odpovědnosti a udržitelnosti

Jak již bylo zmíněno v úvodu, Správa železnic se zařadila mezi velké obchodní korporace, které se systematicky začaly věnovat vykazování nefinančních informací o odpovědnosti a udržitelnosti ve vztahu k ochraně životního prostředí (Environment), sociálním vztahům (Social), bezpečnosti dopravy (Safety) a správě a řízení organizace (Governance). Premiérová Zpráva bude obsahovat informace o:

- a) Udržitelném vlivu činnosti na životním prostředí (**E**nvironmental)
 - Zelená železnice – udržitelná nízkoemisní i bezemisní mobilita
 - Udržitelní modernizace dráhy
 - Udržitelná provozuschopnost
 - Snížení energetické náročnosti budov a nádraží
 - Chytré a inteligentní technologie
 - Rozvoj inovací
- b) Bezpečnosti dráhy a sociálních a společenských vztazích (**S**afety & **S**ocial)
 - Bezpečnost dráhy a drážní dopravy
 - Sociální a společenské vztahy
 - Odpovědné partnerství
 - Odpovědný zaměstnavatel
 - Vztahy s komunitami – vedeme otevřený dialog
 - Podporujeme rozmanitost a rovné příležitosti
 - Odpovědné zadávání
 - Komunikace s veřejností
 - Užitečná řešení dopravců a cestujícím
 - Bezbariérovost a přístupnost železnice
- c) Správě a řízení organizace (**G**overnance)
 - Poslání
 - Vize
 - Strategie udržitelného rozvoje - udržitelná mobilita pro budoucnost
 - Firemní principy a politika etického chování

- Odměňování
- Vztahy s komunitami
- Vztahy se zakladatelem
- Společenská odpovědnost organizace (CSR)
- Řízení udržitelnosti

6. Závěr

Správa železnic sází na udržitelnost své činnosti, čímž se připojuje ke snaze Evropské unie vytvořit vnitřní trh usilující o udržitelný rozvoj založený mimo jiné na vyváženém hospodářském růstu a vysokém stupni ochrany i zlepšování kvality životního prostředí. Udržitelný rozvoj už nejsou jen proklamace. Evropská komise vypracovala zastřešující a komplexní strategii EU pro udržitelné financování s technicky důkladně zajištěným klasifikačním systémem na úrovni EU, aby bylo zřejmé, které činnosti se kvalifikují jako „zelené“ nebo „udržitelné“, přičemž se má začít činnostmi v oblasti zmírňování změny klimatu. Významný přínos ke zmírňování změny klimatu mají například výroba, přenos, skladování, distribuce či využívání energie z obnovitelných zdrojů; zvyšování čisté nebo klimaticky neutrální mobility; přechod na používání obnovitelných materiálů z udržitelných zdrojů či výroba čistých a účinných pohonných hmot z obnovitelných nebo uhlíkově neutrálních zdrojů. V loňském roce rozhodl generální ředitel Správy železnic o strategickém přístupu k udržitelnosti v rámci organizace, což je i předpokladem pro lepší zdrojování finančních prostředků. Zjednodušeně řečeno, organizace získá výhodu udržitelného financování. Organizace se zařadila mezi velké obchodní korporace, které se systematicky věnují vykazování nefinančních transparentních informací ve vztahu k ochraně životního prostředí, sociálním vztahům a správě a řízení organizace. V souvislosti se strategickým přístupem k udržitelnosti se tak v organizaci od loňska objevuje zkratka ESG. E znamená Environmental (životní prostředí) – tato složka je zaměřena na dopady činnosti organizace na životní prostředí a Zemi jako takovou, a to jak pozitivně, tak negativně. S znamená Social (sociální, společenský) a Safety (bezpečnost) – sociální složka souvisí s věcmi, jež se točí okolo lidí spojených nějakým způsobem s danou společností, jako je firemní kultura a problémy, které se týkají zaměstnanců, klientů, spotřebitelů či dodavatelů – a to jak uvnitř, tak vně v širší společnosti. Bezpečnost vychází ze systému zajišťování bezpečnosti provozování dráhy. G znamená Corporate Governance (správa a řízení organizace) - složka korporátního řízení se vztahuje především na správní radu a vedení organizace a na dohled nad fungováním organizace, ale také na vztahy se zakladatelem.

Literatura

- [1] United Nations, Information Centre Prague. <https://www.osn.cz/osn/hlavni-temata/sdgs/>
- [2] Evropská komise. Diskusní dokument COM(2019) 22 s názvem Směrování k udržitelné Evropě do roku 2030. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/rp_sustainable_europe_cs_v2_eb.pdf

- [3] Evropská komise. Sdělení Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů: EVROPA V POHYBU, Udržitelná mobilita pro Evropu: bezpečná, propojená a čistá. COM(2018) 293 final. 17.5.2018. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0e8b694e-59b5-11e8-ab41-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF
- [4] Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Evropské radě, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů: Zelená dohoda pro Evropu, COM/2019/640 final
- [5] Evropská komise. Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů: Strategie pro udržitelnou a inteligentní mobilitu – nasměrování evropské dopravy do budoucnosti. COM(2020) 789 final. 9.12.2020
- [6] Evropská komise. Sdělení Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů: Akt o jednotném trhu Dvanáct nástrojů k podnícení hospodářského růstu a posílení důvěry Společně pro nový růst. COM/2011/0206 final
- [7] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/34/EU ze dne 26. června 2013 o ročních účetních závěrkách, konsolidovaných účetních závěrkách a souvisejících zprávách některých forem podniků
- [8] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/95/EU ze dne 22. října 2014, kterou se mění směrnice 2013/34/EU, pokud jde o uvádění nefinančních informací a informací týkajících se rozmanitosti některými velkými podniky a skupinami.
- [9] Sdělení Evropské komise: Pokyny pro vykazování nefinančních informací (metodika vykazování nefinančních informací). C/2017/4234
- [10] Evropská komise. Sdělení Evropskému parlamentu, Evropské radě, Evropské centrální bance, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů: Akční plán: Financování udržitelného růstu. COM/2018/097 final
- [11] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/852 ze dne 18. června 2020 o zřízení rámce pro usnadnění udržitelných investic.

Lektorovali:

Ing. Jan Sechter,

náměstek ministra dopravy pro řízení Sekce nesilniční dopravy a mezinárodních vztahů

Prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.,

rektor Vysoké školy logistiky, o.p.s.

3. 45 let od zrodu lokomotiv řady 742

Ladislav Novák⁶

Klíčová slova

lokomotivy ČKD, pevnostní výpočty, hlavní rámy, automatická spřáhla

Keywords

locomotives ČKD, strength computation, locomotive frames, automatic coupler

Anotace

Vzpomínky na 70. léta minulého století. Konstrukci hlavních ráků lokomotiv ovlivňuje příprava na automatické spřáhlo a zavádění výpočtů metodou konečných prvků (MKP). Do řízení lokomotiv řady 742 začíná zasahovat elektronika.

Abstract

Memories of the 1970s. The construction of locomotive frames is influenced by preparation of the automatic coupler and by introduction of calculation with the Finite element method (FEM). The electronics starts to become involved in locomotive steering of the type 742.

1. Úvod

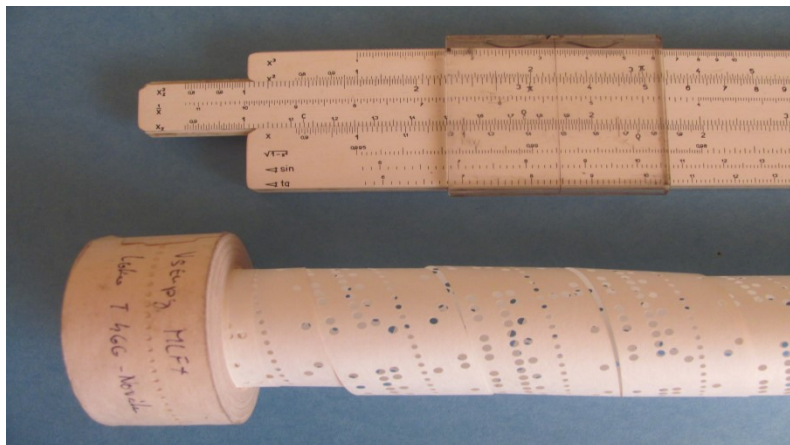
V roce 2022 uplyne 45 let od zahájení sériové výroby lokomotiv T 466.2 (nyní řada 742). Pozoruhodné na této řadě je, že nebyla plánována v žádném dlouhodobém či krátkodobém výhledu u výrobce (ČKD Praha) ani u zákazníka (ČSD). Přesto se tento typ stal počtem 494 kusů nejrozšířenější univerzální motorovou lokomotivou na českých i slovenských drahách – počtem 601 kusů ji překonaly jen traťové lokomotivy T 679.1 (řada 781), které dnes již nejezdí.

Koncepce lokomotivy byla dána, neboť vycházela z průmyslové lokomotivy T 448.0 (řada 740). Hlavní změnou bylo snížení hmotnost lokomotivy T 466.2 tak, aby nápravové zatížení kleslo ze 180 kN na 160 kN.

Složitost výpočtu hlavního rámu umocnila skutečnost, že odlehčená lokomotiva řady 742 musela vyhovět pevnostním stlačovacím zkouškám nově i přes připravované centrální evropské spřáhlo. Článek proto věnuje první kapitulu i historii vzniku myšlenky zavedení jednotného evropského spřáhla na celé evropské železniční síti.

⁶ Ing. Ladislav Novák, nar. 1945, absolvent Vysoké školy dopravní v Žilině, býv. konstruktér a projektant v závodě ČKD Lokomotivka, též technický delegát PZO Pragoinvest v Moskvě.

Hlavním tématem článku je však výpočet hlavního rámu lokomotivy pomocí logaritmického pravítka a děrných štítků sálového počítače, což je pro dnešní konstruktéry, kteří pracují na osobních počítačích s 3D modely něco nepředstavitelného (viz obrázek č. 1).



Obr. 1: Logaritmické pravítko a děrná páska se vstupními daty – originální pomůcky, se kterými byla počítána pevnost hlavního rámu lokomotivy T 466.2 programem MLFX.

2. Vývoj automatického spřáhla

2.1 Historie spřáhla

Historie vzniku automatického spřáhla je všeobecně známa. V USA byl již v roce 1873 udělen patent prvnímu poloautomatickému spřáhlu typu Janney. Použití tohoto spřáhla na všech železnicích USA uzákonil Kongres v roce 1892. Spřáhlo typu Janney je v různých obměnách na světě nejrozšířenější. V Japonsku je toto spřáhlo v provozu od poloviny 20. let minulého století. Po několika letech příprav provedli železničáři výměnu spřáhla během několika dní.

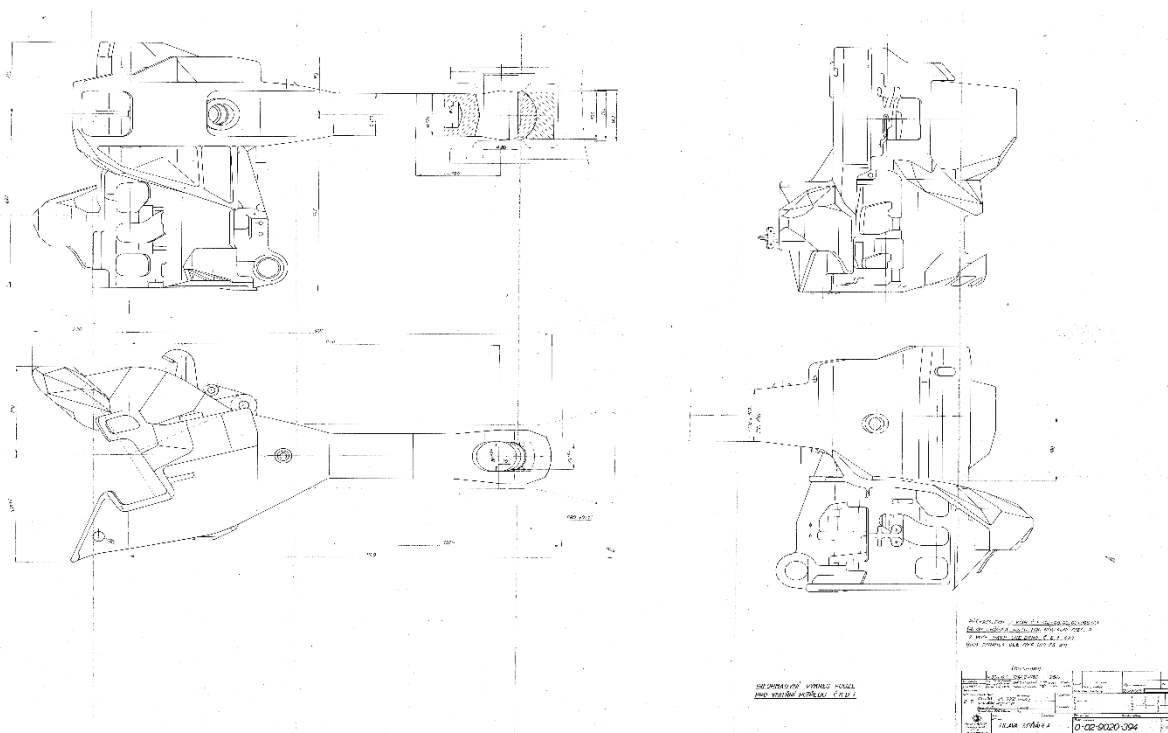
V Německu přihlásil 18. března 1903 patent na automatické spřáhlo Karl Scharfenberg. Ve spolupráci s firmami Siemens a Brown Boveri bylo vyvinuto plně automatické spřáhlo, tj. s elektrickým a vzduchovým propojením. Spřáhlo Scharfenberg se nejdříve ve velkém začalo používat po roce 1926 na vozech německého S-Bahnu, pak v berlínském U-bahnu (metru) a dalších.(1) Moskva, další města bývalého Sovětského svazu a východoevropská města s vozy metra z Mitišči, tj. včetně Prahy, jednu z variant tohoto spřáhla také používá. U ČD se v současnosti používá spřáhlo typu Scharfenberg ve zdokonalené verzi od švédské firmy Dellner u elektrických jednotek řady 471, pendolina ř. 680, všech Pantherů a motorových jednotek PESA.

V Sovětském svazu bylo zkonstruováno poloautomatické spřáhlo SA-3 v roce 1932. Základem konstrukce bylo robustní americké spřáhlo Willison, které bylo přepracováno především změnou tvaru v oblasti vzájemného spojení hlav spřáhla. Přechod na spřáhlo SA-3 začal v roce 1935 a trval s válečnou přestávkou celých 22 let až do roku 1957. (2)

2.2 Evropské spřáhlo

V Evropě se používají různé varianty spřáhla Scharfenberg na motorových a elektrických jednotkách, ale automatické spřáhlo pro lokomotivy, osobní a nákladní vozy stále chybí. Přitom již v roce 1928 v UIC vznikla pracovní skupina pro vývoj samočinného spřáhla. Práce však ztroskotaly na neúměrných základních požadavcích na toto spřáhlo. Dalším impulzem na rozpracování jednotného celoevropského spřáhla byl rok 1957, kdy na toto téma začala společná jednání organizace OSŽD a UIC. Za základ bylo vzato ruské spřáhlo SA-3, neboť byla stanovena podmínka jejich vzájemného spřahování. K roku 1973 bylo toto plně samočinné spřáhlo, tzn. včetně automatického propojení vzduchového potrubí a slaboproudých elektrických kabelů, připraveno. Slaboproudé propojení mělo sloužit např. pro elektropneumatickou brzdu, ovládání z řídicího stanoviště apod., s automatickým propojením vysokonapěťového vedení pro elektrické vytápění vlaků se nepočítalo. Výrobcům bylo s předstihem nařízeno, aby nově vyráběné lokomotivy a vagóny byly konstrukčně připraveny tak, aby při vyhlášení termínu výměny (v 80. letech minulého století) byla výměna tažného a narážecího ústrojí rychle a jednoduše provedena za předem vyrobená a uskladněná spřáhla. Nárazníky se měly odstranit později až v době, kdy bude celý proces ukončen, neboť jich bylo zapotřebí v přechodném období spolu s přechodovými spojovacími kusy pro spojení vozidel se spřáhlem s vozidly se šroubovkou. Následné práce však kvůli politickému uspořádání probíhaly dvoukolejně.

Bylo rozhodnuto, že jak UIC, tak i OSŽD budou mít svůj samostatný vzor spřáhla, která však budou vzájemně kompatibilní. U OSŽD tedy vznikl typ Intermat a u UIC AK 69 (Unicoupler). Evropa si stanovila jako optimální dobu výměny na dva roky. Jeho zavedení se však stále odkládalo kvůli jiným investičním prioritám jednotlivých evropských železnic. Evropa tak zůstala posledním světadílem bez automatického spřáhla. Ne však tak docela, neboť u elektrických a motorových jednotek došlo ke spontánnímu zavedení spřáhla S 10. U lokomotiv a jednotlivých vozů však zůstal starý spřahovací standard.



Obr. 2 – Evropské samočinné spřáhlo. Mnoho lidí o něm slyšelo, ale téměř nikdo ho neviděl. A zřejmě ani neuvidí, neboť tento typ spřahovatelný s ruským SA-3 byl z dnešního možného výběru vyřazen. Informativní výkres pro vnitřní potřebu ČKD v roce 1972 překreslil autor.

Dalším pokusem o oživení evropského samočinného spřáhla byly zkoušky upraveného spřáhla ve Švédsku v roce 1995. Právě časově, materiálově a finančně náročná příprava s nezbytnou logistikou zřejmě způsobila, že Evropa ani po pětadesáti letech tento plán neuskutečnila a další prodlužování termínu hraje proti jeho realizaci. Osobní mezinárodní doprava se přesouvá na vysokorychlostní tratě, ale i regionální tratě obsluhují ucelené jednotky vybavené, i když nejednotnými spřáhly. Zbývalo by tak především vybavit spřáhly statisíce nákladních vagónů v mezinárodní nákladní přepravě. Za ta léta navzdory ekologickým proklamacím se však velké procento přepravovaného zboží přesunulo z vagónů na kamiony. V 21. století v rámci nulové uhlíkové stopy je snaha vrátit dopravu zboží zpět na železnici. V širších souvislostech v tom hraje významnou roli i automatické spřáhlo. Nejdále je nyní v tomto snažení švýcarská SBB-CFF-FFS, iniciativní je i Německo. Třeba pomůže k zavedení spřáhla v současnosti nejskloňovanější slovo „digitální“, neboť si ho dalo do názvu i spřáhlo DAC (Digital Automatic Coupler). Ve spojení s náhradou pomalu působící pneumatické samočinné brzdy okamžitě působící elektropneumatickou brzdou přináší zejména do nákladní dopravy nové hodnoty.(3)

2.3 Vzpomínky konstruktéra na přípravu zavedení evropského spřáhla v ČKD.

Po absolvování Vysoké školy dopravní v Žilině v oboru „Konstrukce dopravní a manipulační techniky“ a roční službě u železničního vojska jsem v říjnu 1969 nastoupil do ČKD Praha, závodu Lokomotivka do konstrukční skupiny 70 (Přístroje, nátěry, nářadí). Tam jsem např. rozmísťoval do prvních motorových

lokomotiv Liniový vlakový zabezpečovač (LVZ), neboť jsem dobře znal jeho činnost v provozu z praxe na elektrické lokomotivě řady E 499.0. S cílem lépe poznat celou konstrukci lokomotivy, jsem brzy požádal o přeřazení do další konstrukční skupiny, a tak jsem se dostal do skupiny 20 (Hlavní rám). Tam jsem měl speciální úkol – „párat“ čela hlavních ráků dosud provozovaných lokomotiv, u kterých se s ohledem na jejich životnost ještě předpokládal provoz v době zavedeného evropského spřáhla. Jednalo se o lokomotivy T 478.1, T 458.1, T 435.0 a dokonce i T 678.0 a T 679.0.

Úkol souvisel s výše uvedeným plánem UIC připravit stávající lokomotivy na rychlou montáž samočinných spřáhel. Principem přípravy bylo vyříznout v ose čelníku rámu obdélníkový otvor a za ním vytvořit vyztužený prostor pro umístění tlumícího zařízení spřáhla. Otvor se překryl deskou s upevněným současným tažným zařízením, která se připevnila k čelníku 24 šrouby M24 s přesně definovanými roztečemi. V den „D“ se měla vyměnit deska s tažným zařízením za jinou, ve skladech připravenou, rozměrově totožnou desku s uchyceným automatickým spřáhlem. To však nebylo všechno. Pod čelníkem měl být přišroubován obdélníkový rám, na kterém by stála spodní část šikmé vzpěry hlavy spřáhla. Vnitřní prostor tohoto rámu měl být volný, a proto se i v plechu pluhu vyřízl otvor, který se dočasně překryl novým přišroubovaným plechem. V případě starších lokomotiv, které by měly na čelníku jen jeden brzdový kohout, bylo zapotřebí brzdové potrubí rozdvojit a přidat brzdový kohout i na druhou stranu čelníku. Propojovat hadicové spojky lokomotivy s vagónem diagonálně by totiž pod hlavou spřáhla nešlo. Ve zpracovávané dokumentaci měly být i takové detaily, jako nalezení místa ve strojovně pro jakousi přihrádku, ve které bude umístěn přechodový kus. Ten měl být používán v přechodném období v případě, že by se lokomotiva měla spojit s vagónem, který měl ještě šroubovku.

Dokumentace pro lokomotivy T 678.0 a T 679.0 byla mj. komplikovaná tím, že čelník rámu byl schován za krycími vypouklými plechy tvarovanými v souladu s kabinou a pluhem. Robustní čelníky ráků lokomotiv T 435.0 a T 458.1 se zdály být pro rekonstrukce bezproblémové, složitější bylo orientovat se v originálních výkresech s množstvím změn během doby výroby, přičemž jedna změna byla pro rekonstrukce zásadní – změna výšky rámu od temena kolejnic. S čelníkem lokomotivy T 478.1 byl zas velký problém v odstupňované tloušťce plechů. V jeho horní části, ve které má být uchycena horní řada šroubů desky spřáhla, je plech příliš slabý. Konstrukčně a pevnostně bylo optimálním řešením vyměnit celý čelník za celistvý silnější, ale to bylo technologicky náročnější.

Konstrukční výkresy rekonstrukce hlavních ráků uvedených lokomotiv byly připraveny výše popsaným způsobem a zpracovaná dokumentace byla předána na FMD, které plánovalo ve svých opravárenských dílnách provést prototypovou rekonstrukci ráků jednotlivých typů lokomotiv. Třístranná jednání nad předanou dokumentací mezi ČKD, FMD a ŽOS Nymburk začala lokomotivou T 478.1. ŽOSka hned namítla, že navržené řešení je příliš pracné, neboť znamenalo demontovat kabiny strojvedoucího a navrhla jednodušší řešení – „přilepit“ nový čelník na stávající děrovými svary. Po delší diskuzi FMD rozhodlo, že se budou rekonstruovat dvě lokomotivy a výsledné řešení bude určeno po zhodnocení obou způsobů rekonstrukce. Oficiálně jsme se výsledky rekonstrukcí nedozvěděli, jen na můj pozdější dotaz jsem v ŽOSce dostal mlhavou odpověď, že rekonstrukce bardotky dle jejich návrhu nepřinesla očekávané výsledky, a tím byly zřejmé

další pokusy o rekonstrukce odloženy. Ne však na dlouho. Po nehodě byly v roce 1976 vyměněny oba čelníky u lokomotivy T 478.1032, čelníky s úpravou pro spřáhlo se objevily i u lokomotiv T 478.1089 a 143.



Obr. 3: Současný stav přípravy na výměnu evropského spřáhla na lokomotivě 742.126. Benešov u Prahy, 7. 7. 2020. Foto autor.

Nově vyráběné sériové lokomotivy jsou již od začátku 70. let samozřejmě konstrukčně svými čelníky hlavních rámců na výměnu spřáhla připraveny, některé úpravy jsou však ošizeny. Přestalo se řešit umístění přechodového mezikusu a většina pluhů nemá vyříznutý (a překrytý) otvor pro zabudování vzpěry. Prvními sériovými lokomotivami s přípravou na spřáhlo byly lokomotivy T 478.3 - I. série (od inv. č. 013) z prosince 1971. Od konce roku 1973 následovala výroba ověřovací série lokomotiv T 448.0 (řada 740). Prvními prototypy s přípravou na evropské spřáhlo byly dvě lokomotivy T 499.0 z roku 1974. Pak již následovala sériová výroba lokomotiv T 466.2, o jejichž vzniku si řekneme podrobněji.

3. Vznik lokomotivy T 466.2

První sériově vyráběnou lokomotivou vlastní konstrukce slovenské lokomotivky v Martině byla lokomotiva T 466.0 (řada 735). Jen konstrukce dvounápravových podvozků s výjimkou kluznic a většina elektrické výzbroje byla z ČKD. Zdrojem výkonu byl licenčně vyráběný francouzský motor Pielstick typu 12 PA4 V-185. Do března 1975 bylo vyrobeno 27 těchto lokomotiv T 466.0. Ale v témže roce, vzhledem k rozhodnutí ukončit lokomotivní výrobní program kvůli jiným atraktivnějším vládním zakázkám, se ZTS Martin prostřednictvím FMD obrátily na ČKD Lokomotivku s tím, aby ČKD zakoupila a dokončila vývoj martinského prototypu lokomotivy T 466.1 (s moderní, ale vývojově nedokončenou elektrickou výzbrojí z EVÚ Nová Dubnica) včetně zkoušek a

urychleně zahájilo jejich sériovou výrobu. Naftový motor Pielstick by nadále do těchto lokomotiv dodávaly ZTS Martin.

Vedení ČKD Lokomotivka toto řešení vzhledem k odlišnému konstrukčnímu a technologickému provedení odmítlo a upozornilo, že v této výkonové kategorii má připraveno své řešení, které navazuje na vývojovou řadu lokomotiv s motory řady 230. Již v roce 1970 se rozběhla sériová výroba výkonných traťových lokomotiv T 478.3 (nyní řada 753) s dvanáctiválcovým motorem typu K 12V 230 DR. Zároveň ČKD nabídlo FMD k vyzkoušení dva prototypy lehké traťové lokomotivy řady T 475.1 s šestiválcovým motorem K 6S 230 DR pro vedlejší méně únosné tratě. Od roku 1972 se ověřovala první koncepce elektrického vytápění vlakových souprav na motorové lokomotivě řady T 476.0 s osmiválcovým motorem K 8S 230 DR. Vzhledem k tehdejší koncepci ČSD, zaměřené na motorové vozy M 474.0, nebyla nabídka na lokomotivu T 475.1 přijata. Lokomotivka proto lehkou traťovou lokomotivu překonstruovala na těžkou posunovací lokomotivu a začala ji od prosince 1973 úspěšně dodávat pro československý a od roku 1976 pro polský průmysl pod označením T 448.05 (ř. 740), resp. T 448-P.

Tyto argumenty nakonec přesvědčily tehdejší pracovníky FMD, aby již netrvali na výrobě lokomotiv T 466.1 v ČKD. Vlastně FMD nemělo příliš jiných možností. Dílny přecházely v této době na opravy vozů, příp. el. lokomotiv, přestaly se provádět revize parních kotlů, a proto hrozilo, že odstavované parní lokomotivy nebude čím nahradit. Nabízené lokomotivy ČKD neměly zařízení na vytápění vlakových souprav a nemohly plně nahradit lokomotivy T 466.1. Proto vyšší orgány nařídily ZTS Martin, aby splnily své závazky vůči ČSD a dodaly plánované lokomotivy T 466.0.

První konkrétní jednání o podobě lokomotivy T 466.2, trvající 3,5 hodiny bylo uskutečněno dne 17. 2. 1975, kde FMD předneslo tyto požadavky:

- Výkon lokomotivy – 880 kW
- Nápravové zatížení – 160 kN
- Max. rychlost – 90 km/h
- Palivová nádrž – 4 000 litrů
- Bez zařízení na vytápění vlakových souprav
- Trakční charakteristika – vycházet z tažné síly na háku 122 kN (jako u T 466.0)
- Trakční dynamo TD 805 – stejné s T 466.0 (vč. uchycovacích patek)
- Trakční motor TE 005 – dle nové úpravy dle T 466.0 a T 478.3
- Elektrická výzbroj – provedení jako u T 466.0 od 28. lokomotivy (bez EDB)
- Naftový motor K 6S 230 DR – dle posledního provedení (vstřikovací čerpadla)
- Liniový vlakový zabezpečovač typu VZ-Ž, LS-IV – kam s přístrojovou skříní?
- Příprava na radiostanici nového typu VR-20 – rozměrově menší, podklady nejsou
- Úplná příprava na zabudování automatického spřáhla – pluh šípový jako u T 478.1 (ne úhelníky), otvor pro vzpěru spřáhla překrýt
- Dvě diagonálně umístěná stanoviště s ovladači – pomocné stanoviště rozšířit o rychloměr bez registrace, ukazatelé teploty oleje a vody, ukazatel tlaku oleje
- Jednotné stanoviště s ležatým kontrolérem (viz T 478.4) nebude

- Bez mnohočlenného řízení – výkonných lokomotiv mají ČSD dost
- Bez automatického řízení rychlosti (ARR)
- Průjezdny obrys – dle ČSN stačí (ne UIC 505)
- Mazání okolků
- Odbrzďovač DAKO OL-2
- Ruční brzda na 2 kola (ne na jedno) – požadavek udržet se na sklonu 40 ‰
- Snížit hladinu hluku – úvaha o izolaci kapoty
- Provéřit vypružení na pryžokovových sloupcích – VÚKV
- Provedení s příčným tlumením sekundárního vypružení (90 km/h)
- Provést stlačovací zkoušku lokomotivy na 2 000 kN

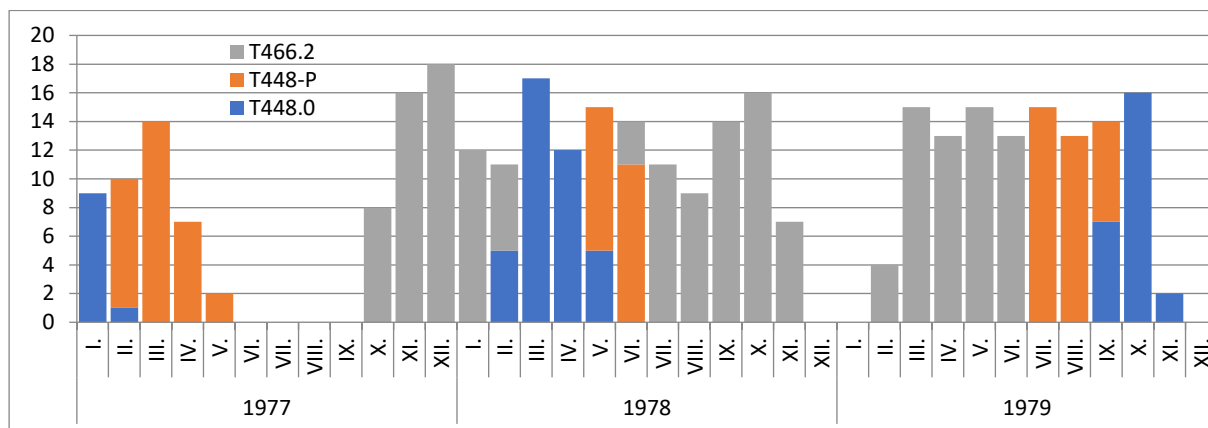
Z požadavků FMD vyplynulo, že ČKD bude těžkou posunovací lokomotivu přepracovávat zpět na lehkou traťovou a vznikne další modifikace ve výkonové kategorii 880 kW. V pozdějších schvalovacích zprávách byl kladen důraz na to, že nejde o novou lokomotivu, ale o modifikaci schválených lokomotiv. Tím odpadly časově náročné etapy zkoušek a schvalování prototypů i ověřovací série – vždyť prototypové zkoušky byly prováděny na dvou prototypech T 475.1 a kritéria ověřovací série splnily lokomotivy T 448.0. Z toho vyplynula podmínka, že lokomotiva musí dodržet koncepci výše uvedených lokomotiv. Toto je vysvětlení pro některé kritiky lokomotivy, že má zastaralou koncepci elektrického stejnosměrného přenosu výkonu a vysoké kapoty, které omezují výhled. Pro řešitele tím odpadla nutnost kreslit projekt lokomotivy, zůstala „jen“ nutnost koordinovat jednotlivé konstrukční skupiny při provádění požadovaných změn. Zpočátku vše vypadalo jednoduše tak, že nebude problém zahájit v přiměřené době výrobu hned šedesátikusové 1. série. Přáním FMD bylo začít s dodávkami lokomotiv nejpozději začátkem roku 1977. V tomto duchu byl dne 27. 2. 1975 vydán v Lokomotivce Zakázkový list č. 934. Realita však bylo trochu složitější.

Již čtyři dny po jednání s FMD vydali konstruktéři ze závodu Trakce první návrh trakční charakteristiky lokomotivy T 466.2. Současně nastala široká diskuze o technické i časové proveditelnosti předložených požadavků. Dne 12. 3. 1975 byly s upřesněnými požadavky FMD seznámeni vedoucí konstrukčních skupin v Lokomotivce. O dva měsíce později (28. 5. 1975) bylo na FMD oznámeno konečné rozhodnutí ČKD o odsunu termínu dodávek I: série lokomotiv T 466.2: na III. čtvrtletí 1977 až I. čtvrtletí 1978. Toto rozhodnutí potvrdila 25. 6. 1975 zakázková komise vydáním Příkazu ke změně zakázkového listu č. 934. Zakázková komise projednala i související plány výroby dalších lokomotiv. Na duben 1977 byla naplánována výroba deseti nových lokomotiv pro Bangladéš. V roce 1978 mělo být v mezeře mezi výrobou I. a II. série lokomotiv T 466.2 vyrobeno 10 lokomotiv ověřovací série T 499.0 (řada 759). Do roku 1979 se mělo vyrobit celkem 250 až 270 lokomotiv T 466.2. Výroba průmyslových T 448.0 byla odsunuta na období až po roce 1980. Dnes již víme, že skutečnost byla trochu jiná.

Kontrakt na export lokomotiv do Bangladéše nebyl podepsán a ani k výrobě lokomotiv T 499.0 nedošlo. Kontrakt na dodávku I. série lokomotiv T 466.2 byl splněn ve slíbeném termínu do I. čtvrtletí 1978, včetně jubilejní T 466.2037, která má výrobní číslo 10 000. V roce 1978 byla dodána i celá II. série, do roku 1979 bylo pro ČSD dodáno celkem 180 lokomotiv T 466.2. Výroba průmyslových lokomotiv T 448.0 se neodsunula, ale pokračovala dál šedesátikusovými sériemi ročně, včetně nového exportního provedení pro polský průmysl s označením

T 448-P. Jak byla poskládána skutečná výroba všech tří modifikací lokomotiv v kusech po měsících v uvedeném období na první montážní lince v Lokomotivce ukazuje graf č. 1. K tomu bylo samozřejmostí vyrábět na druhé lince ročně kolem 300 lokomotiv ČME3 včetně pěti jejich modifikací.

Graf č. 1 – Počty tří modifikací lokomotiv o výkonu 880 kW vyrobených v jednotlivých měsících v letech 1977-1979 v ČKD Lokomotivka



Zdroj: autor

4. Konstrukční změny lokomotivy T 466.2 v porovnání s T 448.0

Podstatná redukce hmotnosti hlavního rámu lokomotivy byla dána od počátku požadavkem na snížení nápravového zatížení na 160 kN. Ale o tom bude řeč později a podrobněji. Další změny neměly již podstatnější vliv na hmotnost, ale zvyšovaly pracnost výkresových změn. Značnou komplikaci způsobila také skutečnost, že ne všechny uskutečněné změny byly zadány v samém začátku. Pojdme si některé změny připomenout.

Požadavek na snížení vnější hlučnosti znamenal zvýšení hmotnosti, pracnosti zhotovení výkresové dokumentace kapot i samotné výroby, neboť byl řešen zdvojením plechů dveří a střech kapot a zesílením mezistěny mezi strojovnou a kabinou. Nepodařilo se však zvládnout technologii vyplnění těchto dveří protihlukovými matracemi. Maličkosť bylo doplnění chybějících bočních krytů hlavního rámu.

Nový požadavek na zjednodušení vzduchového schématu tlakové brzdy na jednookruhovou brzdou podle standardů ČSD znamenal zrušit systém modernějšího a bezpečnějšího, i když složitějšího systému dvouokruhových brzd, použitého na průmyslových lokomotivách.

Při dovybavení lokomotiv liniovým vlakovým zabezpečovačem (typ VZ-Ž, LS IV) nebyl problém s umístěním snímačů za pluhu, ani se světelnou signalizací v kabině, ale s umístěním vlastní skříně LVZ.

S požadavkem na změnu přišel i sesterský závod ze Smíchova, vyrábějící naftové motory K 6S 230 DR. Správně předpokládal, že v provozu na ČSD budou lokomotivy T 466.2 pracovat s větší zátěží než T 448.0 na průmyslových vlečkách. Sám zvýšil výkon vodních čerpadel a na Lokomotivce žádal zvýšení

výkonu chladícího bloku. Řešením byla záměna třížebrovkových chladících článků za dva dvoužebrovkové za sebou, též se měnil úhel natočení lopatek ventilátorů chlazení.

Poslední změnou na poslední chvíli bylo zjednodušení zapojení trakčních motorů. První, již vzpomínanou, trakční charakteristiku předal závod Trakce v únoru 1975 s převodem 78:15 v souladu s typem T 448.0. Nová charakteristika vznikla v červenci 1976 již s převodem 77:16, který zabezpečil pro ČSD na lokomotivách T 466.2 shodná dvojkolí s T 478.1 až T 478.4. Tím měly být vyřešeny základní parametry pro zátěžový diagram za předpokladu, že trakční motory budou zapojeny ve skupinovém řazení sérioparalel/paralel.

To by však nesměl v listopadu 1975 do závodu Trakce nastoupit čerstvý absolvent VŠD v Žilině ing. Jiří Pohl. Po prvních zkušenostech na projektu nákladní motorové lokomotivy pro Turecko nabyl přesvědčení, že se navrhovaná elektrická výzbroj pro lokomotivy T 466.2 poněkud nehodí.

Výhodou skupinového řazení je, že zajišťuje plné využití trakčního výkonu do rychlosti přes 100 km/h. Lokomotivy T 466.2 jsou však primárně určeny na nákladní dopravu na vedlejších tratích, kde nebudou takové rychlosti dosahovány. Na druhou stranu čtyři trakční motory TE 005 poskytovaly při převodu pohonu dvojkolí 77:16 lokomotivám T 466.2 trvalou tažnou sílu 123 kN, tedy stejně jako lokomotivy T 478.1 a T 478.3, ale při nižší hmotnosti lokomotiv T 466.2 bylo třeba lépe využívat adhezi. Zkušenosti z provozu podobně dimenzovaných lokomotiv T 466.0 u ČSD ale ukazovala, že jednoduchá skluzová ochrana, detekující skluz podle rozdílu proudů mezi podvozky nepracuje s potřebnou spolehlivostí. Selhává totiž při současném prokluzu dvojkolí v obou podvozcích. Další nevýhodou je, že spínáním vyvolané přechodové jevy při skupinovém řazení trakčních motorů a také náhlým přechodem trakčních motorů z rozvinutého skluzu zpět do adhezního záběru se vyvolávají prudké změny trakčního proudu, které mohou způsobit přeskoky na komutátorech trakčních motorů i trakčního generátoru.

Podstatou navrhované inovace elektrické výzbroje na lokomotivách T 466.2 bylo zrušení skupinového řazení, což sice snížilo rozsah využití instalovaného výkonu motoru do 70 km/h, zato značně zjednodušilo schéma trakčního obvodu a zmenšilo pravděpodobnost přeskoků na komutátorech. Lepší využití tažné síly na mezi adheze a zvýšení spolehlivosti měla přinést změna řešení skluzové ochrany v podobě použití nově se rodící polovodičové techniky. Polovodičová technika též měla být použita pro regulaci nabíjecího dynama a v časovém relé. Tady ale mohl nastat problém. Dokumentace k elektrické výzbroji byla již vydána a zavádět do výzbroje nový nevyzkoušený element bylo riskantní zvláště v době, kdy měla být do roka spuštěna výroba rovnou celé šedesátikusové série. Aby se nad tím nápadem (méně kontaktů a trochu elektroniky) nemohlo mávnout rukou, že je to utopie, podal ho Jiří Pohl spolu s konstruktéry Milošem Junkem a Zdeňkem Hříbalem formou zlepšovacího návrhu, jejichž projednávání mělo v té době prioritu.

První a směrodatný odborný posudek musel vyřknout jejich nadřízený – hlavní konstruktér závodu ČKD Trakce Ladislav Netolický. Byl to však správný člověk na svém místě a podporoval zavádění elektronických systémů do lokomotiv i tramvají. Nejpádňjším argumentem pro prosazení návrhu pro vedení

závodu však byla značná úspora pracnosti a materiálu. Výrobní závody byly v té době zavaleny příkazy a směrnicemi o těchto úsporách, jejichž plnění bylo někdy za hranicemi splnitelnosti a vedlo i k zhoršování kvality výrobků. Navrhovaná změna elektrické výzbroje na lokomotivách T 466.2 byla spojena s velmi významnou úsporou materiálu i pracnosti. Odpadly čtyři velké linkové elektropneumatické stykače SD 11, šest shuntovacích stykačů SC 11, přepínač směru byl poloviční, ušetřilo se i dost pomocných stykačů a relé. Také silných kabelů o průřezu 185 mm² zbyla k trakčním motorům polovina, jen osm, nikoliv 16. Ve výsledku byla inovovaná elektrická výzbroj asi o 430 kg lehčí než původní, z toho elektrický rozvaděč byl lehčí o 250 kg a na kabelech se ušetřilo 180 kg. To znamenalo při sérii 60 lokomotiv nejen docela slušnou úsporu mědi a oceli, ale i úsporu tisíců normohodin lidské práce. Souhlasit s realizací návrhu a inovací elektrické výzbroje lokomotiv T 466.2 však znamenalo v útvaru konstrukce urychleně přepracovat již vydanou konstrukční dokumentaci a zdůvodnit to navazujícím útvarům.

Následně bylo nutno jednat s FMD a přesvědčit odborníky ze železnice o správnosti inovativních úmyslů. Kontrakt a technické podmínky na lokomotivy T 466.2 již byly dávno uzavřeny. Václav Krátký z odboru kolejových vozidel 012 tehdejšího FMD byl spontánně pro, neboť z praxe věděl, že lokomotivy T 466.0 s obdobně řešenou elektrickou výzbrojí, jaká byla uvažována i pro lokomotivy T 466.2, nejsou schopny dopravovat nákladní vlaky vytižené na úroveň normativu zátěže za ztížených adhezních podmínek. Logicky se však potřeboval přesvědčit, že nové pojetí elektrické výzbroje bude funkční. Dohodl se velmi rychle s vedoucím servisu ČKD Trakce Františkem Skálou, že několik lokomotiv T 466.0 v provozu ČSD na zkoušku v předstihu předělají na nové zapojení trakčních motorů a v provozu ověří. První dvě lokomotivy T 466.0071 a 072 ze strojové stanice Benešov vozily nákladní vlaky na sklonově náročné vedlejší trati do Vlašimi, další T 466.0032 se zabudovanou elektronickou skluzovou ochranou s děličem napětí jezdila z Tábora do Milevska apod. Její přínos byl ve srovnání s původním skluzovým relé velmi zásadní. Vlaky již v kritických místech tratě neuvízly, proudové rázy v trakčním obvodu se podařilo eliminovat, kola lokomotivy se dobře držela na kolejnicích. Dojmy nabyté z vozby nákladních vlaků touto upravenou lokomotivou s novou elektronickou skluzovou ochranou Václava Krátkého přesvědčily. Zaručil se vedoucímu vývoje železničních vozidel na FMD, všemi respektovanému železničnímu odborníkovi Karlu Sellnerovi, že nové lokomotivy T 466.2 budou v nákladní dopravě v inovovaném provedení spolehlivě fungovat. Je na místě ocenit odvahu Karla Sellnera zařadit do provozu na ČSD rovnou 60 lokomotiv v novém provedení bez do té doby obvyklých rozsáhlých prototypových zkoušek, neboť on byl odpovědný za park kolejových vozidel, jeho funkčnost a spolehlivost. Podobnou rozhodnost a odvahu je pochopitelně nutno ocenit i na straně obou hlavních konstruktérů – Ladislava Netolického v ČKD Trakce a Antonína Kosiny v ČKD Lokomotivka. (4)

Snahou výrobce je neprovádět příliš mnoho změn v průběhu sériové výroby, pokud k tomu nejsou pádné technické nebo ekonomické důvody. Tento případ nastal v případě příbuzných lokomotiv T 448.0. Změna zapojení trakčních motorů po vzoru lokomotiv T 466.2 byla provedena v roce 1978 od lokomotivy T 448.0613 a od T 448-P033. Naopak normě Poláků na vyšší zábradlí 1 100 mm se přizpůsobily lokomotivy T 448.0 i T 466.2. Lokomotiva T 466.2 měla výšku zábradlí 900 mm jen v prvním návrhu typového listu, T 448.0 do inv. čísla 612.

5. Vzpomínka řešitele na první vážení lokomotivy T 466.2001.

Především zvětšení chladícího bloku více zatížilo přední podvozek a zjednodušené zapojení TM naopak odlehčilo zadní podvozek. Proto bylo s napětím očekáváno vážení první lokomotivy.

Dne 20. října 1977 na konci první směny jsem byl jako řešitel lokomotivy pozván pracovníky kontroly na první vážení, kde nás zajímalo, kromě celkové hmotnosti i dodržení předepsaných tolerancí mezi jednotlivými nápravami, resp. koly, v neposlední řadě i výška nárazníků. Tato výška a změna nápravových zatížení se u lokomotiv s kývačkovými podvozky reguluje pomocí matic u jednotlivých šroubových pružin primárního vypružení na podvozcích. Při obvyklém nastavení byla změřená výška nárazníků o 10 až 15 mm výše než předepsaných 1 065 mm pro prázdnou lokomotivu. Při vytočení matic na doraz výška nárazníků klesla na požadovanou hranici a přistoupilo se k vážení. Hmotnost prázdné lokomotivy činila 59 040 kg, což bylo o 820 kg méně než v rozboru hmotnosti a dokonce o 1 540 kg méně než udával kusovník. To se dalo částečně vysvětlit tím, že se v kusovníku ještě nepromítla změna v elektrické výzbroji a chybějící protihluková výplň.

Pak se přistoupilo k vážení lokomotivy s $\frac{2}{3}$ provozních zásob. Zde je třeba poznamenat, že nominální hodnota hmotnosti lokomotivy se definovala v technických podmínkách s $\frac{2}{3}$ provozních zásob poprvé od lokomotiv T 478.1, které se nemohly při vážení s plnými zásobami vejít do limitu hmotnosti. Jak se však ukázalo, u lokomotiv T 466.2 mohl vzniknout opačný problém, takže k výsledkům vážení je možno připočíst třetinu provozních zásob (tj. asi 1 100 kg), neboť dle technických podmínek je jmenovitá hmotnost lokomotivy T 466.2 definovaná s plnými zásobami. Zůstaneme však u $\frac{2}{3}$ provozních zásob, protože v tom duchu se prováděla všechna vážení lokomotiv T 466.2. Při nominální hmotnosti 64 t a přípustné toleranci (-1 % a +3 %) může být minimální hmotnost 63 360 kg a maximální 65 920 kg.

Samotné vážení bylo provedeno s rovnoměrně umístěným (na víkách písečníků) závažím o hmotnosti 800 kg, které nahrazovalo chybějící zátěž – dvě osoby, písek, náradí, nátěr a nenamontovaná sedadla. Zde jsou výsledky prvního vážení první lokomotivy T 466.2:

Povolený rozdíl skutečného zatížení mezi levým a pravým kolem téhož dvojkolí ± 4 % byl vždy splněn. Povolený rozdíl zatížení dvou sousedních dvojkolí ± 2 %, tj. v průměru rozdíl v hmotnosti na nápravu 629 kg byl překročen mezi 2. a 3. dvojkolím, kde činil 930 kg. Rozdíl v hmotnosti na přední a zadní podvozek byl tak v nepřijatelné hodnotě 1 480 kg. Pracovníci zkušebny si následně pracně pohráli s regulačními maticemi podvozků a dosáhli při druhém vážení následujícího výsledku:

Rozdíl zatížení mezi dvojkolími jednotlivých podvozků se podařilo stáhnout na nulu. Rozdíl hmotnosti mezi 2. a 3. dvojkolím se snížil na vyhovujících 580 kg. Celková hmotnost lokomotivy byla při druhém vážení 62 840 kg, což znamenalo, že při dvoutřetinovém limitu zásob chybělo 520 kg do minima, dle TP se však překročila o 620 kg spodní minimální hranici hmotnosti lokomotivy a formálně by tak mohla být puštěna do provozu. Pracnost regulace a neustálé balancování na hranicích tolerance nemohlo být přijatelné pro sériovou výrobu. Výsledky obou

vážení jsou uvedeny v následujících tabulkách pro jednotlivá kola, dvojkolí, podvozky a celou lokomotivu v hmotnostech v kg:

T 466.2001			1. vážení		6288 0 kg
L kolo	P kolo	Dvojkol í	Podv.	Loko	
7910	8000	15910	3218	0	
8020	8250	16270	0		
7640	7700	15340	3070		
7720	7640	15360	0		

T 466.2001			2. vážení		6284 0 kg
L kolo	P kolo	Dvojkol í	Podv.	Loko	
7900	8100	16000	3200	0	
7900	8100	16000	0		
7680	7740	15420	3084		
7740	7680	15420	0		

Sbalil jsem své poznámky a šel domů si v klidu spočítat možné varianty nápravy v podobě posunu těžiště lokomotivy. Ráno jsem přišel do práce s dvěma variantami řešení. Jedna se týkala prvních šesti lokomotiv pro Bratislavu, neboť ty byly buď smontované, nebo již v různém stavu rozpracovanosti na montážní lince – sérová výroba běžela již naplno bez čekání na dokončení první lokomotivy. Přidaný balast o hmotnosti 600 kg pod zadním představkem by měl snížit rozdíl hmotnosti mezi podvozky na potřebné minimum. Zásobovači proto urychleně zajistili pro těchto šest lokomotiv po 14 litinových kostkách o hmotnosti asi 560 kg z vysočanského závodu ČKD Slévárny a ty se upevnily do bočních skříněk hlavního rámu pod zadním představkem, které původně měly sloužit pro umístění náradí. Druhá lokomotiva s litinovými kostkami byla vážena 24. října 1977. Vzpomínané závaží 800 kg se ale správněji rozmístilo tak, že většinou se uložilo v okolí kabiny. Výsledkem vážení bylo, že hmotnost na první podvozek byla 31 890 kg a na druhý 31 900 kg, takže rozdíl činil pouhých 10 kg. Průměrná hmotnost 2. až 6. lokomotivy byla 63 984 kg. Sedmý a osmý hlavní rám byly dobalastovány do vnitřních prostorů rámu pod kabinou na montáži a teprve od devátého se rámy dodávaly na montáž kompletní již s balastem. Výpočet stanovil jako optimální hmotnost balastu v rámu na 850 kg. Lokomotiva T 466.2007 podstoupila vážení začátkem listopadu 1977. Po vyhodnocení vážení šesti lokomotiv bylo zjištěno, že v extrémním případě by při plných zásobách mohla hmotnost lokomotivy atakovat horní přípustnou hranici, proto byl objem balastu trochu snížen. Tím bylo ladění rovnoměrnosti nápravových zatížení dokončeno. Průměrné hodnoty hmotnosti (v kg) dvou šestic lokomotiv lze porovnat v následujících tabulkách:

T466.2007 až 012				Průměr	
L kolo	P kolo	Dvojkolí	Podv.	Loko	
8100	8015	16115	32165	64362 kg	
8038	8012	16050			
7997	8066	16063	32197		
8082	8052	16134			

T466.2013 až 018				Průměr	
L kolo	P kolo	Dvojkolí	Podv.	Loko	
8065	8025	16090	32112	64205 kg	
8025	7997	16022			
8037	8005	16042	32093		
7948	8103	16051			

6. Výpočet hlavního rámu lokomotivy

Hlavní rámy traťových skříňových lokomotiv mají hlavní podélníky tvaru uzavřeného obdélníku a nosnou součástí je i boční příhradová konstrukce. My se však budeme zabývat hlavními rámy kapotových lokomotiv. Současné rámy s dvěma nárazníky na čelníku mají relativně jednoduchou konstrukci i po pevnostní stránce. Základ tvoří dva podélné profily tvaru „I“ v osách nárazníků, které jsou spojeny vpředu a vzadu masivními čelníky a v místech tažných čepů dvěma příčníky. Při pevnostních zkouškách je rám namáhán vzpěrem tak, že se síly 2×1 MN přenášejí podélně z nárazníku na nárazník právě přes tyto nosné profily. Přenos sil trochu komplikuje skutečnost, že výškově jsou nárazníky nižší, než je těžiště „I“ profilů, což způsobuje přídavné ohybové namáhání celé konstrukce. Složitější situace nastala po vydání předpisu, že lokomotivní rám musí kvůli budoucímu spřáhlu vyhovět i namáhání od vzpěru silou 2 MN v místě dnešního tažného háku. V praxi to znamená přenést tuto sílu z osy lokomotivy masivními čelníky a šikmými výztuhami do obou podélníků a na druhém konci ji do této osy vrátit zpět.

Vzpomínka řešitele na výpočet rámu.

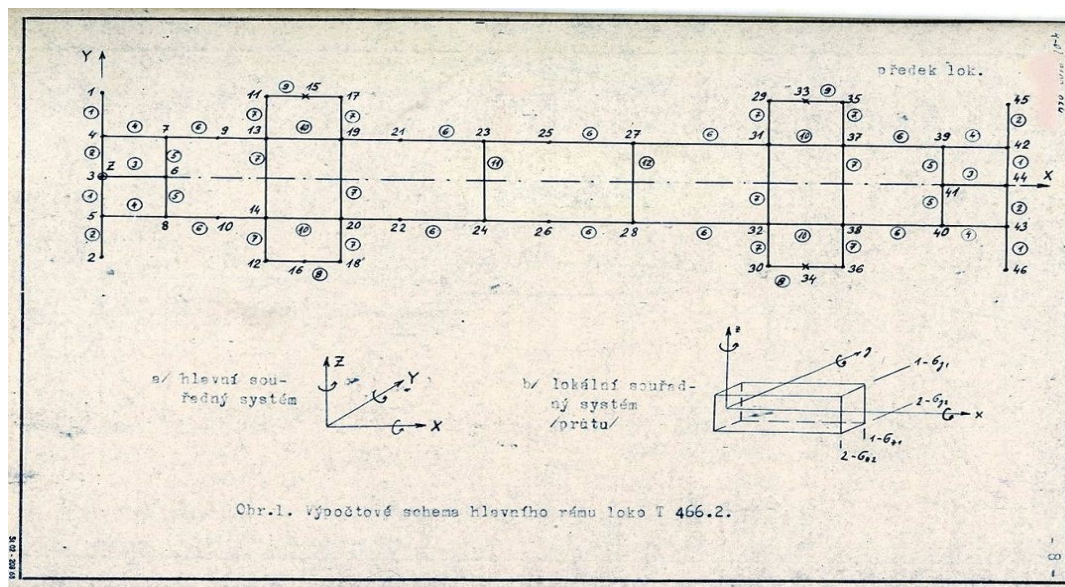
Jak již bylo řečeno, hlavními rámy jsem se zabýval již v oddělení konstrukce. Později v oddělení projektů, kde jsem byl vybrán jako řešitel lokomotivy T 466.2, ležel přede mnou náročnější úkol v podobě podstatného odlehčení rámu z lokomotivy T 448.0. V té době se na mne obrátil vedoucí oddělení pevnostních zkoušek Vladimír Synek, jestli bych se nechtěl blíže podílet na výpočtech hlavních rámů. Do té doby to často fungovalo tak, že vyhotovená dokumentace hlavních rámů se předala do Výzkumného ústavu motorových lokomotiv (VÚML) při ČKD, kde pracovníci ústavu se museli orientovat v množství detailních výkresů a z nich vybírat jen ty, které byly důležité pro sestavení výpočtového modelu a následného kontrolního pevnostního výpočtu. Ústavu by velmi pomohlo, kdyby se na sestavování výpočtového modelu podílel sám projektant rámu. Rád získávám nové znalosti, a tak jsem okamžitě s nabídkou souhlasil. VÚML měl konkrétně pro tyto účely k dispozici dva programy, které fungovaly na sálovém počítači typu 1CT 1905. Počítač zabíral jedno patro Výpočetního střediska v budově Generálního ředitelství ČKD ve Freyově ulici v pražských Vysočanech a byl značně vytížený, neboť např. zpracovával tisíce platů zaměstnanců všech závodů ČKD libeňsko-vysočanské oblasti, ale i výkresových kusovníků pro objednávky materiálů.

Program MLAX

První počítačový program pod zkratkou MLAX řešil deformace a namáhání prutových konstrukcí. Pro výpočet hlavního rámu lokomotivy T 466.2 jsem ve spolupráci s pracovníky ústavu vytvořil plošný výpočtový model prutové soustavy, geometricky symetrický podle podélné osy lokomotivy, který dostatečně přesně zobrazuje namáhání ve střední části rámu (obr. 4).

Základním úkolem bylo stanovit rozměry podélných profilů tvaru „I“. Lokomotiva T 475.1 měla v základním profilu (A) horní i dolní pásnici o tloušťce 15 mm a stojinu 10 mm. Nevyhověla však stlačovací zkoušce silou 2 MN. Pro porovnání vhodného základního profilu byl ještě zvolen rozměr s tloušťkou 20 mm v obou pásnicích a stojinou 10 mm (profil B). Lokomotiva by však

nevyhovovala po hmotnostní stránce. Z rozboru průběhu napětí v profilu tvaru „I“ vyplývá, že při vzpěru i tahu je vždy podstatně více namáhaná spodní pásnice. Proto jsem zvolil profil (C) s horní pásnicí 15 mm a spodní 20 mm při stejné opěť 10 mm. Dosáhlo se tím o 10 % nižší hmotnosti proti profilu „B“. Posunutím neutrální osy průřezu se snížil zatěžující ohybový moment na 94 %. Tím celkové napětí v dolní pásnici zůstalo na téměř stejné úrovni, zatímco v horní pásnici stoupl o 29 %, takže při poměrně nízkém napětí v tomto místě došlo k lepšímu využití materiálu. Proti variantě „A“ se snížilo max. napětí v dolní pásnici o 20 %.

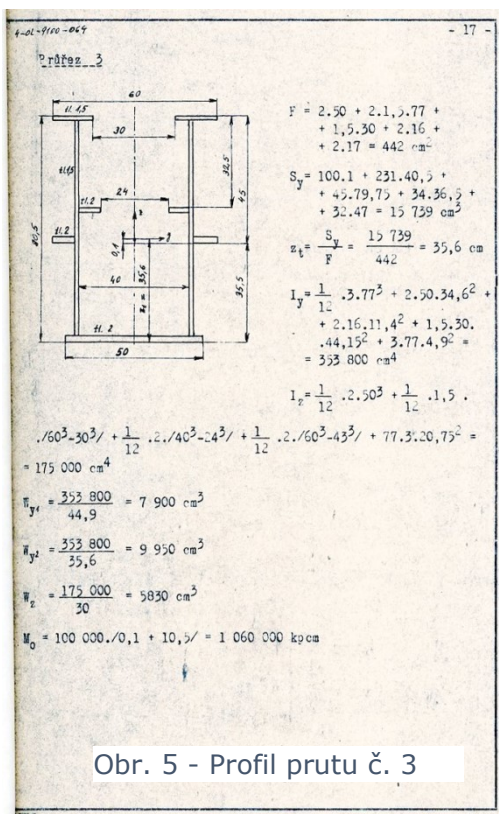


Obr. 4 – Počítačový model prutové soustavy pro výpočet rámu lokomotivy T 466.2 programem MLAX.

Tento hlavní rám se stal v Lokomotivce prvním, kde se použily pásnice tvaru „I“ o nestejně tloušťce. Zpočátku protestovali technologové na svařování, neboť nevěděli, jaké deformace rámu při jeho svařování mají očekávat. Ale to byl zase jejich problém, aby ho vyřešili.

Nyní bylo nutno do připraveného formuláře spočítat veškerá data, která počítač potřeboval k výpočtu. Začíná se očíslováním všech 46 spojů jednotlivých prutů, ve který se pak definují jednotlivá dílčí zatížení. Následně se očíslovuje všech 60 prutů tvořících počítanou soustavu. Čísel je jen 12, neboť pruty se stejným profilem mají totožná čísla. Tím byl splněn první bod zadávacích údajů - popis prutu, druhým bodem je definice souřadnic spojů. Dalšími body zadávacích údajů je specifikace reakcí v uložení rámu, údaje o jednotlivých skupinách zatížení a samozřejmě materiálové konstanty. Poslední bod zadání se nazývá charakteristika prutů, která však v sobě zahrnuje potřebu přesně si načrtnout a okótovat mnohdy složitý profil, sestávající z několika prvků tak, aby se z něho dalo správně spočítat několik dalších dat pro zadání. Především stanovit celkovou plochu profilu daného prutu, jeho těžiště, odpovídající momenty setrvačnosti a moduly odporu průřezu v obou osách souřadnic (viz jeden z profilů na obr. 5). Plochu sebesložitějšího profilu dnes automaticky spočítá grafika lečjakého počítače. V roce 1976 jsme však ještě neměli ani kalkulačky, a tak děrné pásy

sálových počítačů krmila svými vstupními daty klasická logaritmická pravítka. Pro zkompletování vstupních dat do programu MLAX bylo ještě definováno osm různých vnějších zatížení rámu:



Obr. 5 - Profil prutu č. 3

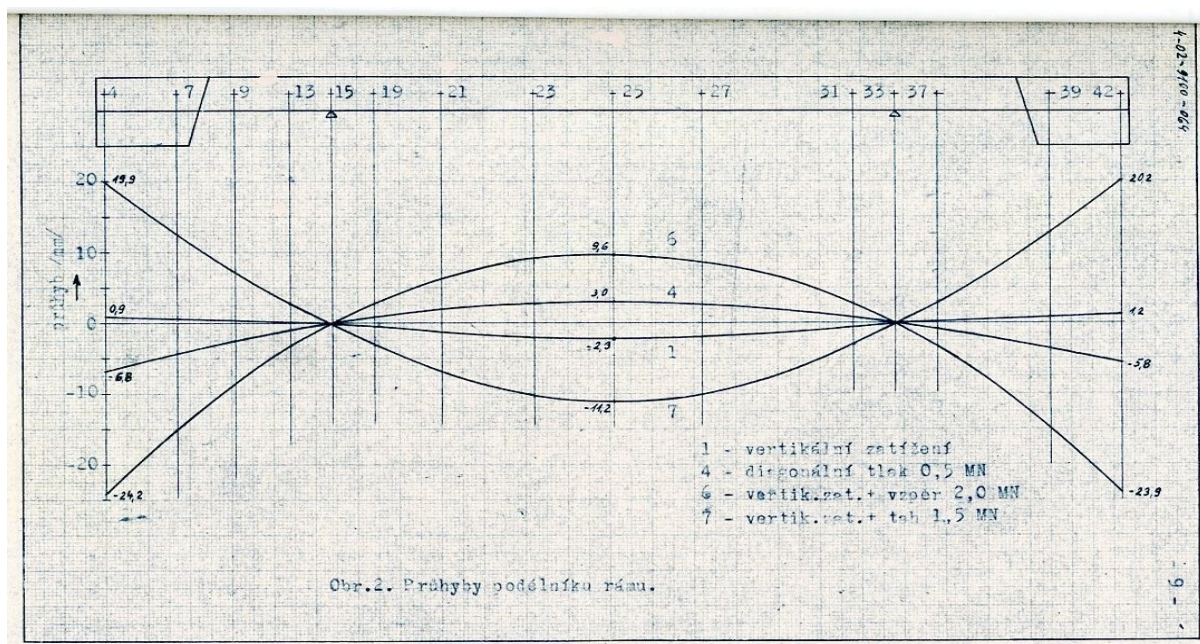
- 1) vertikální zatížení (včetně spojitého zatížení od hmotnosti rámu)
- 2) vzpěr 2,0 MN v ose nárazníků
- 3) oboustranný tah 1,5 MN
- 4) diagonální tlak 0,5 MN
- 5) vzpěr 2,0 MN v ose spřáhla
- 6) kombinace 1 + 2
- 7) kombinace 1 + 3
- 8) zdvínání lokomotivy za jedno čelo s uvažováním hmotnosti jednoho podvozku.

Soubor vstupních dat se na předepsaných formulářích předal do výpočetního střediska, kde se převedl na děrné pásky a na noční směně sálový počítač přetvářel vstupní data na výstupní, kterými byly:

- 1) deformace (3 posuvy a 3 natočení) jednotlivých spojů rámu pro všechna uvažovaná zatížení
- 2) Vnitřní síly v obou koncích jednotlivých prutů (3 síly a 3 momenty) pro každý konec
- 3) napětí v jednotlivých prutech, vyplývající z koncových sil

- 4) vypočtené reakce ve spojích
- 5) kontrolní výpočet rovnováhy soustavy

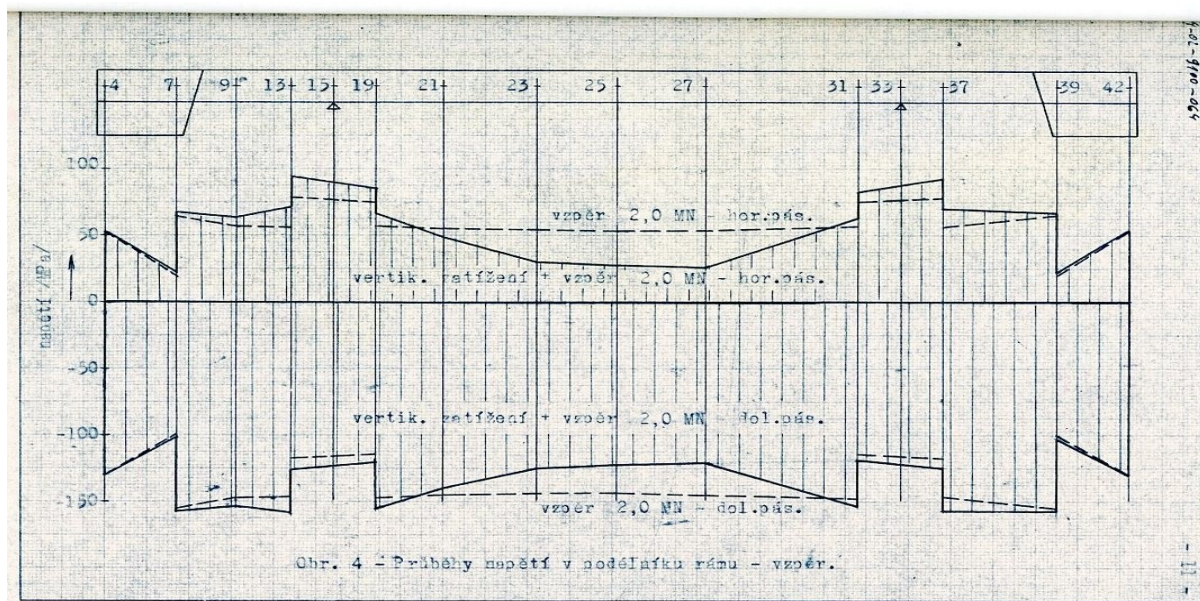
V uvedených bodech výsledku se skrývá několik tisíc čísel vytištěných na mnoha stránkách a bylo na zadavateli, aby z nich vytvořil přehledné závěry. V případě průhybu je největší hodnota kolem 25 mm na obou koncích při vzpěru přes nárazníky i přes spřáhlo a při kombinaci zatížení 1 + 2. Průběh průhybu některých zatížení je znázorněn na obr. 6.



Obr. 6 - Průhyby hlavního rámu lokomotivy T 466.2 při různých zatíženích

Na tomto obrázku lze názorně porovnat vyhodnocování výsledků výpočtu tehdy a v současnosti. Pro znázornění průhybu rámu se z množství dodaných čísel musela vybrat ta správná a nakreslit na milimetrovém papíře z jejich propojení průhybovou křivku. Dnes stačí mít na obrazovce nakreslený 3D model a po zadání zatížení se model sám zobrazí ve výsledné deformaci.

V případě napětí od vertikálních sil dosahuje ve střední části napětí do 27 MPa, při doplňujícím účinku dynamických sil maximálně 34 MPa. Nejvýznamnější namáhání opět vzniká při kombinaci vertikálního zatížení a vzpěru 2 MN, kdy dosahuje největší napětí téměř 160 MPa v dolní pásnici. Jinak je napětí poměrně rovnoměrně rozloženo v rozsahu 110 až 155 MPa. Podobného výsledku bylo dosaženo při kombinaci vertikálního zatížení a tahu 1,5 MN, jen maximální napětí v tahu dosáhlo opět v dolní pásnici o něco nižších hodnot – 130 MPa. Jedna varianta průběhu napětí je uvedena na obr. 7. Zajímavý byl případ kroucení rámu od diagonálního zatížení 500 kN, kde oblast největšího napětí (pod 100 MPa) se omezuje na příčnice u převislých konců. Napětí při zdvínání lokomotivy za jeden konec též nepřesáhlo 100 MPa.



Obr. 7 - Průběhy napětí v podélníku rámu při zatížení vzpěrem 2 MN (čárkovaně) a při jeho kombinaci s vertikálním zatížením v horní a dolní pásnici

Vypočtená napětí jsou svým charakterem napětí jmenovitá a nevypovídají o lokalitách, jakými jsou špičky napětí v oblasti vysokých koncentrací napětí, žebor a působišť osamělých sil. Spočítat tyto lokality detailně je velmi pracné, a proto je vhodnější experimentální prověření přímo na rámu. Na základě takového experimentálního měření na podobném hlavním rámu lokomotivy T 475.1 byla na rámu lokomotivy T 466.2 např. vyztužena exponovaná žebra lemem. Tím byla snížena špička napětí při přechodu sil z žebor do podélníků.

Program MLFX

Jak již bylo řečeno výpočet hlavních rámu programem MLAX se s experimentálním měřením dobře shoduje ve střední části, kde podélníky a příčníky mají charakter prutů. U převislých konců je lépe konstrukci rámu charakterizovat jako soustavu desek a membrán a výpočet provést metodou konečných prvků (MKP). Tato numerická metoda slouží k simulaci průběhu napětí a deformací a mohla se rozvinout až s příchodem počítačů. Na konci 60. let minulého století si na principu MKP nechala NASA vyvinout software NASTRAN (5) a již v polovině 70. let jsme v ČKD na stejném principu počítali softwarem MLFX první rám lokomotivy T 466.2.

Převislý konec rámu se rozdělí na optimální počet trojúhelníkových prvků, a protože je rám symetrický podle podélné osy, je počítána jen polovina konce rámu. Výpočtový model tvoří 76 spojů a 134 membrán o šesti různých tloušťkách.

Zadávací údaje:

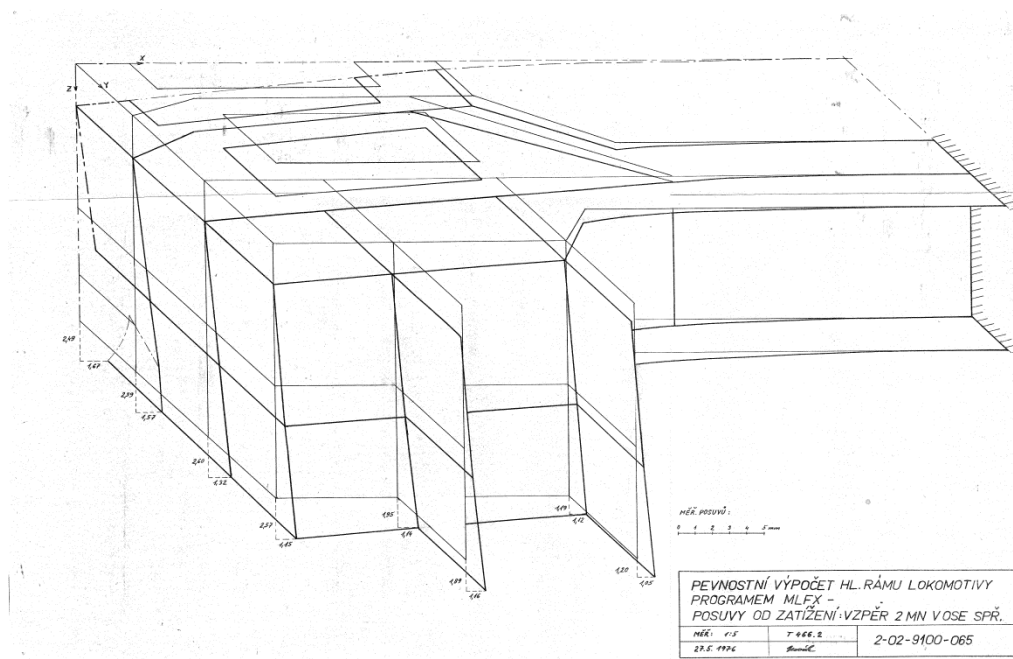
- 1) materiálové konstanty
- 2) souřadnice spojů
- 3) údaje o deskách (koncové spoje a tloušťka desky)
- 4) specifikace reakcí

- 5) zatížení spojů - a) vzpěr 1,0 MN v ose spřáhla
b) vzpěr 1,0 MN v ose nárazníku

Výstupní údaje programu MLFX:

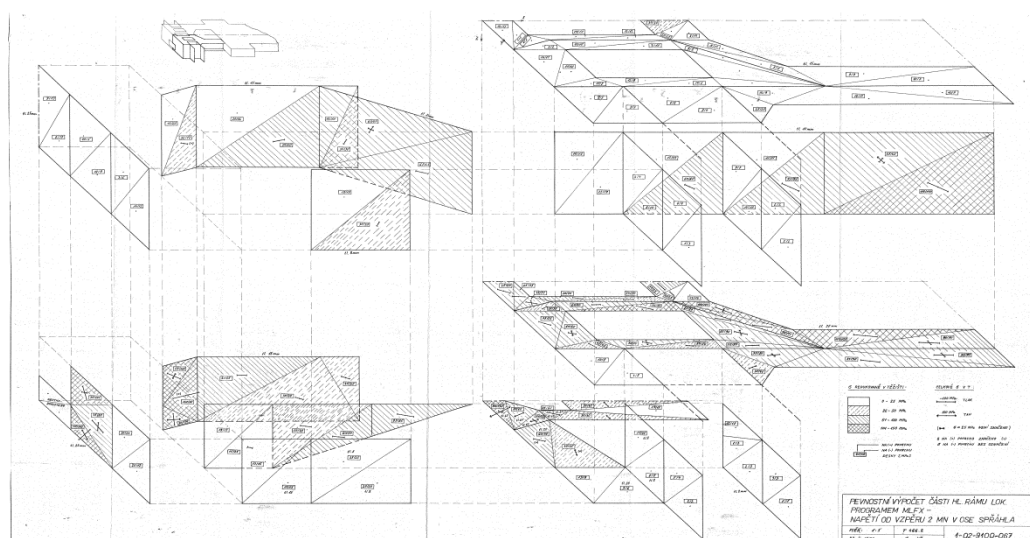
- 1) deformace (3 posuvy a 3 natočení) jednotlivých spojů
- 2) napětí v jednotlivých deskách (ve spojích a v těžišti).

Relativní deformace rámu ve svislém směru vzhledem k místu vetknutí nepřesahuje 3 mm. V porovnání s prutovým modelem z toho vyplývá dvojnásobná tuhost modelu z desek. V místě působení zatěžující síly byla vypočtena lokální deformace v podélném směru téměř 4 mm. Model však v tomto místě nepočítá s výztužným účinkem čelní desky a rozložením zatěžující síly po jejím obvodě proto skutečné deformace budou zde menší. Deformace jsou patrné z přiloženého obrázku č. 8.



Obr. 8 – Posuvy rámu od zatížení vzpěrem 2 MN v ose spřáhla

Velikosti redukovaných a celkových napětí v těžišti byly též z čísel převedeny do obrázků. V horní části rámu nepřesahují redukovaná napětí hodnotu 50 MPa, ve spodní části a přilehlých žebrech dosahuje max. napětí v těžišti prvku 140 MPa. Okolí zatížení osamělou silou se z výše vedeného důvodu nevyhodnocovalo. Výpočet dokázal opodstatněnost vloženého šikmého žebra pro přenos sil ze spřáhla na podélníky. Dnes na počítačích jsou různá napětí po výpočtech odlišována pestrou stupnicí barev. Tehdy bez barevných tiskáren se stupnice napětí rozlišovala např. odlišným šrafováním (viz obr. 9).



Obr. 9 - Napětí v převislém konci rámu lokomotivy T 466.2 od vzpěry 2 MN v ose spřáhla

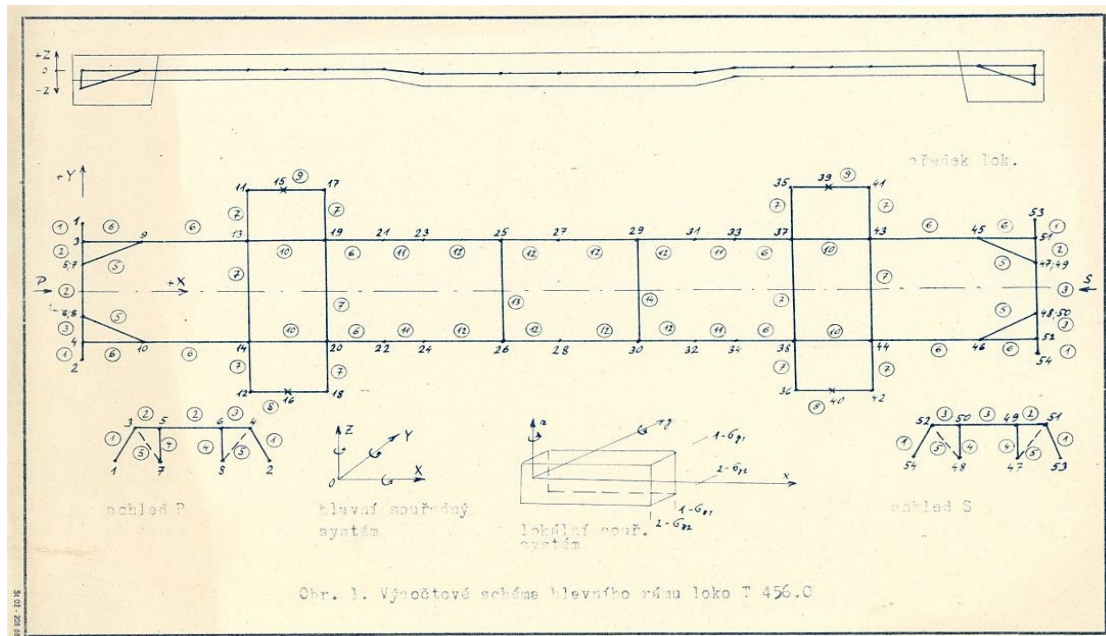
Po zhodnocení výsledku výpočtu bylo v závěru zprávy z 5/1976 konstatováno, že hlavní rám lokomotivy T 466.2 bude po pevnostní stránce vyhovovat předepsaným zatížením. Vzhledem k tomu, že šlo v Lokomotivce o první rám počítaný metodou MKP, bylo z výzkumného hlediska žádoucí, porovnat výsledek s jinou experimentální metodou. Převislý konec rámu byl proto ve zmenšeném měřítku zhotoven z plexiskla a přiměřeně zatěžován. Oba výsledky pak byly porovnávány s výsledky stlačovacích zkoušek celé lokomotivy. Tím byly získány zkušenosti o vhodnosti jednotlivých metod výpočtu v různých oblastech rámu. (6)

Měsíc po vydání zprávy o výsledcích výpočtu rámu lokomotivy T 466.2 jsem vydal podobnou zprávu, tentokrát o výpočtu hlavního rámu rozměrově podobné lokomotivy T 448.0 s tloušťkou stojiny 20 mm a oběma pásnicemi 25 mm silnými. Výpočet předdimenzovaného rámu programem MLAX se prováděl dodatečně jen proto, aby se prokázalo, že u této lokomotivy nebylo třeba provést nákladnou stlačovací zkoušku. (7)

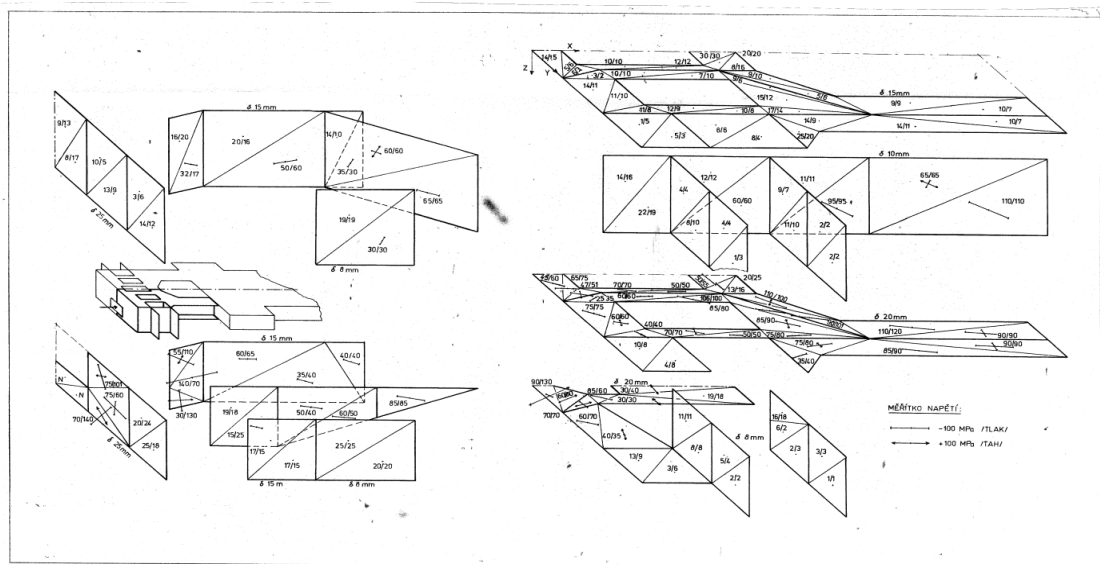
Do třetice byl v roce 1976 proveden výpočet hlavního rámu programy MLAX a MLFX nově projektované lokomotivy T 456.0, který byl zřejmě poslední prací na této lokomotivě. Podle zadání od FMD měla lokomotiva s vyvýšenou kabinou strojvedoucího mít diesel 6 PA 4-185 (Pielstick) ze ZTS Martin o výkonu 600 kW, který by se vešel pod nízké kapoty. Po přehodnocení výrobního programu v Martině by neměl tyto motory kdo vyrábět, a proto FMD u ČKD v roce 1976 tuto zakázku zrušilo. Závody ČKD je od roku 1978 nahradily svou koncepcí lokomotiv s vyvýšenou kabinou s motory řady 230 typu T 457.0, resp. T 457.1 (řady 730, resp. 731).

Ve spolupráci s pracovníky ústavu jsem vytvořil výpočtový model, kde se konstrukce rámu převedla tentokrát na prostorovou prutovou soustavu, ve které se zohlednily i vzpomínané šikmé vzpěry. Cílem bylo přiblížit realitě i výsledky výpočtu v oblasti převislých konců rámu pomocí prutové soustavy. Opět jsem zvolil rozměry podélných profilů tvaru „I“ s horní pásnicí 15 mm a spodní 20 mm při stojině 10 mm. Jen se zde měnila častěji výška profilu. Horní hrana rámu byla

jen ve výšce 1 500 mm (proti 1 600 mm u T 466.2), což znamenalo snížení přídavných ohybových namáhání. Model vytvořilo 54 spojů a 68 prutů se čtrnácti různými profily. Výpočtový model pro program MLAX je zobrazen na obr. 10.



Obr. č. 10 - Prutová soustava prostorového výpočtového modelu hlavního rámu lokomotivy T 456.0



Obr. 11 – Výsledná napětí na převislém konci hlavního rámu lokomotivy T 456.0 po zatěžování stlačovací silou 2 MN v místě osy spřáhla počítaná programem MLFX.

Jeden z výsledků výpočtu převislého konce hlavního rámu lokomotivy T 456.0 metodou MKP programem MFLX je znázorněn na obr. 11. Na výkresu jsou zakresleny velikosti a směr napětí v těžišti jednotlivých prvků vyvolané zatížením silou 2 MN v místě osy spřáhla (graficky jsou hodnoty napětí znázorněny délkou a orientací úseček). Nejvyšší napětí dosáhlo hodnoty 140 MPa.

7. Závěr

Příprava lokomotiv na zabudování evropského spřáhla

Již téměř půl století jsou lokomotivy a vagóny připraveny na výměnu tažného a narážecího ústrojí za evropské automatické spřáhlo. Termín výměny však nebyl dosud stanoven. Z tohoto pohledu se zdá být veškerá příprava zbytečná, neboť většina těchto kolejových vozidel se výměny nedožila a byla zrušena. Zbývá jen doufat, že alespoň část vozidel této úpravy ještě využije.

Výroba motorových lokomotiv řady 742

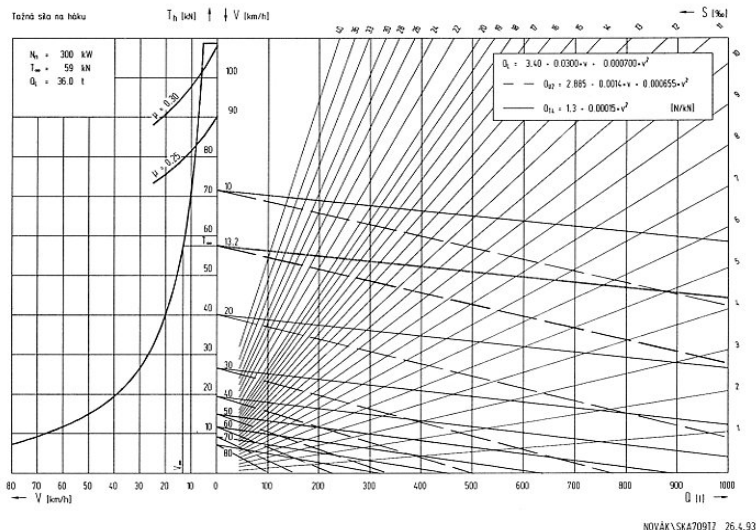
Lokomotiva T 466.2 (742) byla souhrou okolností od roku 1977 rovnou sériově vyráběna, do roku 1986 jich bylo dodáno 494 kusů, což svědčí o odvaze a profesionalitě osob, které na počátku vzniku této řady o ní rozhodovaly. Svědčí to i o kvalitě konstruktérů a technologů, kteří lokomotivu sice koncepčně stejnou s předchozí lokomotivou T 448.0, ale výkresově téměř zcela novou dokázali téměř bezchybně připravit v krátkém čase do výroby. Kvalita výroby a následná dobrá údržba v provozu spolu s kvalitou oprav se projevila v životnosti lokomotiv. Při garantování životnosti 25 až 30 let jsou některé lokomotivy z I. série v provozu již přes 40let. Lokomotivy řady 742 tak mají v nákladní dopravě stále dominantní postavení v motorové trakci na vedlejších neelektrifikovaných tratích ČD.

Použití počítačové techniky v konstrukci lokomotiv.

Využívání počítačů ke zkvalitnění a zrychlení práce v různých oborech činnosti již od samého začátku jejich praktického použití svědčilo o vysoké technické úrovni strojírenského gigantu, jakým byla firma ČKD. V konstrukci lokomotiv pomohly pevnostní výpočty hlavních rámců metodou konečných prvků k upřesnění namáhání materiálu v exponovaných oblastech, a tím i k lepšímu využití materiálu. Ve využívání moderních počítačových programů pokračoval závod ČKD Lokomotivka i později. Při volbě kreslicích programů pro osobní počítače (PC) zakoupil licenci na americký grafický program Personal Designer, v Československu právě předváděný, který byl v té době ve vývoji o několik let dále, než známější Autocad. Po mé námitce, že u nás není tento program použitelný, neboť jeho písmo není v souladu s technickým písmem dle ČSN, jsem dostal úkol tento nedostatek napravit. A tak jsem pro distributora překreslil do tohoto programu technická písmata včetně azbuky tak, aby popisky jeho výkresů byly v souladu s československými normami.

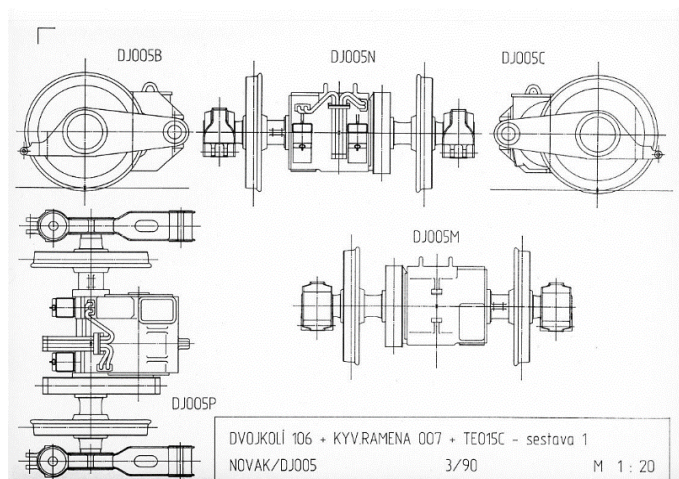
Počítače by měly odstraňovat pracnost a šetřit čas. Testem bylo převedení výpočtu a kreslení zátěžových diagramů lokomotiv na PC. Na klasický výpočet a nakreslení diagramu projektantem a následné jeho překreslení na pauzák kresličkou jeden den nestačil. Kombinací matematického a výše uvedeného grafického programu dokázal šikovný programátor po mém zadání a testování celý proces zkrátit na necelou půl hodinu. Do zadávacího formuláře stačilo jen vyplnit přiměřený počet souřadnic z trakční charakteristiky dodané závodem ČKD Trakce, podle typu lokomotivy si zvolit maximální velikost tažné síly, rychlosti a vlakové zátěže a podle charakteru provozu si vybrat z nabídky vzorec pro odpor lokomotivy a dva vzorce typu odporu vlakové soupravy. Nakonec se zvolil jeden

z nabízených šesti jazyků (včetně vietnamštiny), kterým má být zátěžový diagram popsán. Po kliknutí na enter se během chvíle vytiskl laserovou tiskárnou zátěžový diagram na výkres formátu A3 (viz obr. 12).



Obr. 12 – Zátěžový diagram lokomotivy řady 709

Začátkem 90. let se konstruktéři učili na PC kreslit detaily a sestavy, ale projektanti potřebovali z detailů sestavovat různé varianty typových výkresů a projektů. Začínali jsme od nuly, a tak jsem začal postupně budovat knihovnu detailů. Nejprve to byly jednoduché prvky jako dvojkolí, nárazníky, kabiny a kapoty, pak už to byly např. nákresy celých naftových motorů značky Liaz pro dvounápravové lokomotivy. Podle potřeby se detail kreslil ve třech až pěti pohledech (viz obr. 13). Tyto začátky se nedají srovnávat s dnešním 3D kreslením, kde mají konstruktéři k dispozici bohaté knihovny počínaje všemi druhy šroubků.



Obr. 13 – Ukázka z katalogu dílů lokomotiv – dvojkolí s TM. Tištěno ještě jehličkovou tiskárnou

Literatura

- (1) https://cs.wikipedia.org/wiki/Spřáhlo_Scharfenberg#Železnice
- (2) <https://vasilich.livejournal.com/40876.html>
- (3) SOUKUP, Lukáš – Digitální automatické spřáhlo pro evropskou železnici. *Vědeckotechnický sborník Správy železnic č. 5/2021*
- (4) POHL, Jiří – Vzpomínky na 70. léta
- (5) https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_konečných_prvků
- (6) NOVÁK, Ladislav – Pevnostní výpočet hlavního rámu lokomotivy T 466.2. *ČKD Praha, závod Lokomotivka-Sokolovo, Zpráva č. 4-02-9100-064 z 18. 5. 1976*
- (7) NOVÁK, Ladislav – Pevnostní výpočet hlavního rámu lokomotivy T 448.0. *ČKD Praha, závod Lokomotivka-Sokolovo, Zpráva č. 4-02-9100-071 z 30. 6. 1976*

Seznam zkratk

ČKD	Českomoravská-Kolben-Daněk
ČSD	Československé státní dráhy
DAC	Digital automatic coupler (Digitální automatické spřáhlo)
EVÚ	Elektrotechnický výzkumný ústav
FMD	Federální ministerstvo dopravy
LVZ	Liniový vlakový zabezpečovač
MKP	Metoda konečných prvků (ang. FEM – Finite element method)
NASA	Národní úřad pro letectví a vesmír
OSŽD	Organizace pro spolupráci železnic
PC	Personal computer (Osobní počítač)
PZO	Podnik zahraničního obchodu
SA-3	Sovětské automatické spřáhlo
TM	Trakční motor
VŠD	Vysoká škola dopravní
VÚML	Výzkumný ústav motorových lokomotiv
UIC	Mezinárodní železniční unie
ZTS	Závody těžkého strojírenství
ŽOS	Železniční opravny a strojírný

Lektorovali:

Ing. Jaromír Bittner,
Drážní úřad

Ing. Jan Plomer,
České dráhy, a.s.

4. Měření dynamického chování a jakosti odběru proudu pro rychlosti V_k z pohledu TSI ENE

Radovan Bureš⁷

Klíčová slova

Trolejové vedení, dynamické chování, TSI ENE, rychlost V_k

Anotace

Článek si klade za cíl popsat problematiku posouzení dynamického chování trolejového vedení z pohledu TSI ENE pro tratě, které mají rozdílné traťové rychlosti pro klasické soupravy a pro jednotky s naklápěcí technikou. Na těchto traťových úsecích nastává problém při závěrečném zkoušení s prokázáním dynamického chování pro maximální návrhovou rychlost, neboť měřící vůz v České republice nedisponuje naklápěcí technikou.

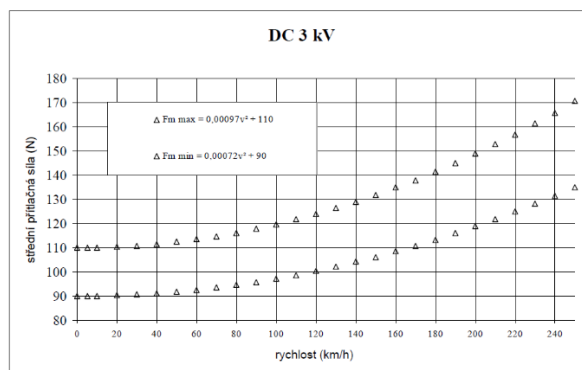
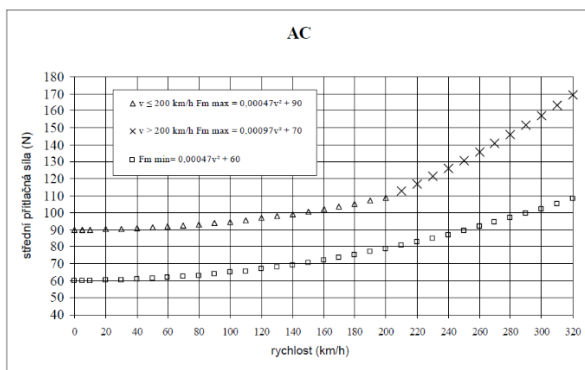
Abstract - Dynamic behaviour and quality of current collection for v_k speeds in the perspective of the TSI ENE

The article aims to describe the issue of assessing the dynamic behaviour of the overhead contact line from the perspective of the TSI ENE for lines that have different line speeds for train sets with the tilting technology. On these lines, there is a problem during the final testing with the demonstration of dynamic behaviour for the maximum design speed, because the measuring train in the Czech Republic does not have tilting technology.

1. Úvod

Měření dynamického chování a jakosti odběru proudu je jedním z několika posuzovaných parametrů, při posuzování shody s požadavky interoperability subsystému Energie. Při měření dynamického chování je sledována interakce mezi trolejovým vodičem a sběračem. Měření by mělo prokázat, že chod sběrače je klidný, hladký a bez odskoků. Jedním z parametrů, které jsou při měření sledovány a následně vyhodnocovány je střední přítlačná síla sběrače. Její limity jsou uvedeny v normě ČSN EN 50367 ed.2 a jsou znázorněny na obrázcích Graf 1 a Graf 2. Z grafů je patrné, že velikost střední přítlačné síly je závislá na rychlosti.

⁷ Ing. Radovan Bureš, absolvent Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice, magisterského oboru elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě. Od roku 2014 pracuje ve Výzkumném Ústavu Železničním, a.s., v současné době jako vedoucí oddělení Energie. Je členem mezinárodní skupiny pro koordinaci notifikovaných osob NB-Rail.



Graf 1 Graf středních přítláčivých sil na AC soustavách [1]

Graf 2 Graf středních přítláčivých sil na soustavě DC 3 kV [1]

2. Požadavky TSI ENE

Nařízení Komise (EU) č. 1301/2014 ze dne 18. listopadu 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému energie železničního systému v Unii (zkráceně TSI ENE) v bodě 4.2.12. definuje požadavky na dynamické chování a jakost odběru proudu pro ověření subsystému. Měření dynamického chování je povinné pro rychlosti nad 120 km/h pro AC soustavy a rychlosti nad 160 km/h pro DC soustavy. Měření parametrů interakce se provádí podle normy ČSN EN 50317 ed.2. Ověření se provádí měřením prostoru pro zdvih bočního držáku a měřením přítláčivé síly, nebo měřením jiskření. V závislosti na metodě posuzování musí trolejové vedení dosáhnout hodnot dynamické výkonnosti a zdvihu trolejového vodiče (při návrhové rychlosti), které jsou uvedeny v Tabulce 1. Měření musí být provedeno pro maximální traťovou (návrhovou) rychlost.

Požadavek	$v \geq 250$ [km/h]	$250 > v > 160$ [km/h]	$v \leq 160$ [km/h]
Prostor pro zdvih bočního držáku	$2S_0$		
Střední přítláčivá síla F_m	viz bod 4.2.11		
Směrodatná odchylka při nejvyšší traťové rychlosti σ_{\max} [N]	$0,3F_m$		
Procentní poměr jiskření při nejvyšší traťové rychlosti, NQ (%) (minimální doba hoření oblouku 5 ms)	$\leq 0,2$	$\leq 0,1$ pro střídavé soustavy $\leq 0,2$ pro stejnosměrné soustavy	$\leq 0,1$

Tabulka 1 Požadavky na dynamické chování a jakost odběru proudu [2]

3. Projektování tratí pro rychlosti v_k

Při modernizacích a rekonstrukcích tratí dochází k jevům, kdy je maximální traťová rychlost různá pro jednotlivé typy vozidel. Norma ČSN 73 6360-1 definuje požadavky na konstrukční a geometrické uspořádání koleje. Maximální traťová rychlost souvisí s nedostatkem převýšení I a je rozdělena do následujících kategorií:

1. V_{100} pro I = 100 mm
2. V_{130} pro I = 130 mm
3. V_{150} pro I = 150 mm
4. V_k pro I = 270 (240) mm

V níže uvedené tabulce je uveden příklad maximálních traťových rychlostí v jednotlivých úsecích pro různé kategorie nedostatků převýšení (tento příklad je uveden pro reálný traťový úsek). Z Tabulky 2 vyplývá, že maximální rychlost je ve všech úsecích 200 km/h a pro splnění požadavků bodu 4.2.12 TSI ENE je nutné provést ověření dynamického chování trolejového vedení rychlostí 200 km/h v celém rozsahu stavby, tzn. v km 83,325 – 91,024. Nejzajímavější je z našeho pohledu traťový úsek 2, kde je pro každý typ vozidla jiná traťová rychlost.

úsek	staničení (km)	V_{100} (km/h)	V_{130} (km/h)	V_{150} (km/h)	V_k (km/h)
Traťový úsek 1	83,325 – 84,785	160	160	160	200
Traťový úsek 2	84,735 – 87,214	160	180	185	200
Traťový úsek 3	87,214 – 91,024	160	200	200	200

Tabulka 2 Maximální traťové rychlosti v jednotlivých úsecích pro různé kategorie nedostatků převýšení

Na Obrázku 1 jsou uvedeny rychlostníky pro vozidla s různým nedostatkem převýšení. Rychlost 125 km/h platí pro vozidla, která jsou schopna průjezdu obloukem při působícím nedostatku převýšení až 130 mm. Rychlost 150 km/h je určena pro soupravy s naklápěcími skříněmi, která jsou schopná průjezdu obloukem při působícím nedostatku převýšení až 270 mm. V tomto případě je pro splnění požadavků bodu 4.2.12 TSI ENE nutné provést ověření dynamického chování trolejového vedení rychlostí 150 km/h.



Obrázek 1: Návěšt traťová rychlost pro jednotlivé druhy vozidel

4. Měřicí vůz pevných trakčních zařízení MVPTZ 96

V České republice provádí měření dynamického chování trolejového vodiče měřicí vůz pevných trakčních zařízení MVPTZ 96 č. CZ SZCZ 99 54 93-63 001-7 (na Obrázku 2). Měřicí vůz byl vyroben rekonstrukcí osobního vozu řady BDmee. Měřicí vůz umožňuje měření parametrů trolejového vedení na DC soustavách s napětím 1,5 kV a 3 kV a AC soustavách s napětím 25 kV, 50 Hz a 15 kV, 16 2/3 Hz. Při měření interakce mezi pantografovým sběračem a trolejovým vedením měřicí vůz měří celkovou přítlačnou sílu a zrychlení. Z naměřených hodnot jsou poté vypočítány hodnoty střední přítlačné síly, maximální přítlačné síly, minimální přítlačné síly a také statistické minimum a maximum přítlačné síly včetně směrodatné odchylky. Tyto hodnoty jsou vypočítány zvláště pro délku kotevního úseku a zvláště pro oblast výměnného úseku. Dále jsou zaznamenávány hodnoty výšky trolejového drátu, rychlosti jízdy, korekce výkyvu skříně, čísel trakčních podpěr a kilometrické polohy. Součástí měření interakce mezi pantografovým sběračem a trolejovým vedením je videozáznam spolupráce pantografu a trolejového vodiče. Tento měřicí vůz slouží k měření parametrů trakčního vedení pro rychlost až 160 km/h a nedisponuje systémem naklápění.



Obrázek 2 Měřicí vůz pevných trakčních zařízení CZ SZCZ 99 54 93-63 001-7

Hmotnost	44,525 t
Délka přes nárazníky	26 400 mm
Šířka vozové skříně	2 824 mm
Výška vozové skříně nad TK	4 550 mm
Nejvyšší provozní rychlost	160 km/h
Nejmenší jmenovitý poloměr oblouku koleje při průjezdu traťovou rychlostí	150 m
Naklápění	Ne

Tabulka 3 Parametry měřicího vozu CZ SŽ 99 54 93-63 001-7 [3]

5. Elektrotechnické měřicí vozidlo (ETMW) 99 81 91 63504-9 ÖBB

Měřicí vůz ÖBB Infrastruktur AG k měření dynamického chování trolejového vodiče s rychlostí 250 km/h. Měřicí vůz je postaven na podvozku MD 524 se 3 brzdovými kotouči na dvojkolí. Vyroben byl v letech 1990-1992 firmou Jenbacher Transportsysteme AG.



Obrázek 3: Elektrotechnischer Messwagen (ETMW) 99 81 91 63504-9 [4]

Hmotnost	60 t
Délka přes nárazníky	26 400 mm
Šířka vozové skříně	2 825 mm
Výška vozové skříně nad TK	4 350 mm
Nejvyšší rychlost technicky	250 km/h
Provozní rychlost	230 km/h
Nejmenší jmenovitý poloměr oblouku koleje při průjezdu traťovou rychlostí	150 m
Naklápění	Ne

Tabulka 4: Parametry měřícího vozu ETMW 99 81 91 63504-9

6. NeiTech VT 612

Měřicí vlak DB Systemtechnik složený z vozidel 612 901-8 a 612 902-6. I když je VT612 naklápěcí vlak, měřicí systém na tomto vlaku není uzpůsobený pro testování trolejového vedení v rychlostech určených pro vlaky s naklápěcími systémy. Měřicí vlak slouží k měření dynamického chování trolejového vodiče s maximální rychlostí 160 km/h pro napěťovou soustavu AC 15 kV 16 2/3 Hz.



Obrázek 4: Měřicí vlak NeiTech VT 612 [5]

7. HSR measurement train (ICE-S)

Měřicí vlak DB Systemtechnik složený z dvou vozů třídy 410.1 a dvou laboratorních vozů k měření dynamického chování trolejového vodiče pro napěťovou soustavu AC 15 kV 16 2/3 Hz. Rychlost měřicí jízdy je 280 km/h, přičemž z provozního a brzděného hlediska je možná rychlost 330 km/h. Maximální rychlost 360 km/h je možná se speciální analýzou rizik a zvláštními bezpečnostními opatřeními.



Obrázek 5 HSR measurement train (ICE-S) [6]

8. Závěr

TSI ENE požadují provedení měření pro maximální traťovou rychlost, kterým zpravidla bývá rychlost V_k . Měřicí vůz MVPTZ 96 nemá naklápěcí systém a nemůže tedy dosáhnout rychlosti V_k , neboť tato rychlost je určena pouze pro soupravy s naklápěcími skříněmi. U nově projektovaných tratí se navrhuje úseky s maximální traťovou rychlostí 200 km/h, ovšem tato rychlost převyšuje maximální provozní rychlost měřicího vozu pevných trakčních zařízení MVPTZ 96, která je pouze 160 km/h. Předpis SŽDC E15 v části čtvrté definuje postup, jakým způsobem je provedeno posouzení naměřených parametrů trakčního vedení pro jízdu vozidel s naklápěcími skříněmi. Tento postup ale nelze použít při posouzení shody s požadavky interoperability subsystému Energie, neboť TSI ENE vyžadují ověření dynamických parametrů trolejového vedení zkouškou při maximální návrhové rychlosti. Nelze použít ani měřicí vozy ze sousedních států, neboť rakouský měřicí vůz ETMW 99 81 91 63504-9 ÖBB má sice provozní rychlost až 250 km/h, ale nedisponuje systémem naklápění. Pro tyto účely nejsou vhodné ani německé měřicí vozy, neboť jsou určeny pouze k měření na napěťové soustavě AC 15 kV 16 2/3 Hz. Z výše uvedených skutečností vyplývá, že ke splnění požadavků TSI ENE a zachování stávajících provozních opatření, musí být měření provedeno soupravou s naklápěcími skříněmi, protože pouze tento typ vlaku může dosáhnout maximální navržené traťové rychlosti.

Literatura

[1] ČSN EN 50367 ed.2 Drážní zařízení - Systémy sběračů proudu - Technická kritéria pro interakci mezi pantografovým sběračem a trolejovým vedením (pro dosažení volného přístupu). Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2013. 40p.

[2] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1301/2014 ze dne 18. listopadu 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému energie železničního systému v Unii. In: Úř. věst. L 356, 12.12.2014, s. 179. Dostupné také z <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/AUTO/?uri=CELEX:02014R1301-20190616&qid=1577798711432>

[3] ČD E15: Předpis pro měření parametrů trakčního vedení měřicím vozem BDmee 87 / MVPTZ 96//. České dráhy, a.s. 2007. Dostupné z <https://docplayer.cz/12055630-Ceske-drahy-a-s-cd-e-15-predpis-pro-mereni-parametru-trolejoveho-vedeni-mericim-vozem-bdmee-87-mvptz-96-3-uroven-pristupu-s-b-2.html>

[4] [Elektrotechnischer Messwagen "Viktor" ÖBB 99 81 9163 504-9 mit Glaskanzel; Innsbruck Hbf, 06.09.2019]. In: bahnbilder.de [online]. 6. září 2019 [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: <https://www.bahnbilder.de/1200/elektrotechnischer-messwagen-viktor-oebb-99-1166478.jpg>

[5] [NeiTech measurement train (VT 612)]. In: db-systemtechnik.de [online]. [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: https://www.db-systemtechnik.de/resource/image/1660608/contentarea/620/430/c63f654d2c88ebdf4e988f685e973e68/A1983B4B56D096BF09BA7B7AAEDC936C/fahrzeug_prueffahrzeug-neitec-612.jpg

[6] [HSR measurement train (ICE-S)]. In: db-systemtechnik.de [online]. [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: https://www.db-systemtechnik.de/resource/image/1660592/contentarea/620/430/c62ada5f4909d8b7cb7683e1d6d99ce9/838D3E1CCAD27B79671813D852B6076B/fahrzeug_prueffahrzeug-ice-s.jpg

Použité zkratky

TSI ENE – NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1301/2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému energie železničního systému v Unii

AC – střídavý elektrický proud

DC – stejnosměrný elektrický proud

TK – temeno hlavy kolejnice

HSR – High-speed rail

Lektorovali:

doc. Ing. Radovan Doleček, Ph.D.,

Správa železnic, státní organizace

Ing. Jiří Cigánek, MBA,

VŠB TU Ostrava

5. Koncept Železnice 4.0. - vize digitální železnice v ČR

Martin Leso⁸

Klíčová slova

Digitalizace železnice, ETCS, GSM-R, FRMCS, Inteligentní systémy na železnici

Keywords

Railway digitalization, ETCS, GSM-R, FRMCS, Intelligent transportation systems on Railway

Anotace

Příspěvek představuje nový alternativní přístup k modernizaci technologií řízení a zabezpečení na železniční síti v ČR, označovaný jako „Koncept Železnice 4.0“. Presentovaný

koncept je založen na komplexním zavedení digitálních technologií, které naplňují vizi Inteligentních dopravních systémů na železnici (ITS-R). Příspěvek popisuje architekturu a základní komponenty systému založeném na distribuovaných technologiích s centralizací logických prvků. Příspěvek rovněž zasazuje danou problematiku do kontextu současného vývoje v problematice zavádění systému ETCS v ČR.

Abstract

The paper presents a new alternative approach to the modernization of control and safety technologies on the railway network in the Czech Republic, referred to as the "Railway 4.0 Concept". The presented concept is based on the comprehensive introduction of digital technologies that fulfill the vision of Intelligent Transport Systems on Railways (ITS-R). The paper describes the architecture and basic components of a system based on distributed technologies with centralization of logical elements. The paper also places the issue in the context of current developments in the implementation of ETCS in the Czech Republic.

⁸ doc. Ing. Martin Leso, Ph.D., nar. 1976, je absolventem ČVUT v Praze, Fakulty dopravní, v roce 2000 v oboru Automatizace v dopravě a telekomunikacích, titul Ing., v roce 2005 na ČVUT v Praze, Fakultě dopravní, Inženýrská informatika v dopravě, Postgraduální studium, titul Ph.D., v roce 2012 ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Habilitační řízení v oboru Inženýrská informatika v dopravě a telekomunikacích, titul doc.

Vyjádření vydavatele

Pojem Železnice 4.0, který se používá již od roku 2015 (a jeho původ lze najít v SRN), je v železničním sektoru vnímán v širších souvislostech. Článek je uveřejněn, i na základě doporučení redakční rady, jako podnět k další diskusi na toto téma jak v rámci VTS Správy železnic, tak v širší odborné veřejnosti. Název příspěvku „Koncept Železnice 4.0 – vize digitální železnice v ČR“ byl vydavatelem navrhnout ke změně na „Vize digitálního řízení a zabezpečení železničního provozu“. Důvodem je pohled autora na problematiku primárně z technologického řešení zabezpečení a řízení dopravy, jež je dle názoru vydavatele pouze výsečí problematiky, kterou můžeme nazývat „Železnice 4.0“.

1. Úvod

V současné době probíhá, nejenom na české železnici, dlouho připravované a očekávané zavádění systému ERTMS/ETCS. Tato technologie přináší zejména zvýšení bezpečnosti na straně kontroly pohybu kolejových vozidel, tedy eliminace chyby strojvedoucího. Systém ERTMS/ETCS však nelze vnímat pouze jako systém pro zvýšení bezpečnosti, nebo jako plnění požadavku EU na zavedení jednotného systému vlakového zabezpečovače, jakožto jednoho z interoperabilních požadavků. O technologii ERTMS/ETCS lze jednoznačně hovořit jako o základním prvku umožňující změnu v přístup k efektivnějšímu využití železničního systému a jeho zavádění nesmí sledovat výhradně parametr bezpečnosti, ale musí jeho zavedení vést také ke zvýšení kapacity a využitelnosti železnice pro dopravní systém ČR. Otázkou dnes proto není zda takový systém zavádět, nýbrž jakým způsobem tyto nové technologie zavádět, aby měli skutečný přínos pro funkci železnice i celkové dopravy v ČR.

2. Historie vzniku konceptu Železnice 4.0.

Koncept Železnice 4.0. vznikl jako technologické rozpracování vize „Inteligentní dopravní systémy na železnici“ (ITS-R), která byla definována v rámci pracovní skupiny SDT. Vize ITS-R⁹ definovala základní vizi rozvoje technologií na železnici. Ta by měla jednoznačně směřovat ke konceptu inteligentních vozidel, tedy vozidel, která budou díky palubním technologiím ETCS, ATO, GSM-R/FRMCS, 4G/5G umožňovat plné zabezpečení jejich jízdy, včetně automatizace a optimalizace jejich jízdy. Zároveň budou umožňovat jejich plnohodnotné zapojení do dopravně logistických systémů jak v nákladní, tak také v osobní dopravě. V neposlední řadě budou také poskytovat služby cestujícím v podobě hlasové a datové komunikace. Tomuto konceptu inteligentních vozidel se však musí přizpůsobit především infrastrukturní část těchto technologií, která musí poskytovat adekvátní technologie v podobě zejména radiových sítí a

⁹ http://www.sdt.cz/dokumenty/2015_Pozicni_dokument_SDT_rozvoj_ITS_na_zeleznici.pdf

odpovídající úrovni technologií řízení vlaku ETCS vycházející minimálně z aplikační úrovně 2 s možností využití aplikační úrovně 3.

V současné době není otázkou, zda tato vize inteligentních dopravních systémů bude realizována. Současné celosvětové trendy, vycházející ze stávající úrovně technologií a obecně se zvyšujících požadavků na vyšší využitelnost železnice, tento směr jednoznačně potvrzují. Podobné projekty zabývající se otázkou komplexní digitalizace a modernizace železnice lze nalézt ve většině sousedních států EU. V NSR lze uvést projekt Digital Stellwerke¹⁰, který je součástí komplexního plánu na digitální železnici¹¹. Obdobným programem se zabývají tradičně Švýcarské dráhy SBB¹² v projektu SmartRail4.0. Komplexní program zavádění systému ETCS a GSM-R již v současné době realizují Norské železnice Bahne NOR¹³.

Hlavní otázkou týkající se modernizace železnice v ČR by tedy měla být spíše diskuse nad způsobem, jak tuto nutnou generační a komplexní obměnu technologií dnes zvládnout v dostatečně krátkém čase, za přiměřeně vynaložených finančních prostředků tak, abychom výhod, které tyto technologie bezesporu přinášejí, mohli využít co nejdříve. Cílem a hodnotícími kritérii modernizačních strategií by tedy mělo být především zvýšení využitelnosti železnice z pohledu požadavků na rychlost, kapacitu infrastruktury i přesnost a dostupnost železnice, umožňující efektivní zapojení do integrovaných dopravních systémů v celé ČR. Parametr bezpečnosti, který je v souvislosti se systémem ETCS nejvíce spojován, je v tomto kontextu komplexního přístupu potřebné vnímat jako nutnou a neopominutelnou podmínku, která je přirozenou součástí zaváděných technologií.

Koncept Železnice 4.0. vznikl v rámci působení autora tohoto článku v Bezpečnostní komisi MDČR, která byla založena ministrem dopravy ČR doc. Ing. Karlem Havlíčkem, Ph.D. MBA v 7/2020 v reakci na tragickou nehodu v žst. Pernink. V rámci jednání byla představena MDČR-O130 vize implementace systému ETCS a GSM-R na tratě a vozidla do roku 2040. Z uvedeného materiálu¹⁴ je zřejmé, že do roku 2040 by měly být vybaveny všechny tratě v ČR systémem ETCS a GSM-R. Na tuto politickou poptávku, akcentující zejména požadavek na zvýšení bezpečnosti celé železniční sítě ČR, vznikl návrh řešení této problematiky ze strany odborníků ze Správy železnic, s.o. Návrh¹⁵ předpokládá možnosti řešení prostřednictvím komplexní modernizace některých významnějších tratí (určených většinou také pro elektrifikaci) technologií ETCS v aplikační úrovni 2, na méně vytižených tratích navrhuje realizaci formou oprav stávajících zabezpečovacích zařízení a jejich doplňováním ETCS v aplikační úrovni

¹⁰ https://de.wikipedia.org/wiki/Digitales_Stellwerk

¹¹ <https://digitale-schiene-deutschland.de/en>

¹² <https://www.smartrail40.ch/>

¹³ <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/ertms/>

¹⁴ <https://www.mdcz.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Bezpecnostni-komise-Hlavni-i-lokalni-trati-jiz-zn>

¹⁵ Návrh zavádění systému ETCS v ČR je dnes presentován dokumentem „PLÁN moderního zabezpečení české železnice“

L1, případně na nejméně vytižených regionálních tratích zjednodušenými variantami ETCS L1 LS a ETCS L1 STOP. V případě ETCS L1 verzí se rovněž nezavádí traťové rádio GSM-R, naopak se prakticky rozšiřuje použití systému analogového rádia typu TRS, který se instaluje z důvodu opravy stávajících rádií typu SRV. Tyto zjednodušené varianty řešení však reagují pouze na požadavek na urychlenou realizaci bezpečnostní funkce zamezující vlakům v neoprávněný odjezd ze stanice do traťového úseku. Nelze je však považovat za technologie, které by umožnili vyšší využitelnost železnice včetně nových technologií, jak definuje koncept ITS-R.

Koncept Železnice 4.0. přináší alternativní návrh možnosti komplexního přístupu zavádění digitálních technologií naplňující vizi ITS-R na celé železniční síti v ČR, respektující jak požadavky zvýšení bezpečnosti železničního provozu, tak požadavky na vyšší využitelnost a zapojitelnost železnice pro dopravní systému ČR. Tento příspěvek se věnuje základnímu popisu architektury a klíčových komponent tohoto konceptu. Při zvládnutí problematiky komplexního pojetí obměny technologií, lze předpokládat, že celosíťové zavedení těchto technologií může být zvládnutelné v dostatečně krátkém čase i za přiměřených ekonomických nákladů.

3. Aspekty zavádění moderních technologií na železnici v ČR

Při zavádění nových technologií založených na systémech ETCS a GSM-R/FRMCS je nutné si uvědomit, že zavádění systému ETCS, který řeší v principu výhradně zabezpečení jízdy vlaku, ve funkci vlakového zabezpečovacího zařízení mající jak traťovou, tak mobilní část, je přímo závislé na technologiích infrastrukturních zabezpečovacích zařízení. Tato zařízení nejsou součástí systému ETCS, nepodléhají tedy interoperabilním specifikacím a musí být řešeny specificky každým správcem infrastruktury. Tyto technologie tak mohou tvořit podstatnou část investic do infrastruktury, na kterou bude možné navázat technologie ETCS. Z podstaty funkce systému ETCS, existují aplikační podmínky (funkční a bezpečnostní) podmiňující na jaké infrastrukturní zabezpečovací zařízení je možné či vhodné systém ETCS aplikovat. Při stanovení koncepce modernizace je proto nutné se nejprve zabývat otázkou výchozího stavu v ČR. Bohužel ani v bezpečnostní komisi MDČR nebyly zástupci Správy železnic, s.o. detailní informace o současných parametrech infrastrukturních technologií poskytnuty. Proto je nutné tuto oblast popsat spíše principiálně v kontextu dosavadního přístupu k modernizaci těchto technologií.

Z dosavadních veřejně dostupných informací a zkušeností autora článku, je možné konstatovat, že dlouhodobě je v ČR tradičně masivně investováno do technologií řízení a zabezpečení především na koridorových sítích cca. 1500km, které mají význam jako páteřní železniční systém zahrnutý do sítě TEN-T. Přesto se na této části infrastruktury vyskytují systémy s datem vzniku na přelomu 19. a 20. století, konkrétně se jedná o elektromechanická zabezpečovací zařízení. Rovněž je na řadě železničních stanic i traťových úsecích instalováno traťové

zabezpečovací zařízení reléové technologie, která byla instalována od 50. let 20. století. Implementace systému ETCS, v aplikační úrovni 2, která je na koridorových sítích preferována, však vyžaduje výměnu těchto starých technologií, protože navázání systému ETCS na ně by bylo příliš komplikované, a v některých aspektech i z bezpečnostních důvodů nerealizovatelné. Navázání systému ETCS na novější technologie elektronických stavědel, instalovaných na přelomu milénia může být rovněž komplikované z důvodu morálního zastarání a nepřipravenosti technologie k navázání na systém ETCS. Konkrétně se jedná například o Radioblokovou ústřednu (RBC), která vyžaduje datovou komunikaci se stavědlem. Protože tyto technologie mají v současné době více jak 20 let aktivního života za sebou, a jsou již technicky i morálně zastaralé, realizuje se v současné době jejich obměna za nové elektronické systémy, které umožňují napojení na systém ETCS. Je evidentní, že modernizace infrastruktury a zabezpečovacích zařízení není jednoduchá, obtížně se řeší v rozsahu koridorových tratí, přičemž je velmi časově i finančně náročná.

V ČR je však v současné době provozováno cca. 9 700km tratí. Na mimokoridorových tratích dosud neproběhla žádná systematická a komplexní obměna zabezpečovacích technologií. Řada z nich se doposud modernizovala z důvodu nedostatku finančních prostředků z výzisku snesených z koridorů. Přesto má řada celostátních i regionálních tratí, na kterých většinou také proběhla nutná komplexní modernizace infrastruktury, instalováno nové elektronické zabezpečovací zařízení. Některá elektronická zabezpečovací zařízení se rovněž instalují v rámci oprav dosluhujících zabezpečovacích zařízení. Přesto lze konstatovat, že většina mimokoridorových tratí (celostátních a především regionálních) v ČR, je zatížena značnou historickou podinvestovaností do technologií řízení a zabezpečení, kde se nacházejí zařízení mechanická a elektromechanická z přelomu 19. a 20. století i reléová. 1700km regionálních tratí není vybaveno žádným zabezpečovacím zařízením a provoz na nich je řízen podle předpisu pro zjednodušené řízení drážní dopravy SŽ D3 s minimem infrastrukturních technologií.

Je tedy zásadní strategickou otázkou, jakým způsobem v dostatečně krátkém čase a co nejvíce efektivně zavést nové technologie, které umožní rozšíření nových technologií ETCS a GSM-R na celou železniční síť v ČR. Klíčovou otázkou zcela určitě také je, zda se i na málo vytížené regionální tratě, se současnou intenzitou dopravy v řádech jednotek až desítek vlaků denně „vyplatí“ instalovat relativně drahé technologie, a zda by neměly být aplikovány technologie jednodušší a levnější. V této souvislosti je nutné si uvědomit, že hlavní rolí železnice v území má být především realizace páteřní dopravy, která tvoří v území jedinečný alternativní dopravní systém k silniční síti, umožňující zajistit jak osobní dopravu, tak také převoz těžkých nákladů. Vybudování a provozování této železniční infrastruktury přináší poměrně vysoké náklady jak na straně správce infrastruktury, tak také u dopravců drážních vozidel. Je proto nutné se zamyslet nad otázkou efektivního využívání této infrastruktury a zvážit, zda neexistencí či instalací zjednodušených technologií zabezpečovacích zařízení nedojde k nepatřičnému omezení možnosti využívání této infrastruktury, jak co

se týče kapacity (nabídka potenciálu), tak i rychlosti a bezpečnosti. To vše může způsobit znehodnocení investic do infrastruktury i drážních vozidel. Následně tento stav nutně vyvolá zvýšené investice a externí náklady na vyšší využívání silniční sítě, takže úspory v podobě zrušení či omezení železniční dopravy rozhodně úsporu z pohledu státu či krajů přinést nemohou. Přitom intenzivnější využití železniční dopravy je v současné době jednoznačně definováno v dlouhodobých politikách jak v ČR, tak i v EU. Obyvatelé ČR v současné době vyhledávají ze socioekonomických i environmentálních důvodů bydlení mimo velká města, a je zřejmé, že kolejová doprava může zajistit udržitelný způsob propojení venkovských a městských aglomerací. V oblasti nákladní dopravy, lze v následujících letech očekávat rovněž zvýšení poptávky po lokálních nákladních výkonech v souvislosti se svozem komunálního odpadu, případně jednotlivých kusových zásilkách. Proto je nutné vnímat investice do železnice v kontextu dopravních potřeb celé ČR, nikoliv separátně jako řešení pouze otázky bezpečnosti či zavedení interoperabilního systému ETCS. Zavedení nových technologií i na regionální tratě může přinést potenciál zvýšení rychlosti i využitelnosti i na takových, dosud málo využívaných tratích. Nutným předpokladem ale je, aby doprava na takových tratích byla realizována jako celkový dopravní koncept, kde regionální železnice bude tvořit rychlou a kapacitní páteř dopravního systému regionu.

Specifickým problémem v ČR mohou být v této souvislosti regionální tratě, které se ve zvýšené míře potýkají s velkým počtem přejezdů v hustotě až cca. 1 přejezd na 1 km. Kromě problému bezpečnosti (střet silničního a drážního vozidla), tvoří přejezdy často také omezení rychlosti drážních vozidel, a tím tak omezují využitelnost železnice. V rámci bezpečnostní komise MDČR byl rovněž zadán úkol komplexního řešení bezpečnosti na přejezdech. Prakticky to znamená, že bylo vytipováno k realizaci přejezdovým zabezpečovacím zařízením cca. 150 přejezdů / ročně, které se realizují typickým řešením se samostatným ostrovním přejezdovým zabezpečovacím zařízením. Instalace takových přejezdových zařízení je poměrně nákladná, pohybuje se v částkách kolem 10mil Kč / instalaci, a ve většině případů na konkrétní regionální tratích nevede ke zvýšení traťových rychlostí, mimo jiné i z důvodu existence dalších přejezdů s nedostatečnou úrovní zabezpečení limitující následně rychlost vlaků.

Z uvedeného popisu výchozího stavu současných technologií a dosavadního způsobu jejich obměny je zjevné, že zavádění nových technologií ETCS a GSM-R/FRMCS v prostředí současné železnice v ČR je neobyčejně složitým problémem, a je tak velkou technickou i ekonomickou výzvou, kterou bude nutné v následujících letech urychleně realizovat. Koncept Železnice 4.0. přináší alternativní komplexní přístup k řešení této otázky, reflektující současný výchozí stav technologií v ČR vycházející ze současných moderních trendů v oboru zabezpečovacích zařízení a komunikací.

4. Popis konceptu Železnice 4.0.

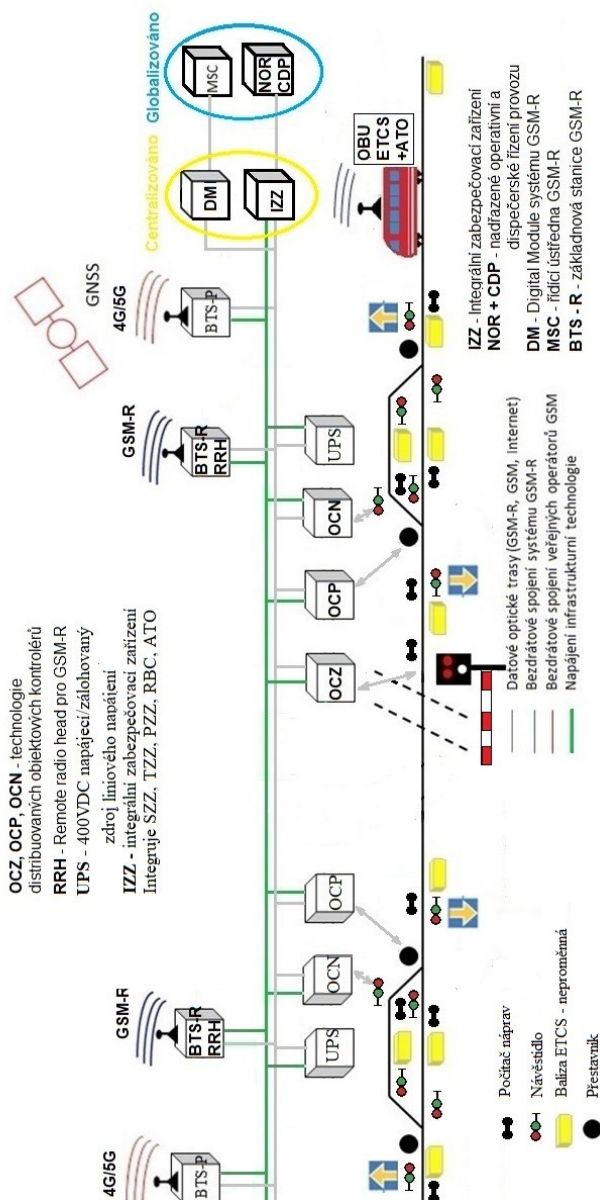
Koncept železnice 4.0. přináší návrh možného technologického řešení, které vychází ze současných poznatků digitální technologie a reflektuje vývoj v této oblasti v zahraničí. Architektura Železnice 4.0. je vyobrazena na obr. 1. Architekturu je možné rozdělit do následujících skupin technologií, které tvoří ucelené prvky systému:

- **Liniové přenosové a napájecí sítě** – tvoří je zejména optické komunikační a metalické napájecí kabely, které tak tvoří páteřní infrastrukturu
- **Hlasová a datová komunikace** – zajišťuje datové a hlasové komunikační spojení s palubními technologiemi, personálem i cestujícími na palubě vlaku
- **Objektové kontroléry** – univerzální programovatelný prvek, zajišťující vykonání vstupně/výstupních povelů řízených integrálním zabezpečovacím zařízením
- **Integrální zabezpečovací zařízení** – centralizovaná logika všech funkcí řízení a zabezpečení, principiálně integrující funkci PZZ, TZZ, SZZ, RBC
- **Nadřazené operativní a dispečerské řízení dopravy** – navázání na systémy umožňující dálkové řízení provozu a správu technologií

4.1. Liniové přenosové a napájecí sítě

Vytvoření základní infrastruktury, umožňující přenos řídicích a diagnostických informací a napájení technologií elektrickou energií, je klíčovou součástí realizace digitálních technologií.

Architektura konceptu Železnice 4.0.



Obr. 1. Architektura konceptu Železnice 4.0.

Železnice je liniový systém, a vyžaduje řešení těchto technologií po celé své délce, jinak nebude schopna zajistit funkčnost systému, jak je definováno ve vizi ITS-R. Jedná se proto o rozsáhlé, a tudíž investičně a provozně značně nákladné technologie. V současné době zaváděná digitální technologie se bez kvalitních liniových sítí neobejde. Je proto nutné, aby tyto sítě byly projektovány s maximální synergií s realizací infrastrukturních technologií, aby vynaložené investiční náklady byly co nejlépe využity.

Při dlouhodobém koncepčním plánování modernizace technologií na všech železničních tratích v ČR lze předpokládat, že dosavadní kabelové trasy jsou, nebo v nejbližší době budou muset, být osazeny optickými kabely kolem všech

trati, neboť dosavadní stav traťové kabelizace je ve většině případů tvořen zastaralými sdělovacími kabely, které z podstaty své konstrukce bývají mnohdy na konci své životnosti a nevyplácí se je opravovat. V současné době je již standardem, že podél železničních tratí se pokládají optické přenosové sítě – optické kabely. Optické trasy díky svým vlastnostem (cena, kvalita datového přenosu) jsou dnes nepostradatelnou součástí řešení zabezpečovací a sdělovací techniky. Proto je koncept Železnice 4.0. založen právě na vybudování těchto páteřních datových tras podél všech tratí, formou mnohavláknových optických kabelů. Optické datové spoje slouží k datovému napojení objektových kontrolérů (OCx), BTS-R systému GSM-R, BTS-P veřejných operátorů, případně pro další telematické technologie (kamery, detektory obsazenosti překážek, radiové majáky, atd..), které pro své fungování vyžadují získávat/poskytovat železničnímu systému příslušná data.

Koncept Železnice 4.0. navrhuje realizaci distribuovaných technologií, proto v každém místě umístění venkovní technologie (přejezd, výhybka, návěstidlo, přestavník, snímač počítače náprav) bude vyveden příslušný počet optických vláken pro napojení těchto komponent prostřednictvím objektového kontroléru. Součástí liniové přenosové sítě bude soustava datových přenosových prvků (průmyslové switche), jejichž prostřednictvím se zrealizuje bezpečná a spolehlivá přenosová vrstva v mezistaničním, tak traťovém úseku.

Optická vlákna je možné využít také pro další funkce převážně diagnostického charakteru. Velmi diskutovanou a v pilotních projektech ověřovanou aplikací je v současné době diagnostika závad infrastruktury (typicky lom kolejí či další defekty), případně detekce poruch kolejových vozidel (typicky plochá kola). Optická vlákna lze rovněž využívat jako prvky pro diagnostiku a monitorování pádu skal či stromů na železniční svršek, případně jako ochranný perimetrický systém pro střežení objektů dráhy před vstupem neoprávněných osob.

Jako další součást liniových tras, navrhuje koncept Železnice 4.0. doplnění těchto tras také o elektrické napájecí vedení. To by mělo sloužit k napájení elektrickou energií všech venkovních prvků a technologií. Zejména se jedná o objektové kontroléry a jimi ovládané periferie zabezpečovacích zařízení. Rovněž elektrické napájení je nutné zajistit také pro poskytnutí dostatečné podpory technologiím radiových přenosových systému BTS-R či veřejných operátorů BTS-P. Současné řešení napájení vnějších technologií je řešeno převážně napojením na rozvod lokální veřejné energetické soustavy. Za tímto účelem se musí být často budovány dlouhé napájecí trasy obsahující samostatné napájecí vedení, zřízení podružný odběr, a z důvodu spolehlivosti zdroje musí každý objekt mít záložní elektrický akumulátor s příslušnou technologií nabíječů, případně



Obr. 2 Příklad datového switche firmy Westermo

klimatizace a vyhřívání. Koncept Železnice 4.0. přichází z možností řešení liniového napájení traťovým kabelem¹⁶, které je vedeno ve výkopu společně s optickými trasami v celém mezistaničním úseku. Oproti dosavadním řešením, koncept Železnice 4.0. předpokládá využití rozvodu 400V DC. Tato technologie napájení je v současné době velmi rozšířena v systémech fotovoltaických elektráren a elektromobilů. Předpokladem takového přístupu je použití nízkopříkonových technologií, zejména objektových kontrolérů a jejich ovládaných periférií. Mezi nízkopříkonové technologie lze považovat také samostatné BTS jak sítě GSM-R nebo veřejných operátorů, které bez ovládacích a přenosových periférií nepřesahují příkon 150W až 300W. Samotné objektové kontroléry a přenosové prvky ve většině případů nepřesahují rovněž příkon do 300W. Dimenze takových napájecích sítí musí být detailně stanovena na základě množství jednotlivých napájených objektů. Podle toho se stanoví počet a umístění napájecích a záložních zdrojů UPS.

Volba této technologie se jeví výhodná zejména z následujících důvodů:

- Napájecí napětí 400V DC nevyžaduje speciální kabely, technologie rozvodů, jištění a ochran lze využít z obdobných, dnes běžně realizovaných staveb např. fotovoltaických systémů nebo elektromobilů.
- Zálohování napájení lze výhodně realizovat v objektech železničních stanic, kde ve většině případů není problém s přípojkou na veřejný elektrický rozvod.
- Napájecí napětí 400V DC napětí vede k možnosti využít relativně levnějších a masově vyráběných DC měničů a dobíječů
- Použití DC rozvodu umožňuje připojení posilujících napájecích zdrojů kdekoli po napájecí trase, čímž se zvyšuje akceptovatelný příkon technologií

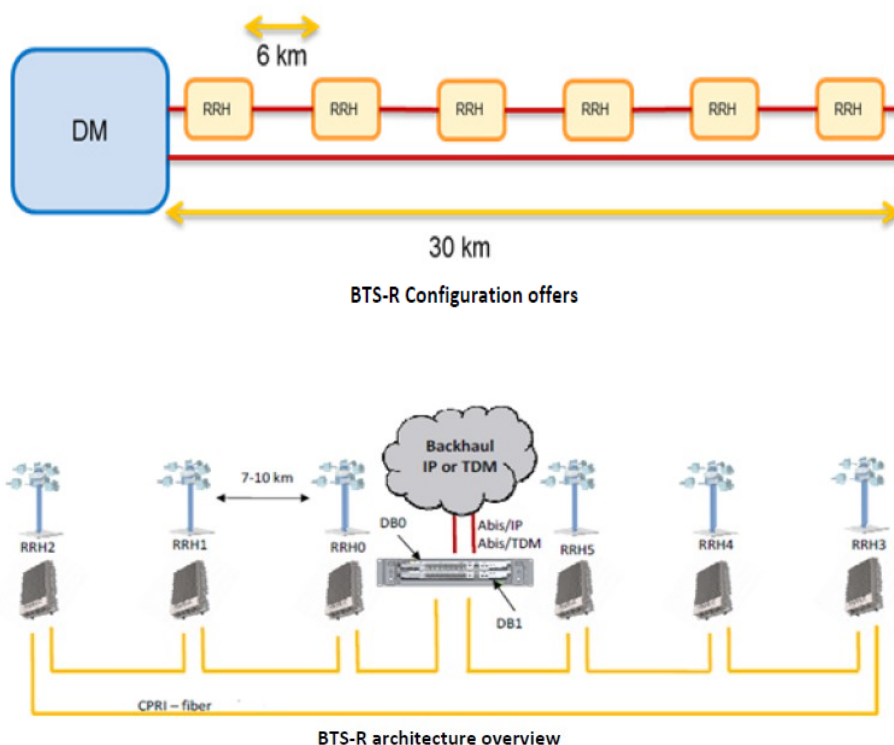
Z pohledu nákladů na pořízení a provoz liniových sítí je vhodné, aby takové trasy byly budovány nikoliv pouze za účelem technologických systémů železnice, ale tyto sítě umožňovali sdílení kabelových tras, například pro internet v území či pokrytí území veřejnými operátory. Současné optické kabely umožňují velký počet optických vláken, za přiměřené ceny. V porovnání ceny zemních prací výkopů a pokládky kabelů (cena lidské práce a mechanizace) je cena optického kabelu zanedbatelná. Je proto žádoucí, pokládat dostatečně vysoké množství kabelů a optických vláken. Železnice je atraktivní pro pokládku optických tras pro komerční účely pokrytí území datovými službami. Zejména regionální tratě mohou umožnit levnější a snazší možnost zavedení datových kabelů do tzv. bílých míst ČR, než v případě vedení optických kabelů volnou krajinou s nutností řešení velkého množství vlastníků pozemků. Pro železnici tak investice do

¹⁶ Takové řešení je známo ze starších koridorových technologií, kde traťový napájecí systém byl realizován vedením 6kV/75Hz a řešil jak napájení kolejových obvodů, tak také decentralizovaných zabezpečovacích technologií, jako byl především automatický blok nebo přejezdy. Toto bylo však velmi drahé a komplikované řešení.

výstavby a provozování takových sítí může být, za podmínky jednoznačně nastavených legislativních a ekonomických pravidel, potenciálně zisková.

4.2 Hlasová a datová komunikace

Koncept Železnice 4.0 zavádí princip komplexního pokrytí všech tratí datovými a hlasovými přenosy mobilního rádia, jakožto základního prostředku pro bezpečné řízení železničního provozu. Pro řízení a zabezpečení železnice se v současné době buduje systém GSM-R, který v následujících letech (cca. po roce 2030) bude postupně nahrazován systémem FRMCS. Koncept Železnice 4.0 předpokládá, že systém GSM-R (v budoucnu také FRMCS) bude řešen systémem distribuovaných technologií, který je založen na principu zobrazeném na obrázku 2. Ve vhodném objektu infrastruktury, např. ve stanici, bude instalována jednotka tzv. Digital Module (DM), která umožňuje po optickém kabelu řídit dalších až 6 vzdálených vysílačů tzv. Radio Remote Head (RRH), které tvoří základnovou stanici BTS-R. Maximální vzdálenost, kterou lze takto jedním DM modulem ovládat je do 30km. Tato vzdálenost může ve většině případů koncových regionálních tratí plně postačovat, i když z praktického hlediska bude na řadě tratí nutné počet RRH a DM modulů zvýšit z důvodu očekávatelného horšího pokrytí území šířením radiového signálu. Napájení RRH by bylo výhradně z liniového napájecího kabelu. V případě zajištění dostatečného zálohování tohoto napájení, lze uvažovat také o eliminaci lokálních bateriových prvků, což instalaci dále zjednoduší a zlevní.



Obr. 3 Architektura distribuované technologie GSM-R, zdroj Kontron Transportation s.r.o.

Toto řešení umožňuje minimalizaci technologie v infrastruktuře oproti současnému stavu realizace GSM-R technologie na koridorové síti, kde každá BTS obsahovala veškeré přenosové prvky, akumulátory zdroje a klimatizaci. Takto budované pokrytí tratí systémem GSM-R bude standardním způsobem integrováno do již vybudované GSM-R sítě, jejíž kapacita je dostačující k pokrytí všech tratí v ČR. V případě instalace systému GSM-R (FRMCS) lze synergicky využít technologií (liniové přenosové a datové sítě, sloupy, rozvaděče) také pro pokrytí tratě a přilehlého území signálem veřejných operátorů. Předpokládá se, že tato technologie bude realizována také distribuovanou technologií, nevyžadující lokální drahé a náročné technologie.

4.3. Objektové kontroléry

Objektový kontrolér zajišťuje funkci realizaci vstupně/výstupního rozhraní k vnějším technologiím (přejezdník, závora, návěstidlo, přestavník atd..). na základě datové komunikace s integrálním zabezpečovacím zařízením. Jedná se v principu o tzv. chytrou periferii, která realizuje převod datových zpráv na fyzické vstupy/výstupy. Objektový kontrolér může obsahovat také základní logické a diagnostické funkce. Pro připojení specifických technologií (např. ovládání světelného výstražníku PZZ, počítače náprav, elektromotor závory nebo

přestavníku), může být v objektovém kontroléru umístěno specifické ovládací rozhraní, přizpůsobené požadavkům vnějších technologií. Z pohledu železničního zabezpečovacího zařízení se jedná o technologii, která musí splňovat požadavky na elektronické zabezpečovací zařízení umístěné ve venkovním prostředí, splňující požadavky na bezpečnost elektronických systémů s HW i SW řešením na úrovni SIL=4. Technologie samotných objektových kontrolérů musí vyhovovat podmínkám venkovního prostředí, protože bude umístěn ve venkovní skříni na trati.

Objektový kontrolér je vhodné koncipovat jako zařízení, které je univerzální a nezávislé na konkrétních výrobcích. Obecně se pro taková zařízení používá označení COTS (commercial off-the-shelf – „použití jak je“) případně MOTS (modifiable off-the-shelf – „modifikovatelný zákazníkem“). Jedná se tedy o produkty, které jsou nabízeny větším množstvím výrobců jako komerční, masově vyráběné. V současném technologickém rozvoji týkající se zejména automatizace a robotizace průmyslu, známo rovněž jako Průmysl 4.0., se trh s takovými produkty silně rozvíjí a lze předpokládat, že bude zahrnovat také výrobce produktů splňujících drážní požadavky. Komunikační rozhraní mezi OC a IZZ by rovněž mělo být uživatelsky otevřené (vlastník/provozovatel by měl mít k němu plnou dokumentaci). Tím by měla být zajištěna možnost nezávislosti dodavatelů technologie OC. V současné době se takovéto obecné specifikaci věnuje například evropská iniciativa EULYNX¹⁷, která združuje 13 manažerů infrastruktury za účelem standardizace rozhraní a prvků signalizačních systémů.



Classic

Obr. 4 Příklad objektového kontroléru firmy HIMatrix

4.4. Integrovaná zabezpečovací zařízení

Integrovaná zabezpečovací zařízení slouží k realizaci všech logických funkcí nutných k řízení a zabezpečení železničního provozu. Současné technologie předpokládají instalaci klasických zabezpečovacích zařízení, jako jsou PZZ – přejezdová zabezpečovací zařízení, TZZ – traťová zabezpečovací zařízení, SZZ – staniční zabezpečovací zařízení do lokálních objektů (většinou reléové místnosti ve staničních objektech), kde je veškerá technologie soustředěna a napojena kabeláží k vnějším prvkům.



Obr. 5. Příklad HW počítače využitelného pro funkci IZZ do firmy HIMatrix

¹⁷ <https://www.eulynx.eu/>

Koncept Železnice 4.0. je založen na distribuované technologii objektových kontrolérů s centralizací logických funkcí do jednoho centra. Pracuje tak s tzv. integrálním zabezpečovacím zařízením, které koncentruje všechny logické funkce. Jedná se tedy o univerzální výpočetní HW, který je vybaven specifickým SW, integrující funkce PZZ, SZZ, TZZ. Musí rovněž integrovat funkce RBC systému ETCS v aplikační úrovni ETCS L2, případně L3. Protože IZZ bude využívat technologie ETCS L2/3, umožňující prostřednictvím systému GSM-R přechod k přímému řízení vozidel (na rozdíl od dosavadního způsobu řízení vozidel prostřednictvím návěstidel, který využívá rovněž systém ETCS v aplikační úrovni L1), můžeme v RBC aplikovat pokročilejší přístupy řízení jízdy vlaků. Vlaky mohou odjíždět na trať v přímých následech, bez nutnosti vyčkávat na uvolnění celého mezistaničního oddílu. Pro zvýšení kapacity tratě lze rovněž zřizovat cca. 2km dlouhé výhybny s dvěma kolejemi např. v mezistaničním úseku, čímž lze velmi efektivně zajistit tzv. „letmé křižování“ vlaků na trati. Tyto moderní přístupy řízení, podmíněné zavedením technologií ETCS v aplikační úrovni 2/3 společně s GSM-R, umožňují výrazně zvýšit kapacitu jednokolejných tratí oproti současnému stavu, kdy je jízda vlaků řízena ve většině případů mezistaničně. Přínos ETCS aplikační úrovně 3 umožní realizovat tuto funkci řízení vlaků s minimem infrastrukturních detekčních prvků a rovněž efektivněji, prostřednictvím zavedení „plovoucího bloku“ v rámci flexibilního řízení provozu, bez omezení infrastrukturními technologiemi detekčních prvků. Podmínkou však je, aby byl zaveden výhradní provoz s vlaky vybavenými ETCS, systémem ATO a kontrolou integrity vlaku. Navýšení kapacity i rychlosti lze rovněž očekávat u nejvytíženějších koridorových tratí.

Koncepce IZZ by měla umožňovat snadnou SW konfiguraci systému tak, aby v případě změny konfigurace SW (typicky připojení další řízené oblasti nebo modifikaci stávající) bylo možné změnit pouze příslušnou část konfigurace SW, která bude následně přezkoušena bez ovlivnění zbylé funkční části IZZ. Dle poznatků ze zahraničí, lze IZZ pojímat také jako tzv. „cloudové“ řešení, které může poskytovat velmi vysoký výpočetní i datový prostor a velmi vysokou dostupnost a spolehlivost řešení. Je samozřejmé, že požadavky na tuto část zabezpečovacího zařízení budou rovněž pro HW i SW funkce na úrovni SIL=4, a je bezpodmínečně nutné zajistit rovněž adekvátní ochranu celého počítačového řešení proti kybernetickým útokům.

4.5. Nadřazené operativní a dispečerské řízení dopravy

Nadřazené operativní a dispečerské technologie slouží k řízení provozu na dané trati nebo v oblasti, kde bude nasazena distribuovaná technologie dle konceptu Železnice 4.0. Předpokládá se, že bude využíváno současných přístupů a technologií, které jsou dnes budovány a provozovány v rámci pracovišť Centrálního dispečerského pracoviště. Nicméně s ohledem na předpoklad využití také technologie ETCS aplikační úrovně 3, lze předpokládat, že i tato technologie bude přizpůsobena pro tyto nové možnosti řízení železniční dopravy. Rovněž lze předpokládat, že bude využíváno také nadřazených technologií pro automatizaci

jízdy vozidel (systémy ATO), které by měly být zakomponovány do této části systému operativního řízení provozu. Lze tak očekávat rovněž podstatný vývoj v této oblasti.

5. Praktická implementace technologií podle konceptu Železnice 4.0.

Při implementaci distribuovaných technologií s centralizací logických funkcí dle konceptu Železnice 4.0. se při výstavbě musí postupovat nejprve od vybudování páteřní liniové infrastruktury, zahrnující jak optické, tak napájecí kabely. Při budování této sítě by měla být již známa poloha venkovních prvků v kolejišti, kde budou optická i napájecí vedení vyvedena do objektových kontrolérů a místa výstavby BTS radiových sítí. Tato základní infrastruktura proto musí být vystavěna tak robustně a dostatečnou rozvahou, aby ji případné další úpravy svršku nenarušily, a umožnily její bezchybnou funkci i v případě postupné modernizace infrastruktury. V dalším kroku budou budovány lokální objektové kontroléry. Jejich výstavba není příliš náročná, neboť se jedná o průmyslovou technologii, kterou lze umístit do průmyslových rozvaděčů pro venkovní instalaci. Budou budovány rovněž sloupy pro instalaci BTS pro GSM-R a GSM veřejných operátorů.

Velkou výhodou realizace distribuovaných technologií lze spatřovat zejména při řešení problematiky zabezpečení přejezdů, které jsou významným zdrojem nebezpečí i zpomalení provozu na regionálních tratích. Koncept Železnice 4.0. prakticky umožňuje vybavit každý přejezd adekvátní úrovní vnějších prvků, které mohou zajistit zabezpečení přejezdu dle legislativních požadavků. Přínosem tohoto řešení je, kromě zvýšení bezpečnosti, především možnost jízdy vlaků maximální traťovou rychlostí bez omezení vyplývající dnes z nedostatečné úrovně zabezpečení přejezdů, a to na celém traťovém úseku. Přitom investiční i provozní náklady na vybudování takového zabezpečení přejezdu bude lokálně výrazně nižší, protože náklady na většinu funkcí realizovaných doposud lokálně v místě přejezdu (logika přejezdu, napájení a datová komunikace, atd.) jsou již řešeny prostřednictvím liniových komunikačních a napájecích sítí a centralizací logických funkcí v IZZ.

V neposlední řadě musí být vybudováno také zálohované napájení, které bude přednostně realizováno v objektech, které již mají, nebo umožňují nově zřídit, elektrickou přípojku z veřejné energetické sítě. Objekty ve stanicích toto zpravidla splňují, přičemž by neměl být nutný rozsáhlý zábor vnitřních prostor budov, jak je nutné v případě klasického umístování staničních zabezpečovacích zařízení. Při použití rozvodu o napájecím napětí 400V DC lze v případě nutnosti posilovat vedení i v dalších objektech na tratí, avšak dosavadní výpočty ukazují, že při standardní vzdálenosti stanic do cca. 7km bude postačovat toto traťové napájecí vedení napájet pouze oboustranně ze sousedících staničních objektů. Při dostatečně kvalitní realizaci této sítě lze počítat s velmi vysokou životností minimálně 50 i více let.

Při zapojování objektových kontrolérů na vnější periferie se bude postupovat unifikovaným typovým způsobem, který bude rozpracován pro každý typ vnější periferie. Konečné oživení technologie se realizuje až konfigurací IZZ, kde se přiřadí konkrétní vstupy/výstupy objektových kontrolérů k adresným SW objektům, se kterými dále pracuje SW IZZ. Předpokládá se, že se takto výrazně zjednoduší a zrychlí nejenom projektování těchto technologií, ale rovněž i konečné zapojování a zkoušení celého systému.

Je zřejmé, že s ohledem na rozsah železniční sítě, která musí být v relativně krátké době pokryta systémem ETCS a GSM-R / FRMCS, nelze výstavbu a rozšiřování této technologie spojovat s komplexními modernizačními aktivitami stavební části železnice, která postupuje výrazně pomaleji (z technologických i ekonomických důvodů), než je možné budovat liniovou kabelizací a výstavbu BTS radiových sítí. Přístup založený na přístupu konceptu Železnice 4.0. naopak umožňuje tímto postupem výrazně urychlit pokrytí moderní technologií řízení a zabezpečení i těch částí infrastruktury, kde dosud neproběhla těžká střední oprava, či případně komplexní modernizace infrastruktury. Systém s distribuovanými technologiemi má koncepční předpoklady k výrazně adaptibilnější a modifikovatelnější schopnosti realizovat změny konfigurace nebo obnovu jednotlivých částí, než je obvyklé v případě statických instalací lokálně centralizovaných. Při změně nebo obměně se totiž realizuje výměna pouze parciální části technologií, přičemž nejnákladnější části, týkající se napájení, datových sítí i centrální logiky zůstávají beze změny, případně projdou změnou parciální konfigurace.

6. Ekonomické parametry konceptu Železnice 4.0.

Náklady na realizaci konceptu Železnice 4.0. byly pro účely projednávání tohoto návrhu v roce 2020 v bezpečnostní komisi MDČR, pracovní skupina infrastruktura, autorem článku zpracovány v podobě odhadu investičních nákladů podle pravidel¹⁸ SFDI. Tento odhad, realizovaný na modelovém příkladu typické regionální trati naznačuje, že náklady na presentovaný komplexní pohled na modernizaci řízení a zabezpečení železnice není výrazně nákladnější, než je v současné době plánováno, a to i v případě aplikace výrazně zjednodušených instalací ETCS L1 LS nebo STOP bez traťového rádia GSM-R. Přitom rozsah technologie, funkcí a využitelnosti železnice je v případě konceptu Železnice 4.0. řešena komplexně na nejvyšší možné úrovni současného poznání s možností pokrýt také budoucí požadavky např. autonomní provoz vlaků bez strojvedoucích. Náklady na zabezpečení tratě se mohou pohybovat rozsahu kolem 5 až 7mil Kč/km zabezpečení jednokolejné tratě a rámcově tak respektuje předpokládaný objem finančních prostředků definovaných ve vizi MDČR – O130 pro zavádění systému ETCS do roku 2040. Při realizaci této technologie lze navíc předpokládat i nižší provozní náklady. To je dáno jednak použitím vysoce spolehlivých technologií s detailní diagnostikou, a také nižšími provozními

¹⁸ <https://www.sfdi.cz/pravidla-metodiky-a-ceniky/cenove-databaze/> , Sborník pro oceňování železničních staveb ve stupni studie proveditelnosti a záměr projektu

náklady se zajištěním spolehlivého a bezpečného napájení a centralizací logických částí systému.

7. Závěr

Presentovaný koncept Železnice 4.0. navrhuje nový alternativní přístup řešení modernizace technologií řízení a zabezpečení na železniční síti ČR, který by měl umožnit komplexní zavedení digitálních technologií na železniční síti v ČR. Koncept Železnice 4.0. je technologickým rozpracováním vize ITS-R, přičemž sleduje nejenom otázku modernizace zabezpečovacích zařízení, zavedení systému ETCS umožňující zvýšení úrovně bezpečnosti železničního provozu v ČR, ale nastavuje také technologické prostředí umožňující zvýšit využitelnost železnice a schopnost vyššího zapojení se do integrovaných dopravních systémů regionů v ČR. Koncept byl projednán na úrovni MDČR a Správou železnic, s.o. v 9/2020. Na základě rozhodnutí Generálním ředitelem SŽ, s.o. Bc. Jiřím Svobodou, MBA bylo rozhodnuto, že Správa železnic, s.o. převezme nad tímto konceptem Železnice 4.0 oficiální záštitu, a bude tento směr dále rozvíjet v rámci společné pracovní skupiny Železnice 4.0. složené z odborníků SŽ, s.o. a ČVUT v Praze, Fakulty dopravní. Pracovní skupina v současné době pracuje na rozpracování tohoto konceptu do úrovně podkladů pro realizační projekt a směřuje k následné realizaci pilotního ověření tohoto konceptu na reálné infrastruktuře testovací dráhy Správy železnic.

Stanovisko lektora Ing. Karla Višnovského:

Článek překládá obecně známá fakta a nepřináší žádné nové vědecké nebo alespoň inspirující podněty. Název článku hovoří o digitální železnici, ale jakoukoli definice tohoto pojmu a odlišení digitální železnice od aktuálního stavu modernizace české železnice nepřináší. Článek vytváří dojem, že vizi digitální železnice naplníme realizací „Konceptu Železnice 4.0“, tj. zavedením nového konceptu v oblasti řízení a zabezpečení, přičemž uvádí, že je založen na komplexním zavedení digitálních technologií, které naplňují vizi Inteligentních dopravních systémů na železnici (ITS-R). Poskytnutá reference však odkazuje na Poziční dokument Sdružení pro dopravní telematiku k dalšímu rozvoji telematiky v železniční dopravě, jehož jedním z autorů je právě autor hodnoceného článku a nikterak ani z něj nevyplývá, že se jedná o dokument schválený příslušnými institucemi (MD ČR, Správa železnic, ...) odpovědnými za modernizaci České železnice. □ Článek vytváří dojem, že realizací „Konceptu Železnice 4.0“ se zajistí efektivní nasazování systému ETCS/ERTMS při současném zvyšování kapacity dráhy, přestože k tomuto nepřikládá žádné věcné argumenty. Článek v podstatě popisuje koncept distribuovaného zabezpečovacího systému, který je popsán veřejně dostupnými dokumenty, např. iniciativy EULYNX. Článek předjímá výhody projektu EULYNX, ale zamlčuje jeho nevýhody a tím vytváří falešný dojem o reálných možnostech použití a zavedení této iniciativy, která není nijakým způsobem kodifikována v evropských normách nebo jiné legislativě.

Popis koncepce distribuovaného zabezpečovacího zařízení se velmi podobá již v současné době provozovanému výrobku zabezpečovacího zařízení, který je průmyslově chráněn. Přesto tento fakt autor článku buď neví, nebo záměrně neuvádí. Článek se snaží vyvolat představu, že distribuovaný zabezpečovací systém bude spolehlivější než systém centralizovaný avšak nepředkládá k tomu žádné argumenty. Pozn. hlavními důvody pro, v minulosti realizovaný, přechod od distribuovaných zabezpečovacích zařízení k centralizovaným byla právě spolehlivost a provozní způsobilost zařízení umístěných ve venkovních podmínkách. Článek naznačuje, že distribuovaný zabezpečovací systém bude z pohledu zajištění provozuschopnosti, tj. prediktivní a korektivní údržby, méně náročný než systém centralizovaný, opět bez jakýchkoli argumentů. Článek uvádí, že cena za distribuovaný zabezpečovací systém nepřesáhne cenu dnes budovaných centralizovaných systémů, avšak bez potřebné argumentace. Článek se snaží podsunout názor, že distribucí objektových kontrolérů dojde ke snížení nároků na napájení zabezpečovacích zařízení, opět bez argumentů. Způsob zpracování článku, který nepředkládá argumenty k uvedeným proklamacím a tvrzením naznačuje, že autor článku pochází z akademického prostředí bez praktické zkušenosti při projektování, vývoji, montáži, provozu a servisu zabezpečovacího zařízení. Výše uvedené připomínky se vztahují pouze k hlavní podstatě, obsahu a záměru článku.

Lektorovali:

Ing. Radek Dobiáš, Ph.D.,

Správa železnic, státní organizace

Ing. Karel Višnovský,

AŽD Praha s.r.o.

6. Porovnání silniční a železniční dopravy z hlediska produkce emisí CO₂ v reálných podmínkách

Marek Mrázek¹⁹,
Lukáš Soukup²⁰,
Jan Perůtka²¹,
František Sládek²²

Klíčová slova

emise, oxid uhličitý, emisní faktor, silniční doprava, železniční doprava

Keywords

emissions, carbon dioxide, emission factor, road transport, rail transport

Anotace

Článek se zabývá tématem emisí oxidu uhličitého z jednotlivých módů dopravy. V odvětví dopravy vzniká několik druhů negativních externalit, mezi které se řadí emise oxidu uhličitého, které se navzdory rostoucímu počtu opatření nedaří v dlouhodobém horizontu snižovat. Pro účely článku byly vybrány dvě srovnatelné relace osobní i nákladní dopravy, na kterých byla vypočtena a porovnána emisní náročnost příslušných dopravních prostředků.

Abstract

The article deals with the topic of environmental pollution from different modes of transport. The transport sector generates several types of negative externalities, including carbon dioxide emissions, which, despite a growing number of measures, are not being reduced in the long term. For the purpose of this paper, two comparable passenger and freight transport sessions were selected, on which the emission intensity of the respective means of transport was calculated and compared.

¹⁹ **Ing. Mgr. Marek Mrázek** je absolventem oborů Hospodářská politika na Ekonomicko-správní fakultě a Německý jazyk na Filozofické fakultě MU v Brně. V současnosti pracuje na oblasti železniční dopravy v Centru dopravního výzkumu, v. v. i.

²⁰ **Ing. Lukáš Soukup** je absolventem oboru Dopravní infrastruktura v území na Fakultě dopravní ČVUT v Praze. V současnosti pracuje na odboru drážní dopravy Ministerstva dopravy.

²¹ **Ing. Jan Perůtka** je absolventem oboru Dopravní prostředky a ochrana životního prostředí v dopravě na

DFJP v Pardubicích. V současnosti pracuje na pozici vedoucího oblasti železniční dopravy v Centru dopravního výzkumu, v. v. i.

²² **Ing. František Sládek** je absolventem oboru Technologie a řízení dopravy na DFJP v Pardubicích. V současnosti pracuje na oblasti železniční dopravy v Centru dopravního výzkumu, v. v. i.

1. Úvod

Dopady lidské činnosti na změny klimatu jsou jedním ze zásadních témat strategií týkajících se dalšího směřování většiny odvětví včetně dopravy. Z aktuálních strategií jde například o plán Evropské komise (EK) *Fit for 55* s cílem snížit do roku 2030 **emise skleníkových plynů** o 55 %.

Doprava bude v tomto plánu hrát rovněž důležitou roli. I proto bude růst význam zjišťování a vykazování skutečných emisí skleníkových plynů v dopravě. Jedním z nástrojů na snižování emisí produkovaných dopravou je snižování podílu silniční dopravy a její nahrazování železniční nebo vodní dopravou. V českých podmínkách jde především o dopravu železniční, a to ideálně v elektrické trakci.

Předmětem popisované studie je rešerše zabývající se výpočtem emisí na vybraných relacích, na kterých má silniční i železniční doprava obdobné podmínky i využití, aby žádná z nich nebyla zvýhodněna a výpočty byly v maximální míře porovnatelné. V případě nákladní dopravy byla jako vhodná relace vybrána trasa Brno – Břeclav, u osobní dopravy se jedná o regionální spojení Hulín – Holešov ve Zlínském kraji.

2. Celkové emise skleníkových plynů

Doprava je po energetice hlavním producentem skleníkových plynů v Česku i Evropské unii (EU). K roku 2019 činí podíl emisí CO₂ vyprodukovaných dopravou v ČR 15,5 %, v EU dvojnásobek. To je dáno do značné míry způsobem výroby elektrické energie v jednotlivých evropských zemích. Velké emise oxidu uhličitého u hlenými elektrárnami v ČR vydatně zvyšují základ, vůči kterému jsou jednotlivé obory v poměru vyjadřovány. To v procentním vyjádření v ČR relativně snižuje emise z dopravy.

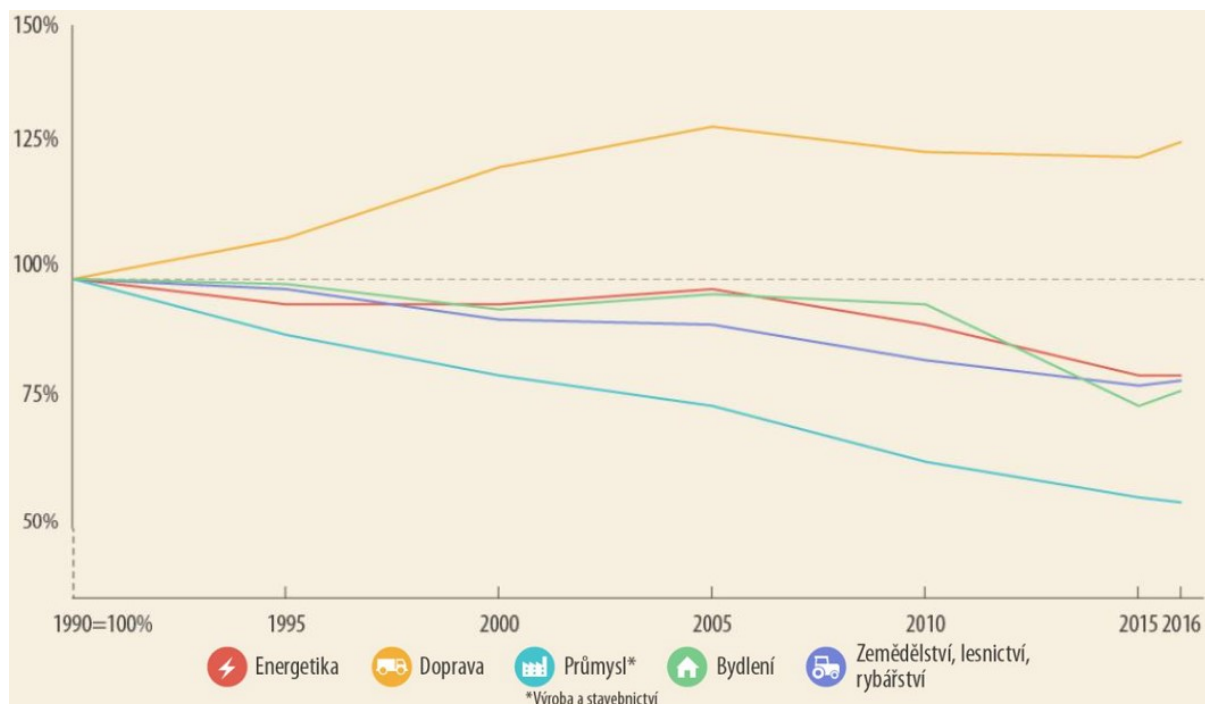
V celé EU má totiž na produkci emisí CO₂ významný podíl i námořní doprava a doprava letecká. V současné době metodika emisní inventury pro ČR využívá data od ČSÚ, který uvádí spotřebu paliv pouze ve vnitrostátní vodní dopravě. V případě emisí z mezinárodní lodní dopravy by se pak počítaly emise z lodí plujících pouze pod českou vlajkou. Z pohledu produkce emisí CO₂ se letecká doprava v ČR podílí na celkových emisích vzniklých z dopravy pouze 2 %, v EU je tento podíl výrazně vyšší. V rámci emisní inventury ČR jsou počítány veškeré emise z vnitrostátní letecké dopravy. V případě mezinárodní letecké dopravy jsou počítány pouze emise z letů odlétajících z ČR, a to po celou dobu letu do cílové destinace. V případě letů přilétajících do ČR jsou započítávány emise do emisní inventury státu, ze kterého letoun startuje [1].

Nepříznivým faktem z pohledu dopravy je, že na rozdíl od většiny ostatních odvětví se zde produkované emise nedaří snižovat. Od roku 1990 klesly emise oxidu uhličitého v zemích Evropské unie nejvýrazněji v odvětví průmyslu, kdy se jedná o významné snížení na polovinu. Přibližně na úroveň 75 % se dostala odvětví energetiky, zemědělství, rybnářství, lesnictví či vytápění budov. Naopak doprava jako jediná z vyhodnocených odvětví v průběhu 90. let minulého století rostla (o 25 %) a dnes se pohybuje přibližně na stejné úrovni. V průběhu času neklesá jako ostatní odvětví, což je důvodem pro zpřísnující se regulace všech

druhů dopravy. V České republice emise z dopravy stále rostou z hodnoty 7 mil. t CO₂/rok v roce 1990 na 19 mil. t CO₂/rok v roce 2019, což je způsobeno extenzivním rozvojem silniční automobilové dopravy. Naopak v odvětví průmyslu na území ČR se podařilo restrukturalizací a inovacemi snížit emise oxidu uhličitého z hodnoty 51 mil. t CO₂/rok v roce 1990 na 8 mil. t CO₂/rok v roce 2019.

Na emisích oxidu uhličitého v dopravě se z 92 % podílí silniční doprava, železniční doprava tvoří pouhých 1,5 % [2]. Největší část tvoří individuální automobilová doprava (IAD), následuje nákladní silniční doprava. Letecká a námořní doprava dosahují přibližně stejné úrovně vypouštěných emisí. Aby tyto emise byly dále snižovány, stanovila si Evropská unie cíl snížit emise CO₂ v dopravě do roku 2050 o 90 %, což je uvedeno ve Sdělení Evropské komise COM/2019/640, kapitola 2.1.5.

Graf 1 - Vývoj emisí CO₂ v EU v jednotlivých odvětvích (1990-2016) [2]:

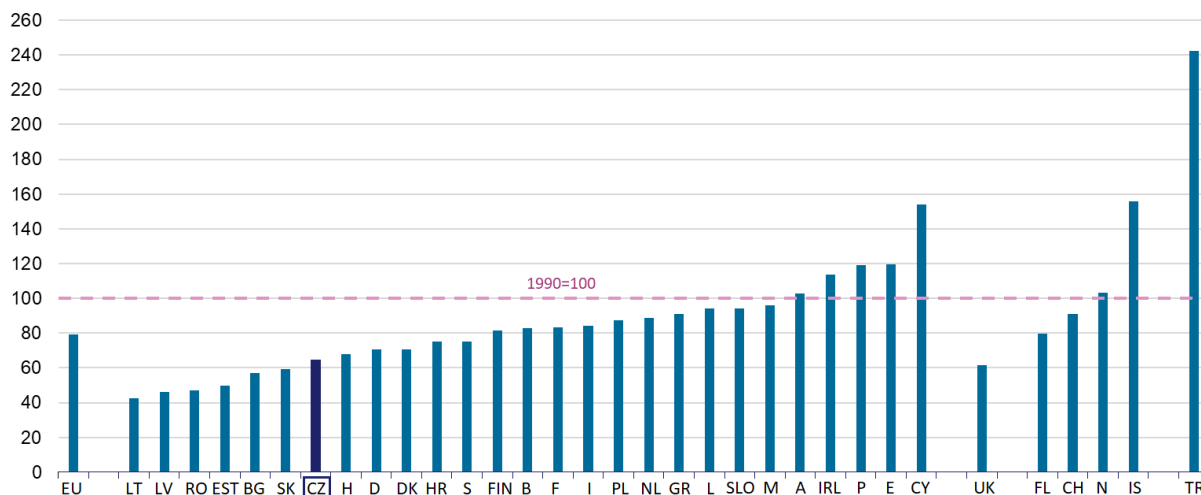


CO₂ je pouze jedním z mnoha skleníkových plynů, jeho podíl na produkci skleníkových plynů je však dominantní. Do ovzduší jsou vypouštěny i další plyny, jako například metan a oxid dusný, podílející se rovněž na tzv. skleníkovém efektu [4]. Z údajů *Ročenky dopravy* je však patrné, že CO₂ tvoří největší část produkovaných emisí. V roce 2020 bylo dopravou produkováno v ČR přes 19 milionů tun CO₂, emise CH₄ tvořily pouze 900 tun a N₂O 600 tun. Význam ostatních skleníkových plynů z dopravy tak není příliš velký, protože žádný z nich v současnosti netvoří ani 0,5 % podílu z celkových emisí skleníkových plynů [5].

Celková produkce emisí CO₂ dle jednotlivých evropských států je zobrazena v grafu 2, zahrnuty jsou rovněž emise z mezinárodní letecké dopravy. Od roku 1990 se emise v Evropské unii snížily v průměru o pětinu a většina zemí jejich

množství snížila (pro porovnání jsou v grafu zahrnuty také členské státy Evropského sdružení volného obchodu a Turecko). ČR patří mezi státy, kde došlo k signifikantnímu poklesu produkce emisí. V současnosti jich produkuje přibližně na úrovni dvou třetin stavu z roku 1990, nejúspěšnější státy ve snižování emisí produkují přibližně polovinu [6]. Výjimku představuje ovšem zmíněná doprava.

Graf 2 - Relativní vyprodukované celkové emise CO₂ dle zemí (2018) k výchozí úrovni roku 1990 [6]:



3. Používané metodiky

Rámcová úmluva OSN a Kjótský protokol zavazují signatářské země k pravidelné kontrole vyprodukovaných emisí. Aby byl způsob výpočtu emisí pro všechny země jednotný a transparentní, byla pro dodržování závazků vypracována jednotná metodika s názvem *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (dále jen "metodika IPCC"). Pro výpočet je nutné znát pouze množství paliva, které vozidlo se spalovacím motorem pro svou činnost spotřebuje, jelikož emise výfukových plynů jsou přímo úměrné spálenému palivu. Dále je potřebné znát obsah uhlíku v daném druhu paliva.

Výpočet emisí tak závisí na měrné spotřebě paliva, výhřevnosti paliva a obsahu uhlíku ve spalovaném palivu. V rámci výpočtů se teoreticky předpokládá, že veškerý obsažený uhlík v palivu se přemění na oxid uhličitý a že pouze jeho malá část nebude spálena (tzv. nedopal). Tímto předpokladem nedochází ke zkreslení dat, protože v praxi se místně specifické emisní faktory uhlíku od průměrných hodnot stanovených metodikou příliš neliší. Nedopal musí být ovšem zohledněn u tuhých paliv, kde již tvoří větší část. Na základě toho byla pro každé palivo vypočtena konkrétní hodnota výsledného emisního faktoru CO₂. Následující tabulka 1 zobrazuje emisní faktory automobilového benzínu a motorové nafty. U obou uvedených paliv dosahuje oxidovaný podíl uhlíku v průměru 98 %, nedopal byl tedy pro další účely studie zanedbán. Hodnota emisního faktoru elektrické energie závisí na národním energetickém mixu (dle Souhrnné energetické bilance ČR v roce 2019 se jednalo o hodnotu 0,428 t CO₂/MWh).

Tabulka 1 - Emisní faktory CO₂ a množství při spalování v rámci vybraných paliv [3]:

Palivo	Emisní faktor CO ₂ EF [kg CO ₂ /kg]	Výhřevnost NCV [kWh/kg]
Benzin	0,247	12,2
Motorová nafta	0,264	11,8

Podle metodiky IPCC i vyhlášky 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, lze emise vypočítat dle následujícího vzorce:

$$E_{CO_2} = m_p \cdot NCV_p \cdot EF_p \cdot (1 - nedopal) \quad (1)$$

kde E_{CO_2} = celková hmotnost CO₂ vyprodukovaná spálením 1 kg paliva [kg],
 m_p = celková hmotnost paliva [kg],
 NCV_p = výhřevnost paliva [kWh/kg],
 EF_p = emisní faktor paliva [kg CO₂/kg],
 nedopal = koeficient [-].

Pro určení celkových emisí z dopravy je základním vstupem množství prodaného paliva v rámci zkoumaného časového období v určité zemi. Počítáno je s nákupem veškerých pohonných hmot na území země. Pokud v některé zemi z důvodu nižší ceny převyšuje množství prodaných pohonných hmot lokální spotřebu, pro statistické účely se zjednodušeně předpokládá, že naopak v ostatních zemích je prodáno méně, než je spotřebováno, tudíž se prodeje v součtu vyrovnávají.

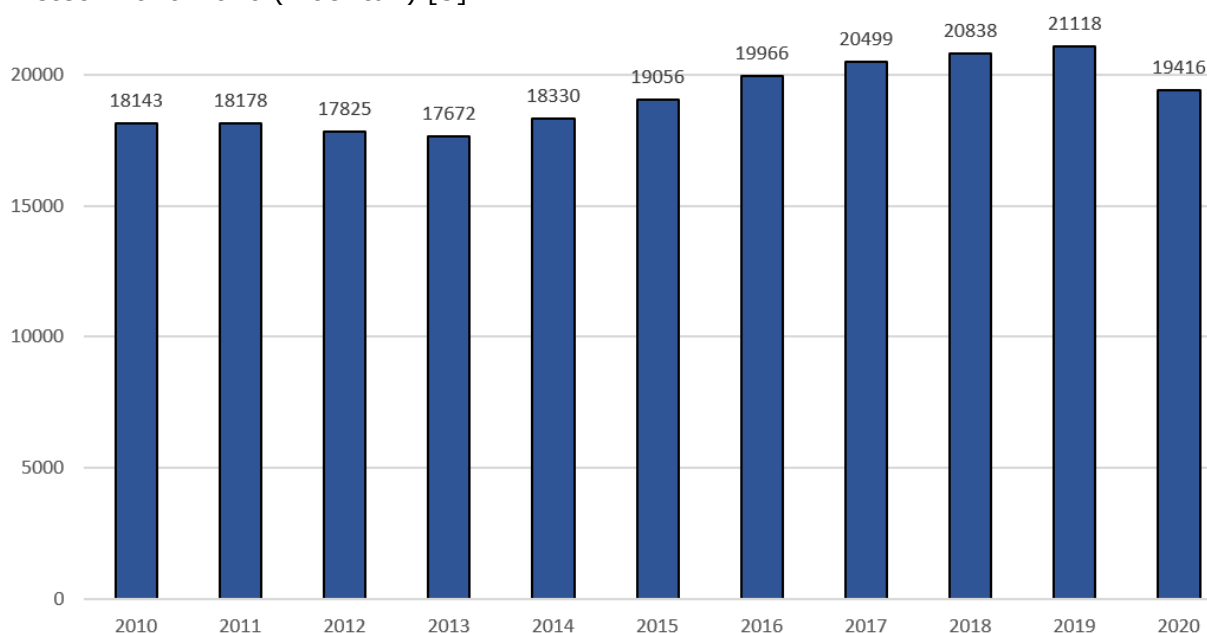
Jednotná metodika IPCC je využívána i v případě získávání údajů o emisích z dopravy na území České republiky zveřejňovaných mj. v *Ročence dopravy*. Sledovány jsou ovšem údaje na základě spotřeb pohonných hmot, a to za všechny druhy dopravy. V případě elektrické energie spotřebované v dopravě se emise vzniklé při její výrobě evidují do odvětví energetiky. V odvětví dopravy se pak elektrický pohon jeví zdánlivě jako bezemisní.

Pro objektivní srovnání elektrického a dieselového pohonu je proto nutné zahrnout emise vznikající nejen při přeměně energie, ale také při jejich výrobě (elektrina a nafta). U elektřiny vznikají emise pouze při její výrobě a jsou závislé na aktuálním energetickém mixu země. Při samotném využití elektrické energie však už žádné další emise nevznikají. U dieselového pohonu se ve většině případů uvažují naopak pouze emise vzniklé spálením nafty (tank-to-wheels, TTW), ke kterým je ale při porovnání s elektrickým pohonem nutné připočítat i emise vznikající při její výrobě (well-to-tank, WTT). To dle publikace *JEC Well-To-Wheels* představuje navíc asi 6 % vyprodukovaných emisí, o které musí být hodnota emisí ze spalování benzínu a motorové nafty navýšena [7].

4. Emisní cíle v oblasti dopravy a jejich naplňování

Výchozím dokumentem na úrovni EU je kromě již uvedeného návrhu *Fit for 55* především *Zelená dohoda pro Evropu*. Z pohledu dopravy je cílem snížení emisí skleníkových plynů z dopravy v EU do roku 2050 o 90 %. Na národní úrovni je pro dopravu základním dokumentem *Dopravní politika České republiky* pro období 2021-2027 s výhledem do roku 2050. V rámci dokumentu jsou podrobně vyčísleny přepravní výkony a emise jednotlivých dopravních módů v posledních letech.

Graf 3 – Vývoj emisí CO₂ z dopravy (mimo emise ze spotřebované elektrické energie) v letech 2010-2020 (v tis. tun) [5]:



Z vývoje emisí skleníkových plynů je patrné, že zatím není naplňován cíl jejich snižování (s výjimkou poklesu vlivem pandemie COVID-19 v roce 2020). V rámci prognózy je počítáno s dvěma možnými variantami vývoje: a) politicky stanovená regulační opatření budou plněna, b) pokračování ve stávajícím vývoji bez dalších externích omezujících zásahů.

Tabulky 2 a 3 zobrazují emisní náročnost, tj. emise CO₂ na jednotku přepravního výkonu. V případě osobní dopravy došlo v roce 2020 k výraznému růstu emisí na přepravní výkon, jedná se o důsledek poklesu přepravních výkonů vlivem pandemie. U nákladní dopravy lze naopak sledovat opačný vývoj, evidované tkm v silniční nákladní dopravě v roce 2020 výrazně vzrostly, zatímco vypuštěné emise CO₂ se pohybují na podobných hodnotách jako v letech předchozích.

To lze vysvětlit tím, že spotřeba energie a produkce emisí jsou fyzikálně úměrné dopravní práci (brutto tkm), ale jsou ve statistikách uváděny ve vztahu k přepravní práci (netto tkm). Zatímco na železnici jsou přepravní výkony ve statistikách MD ČR uváděny za všechny dopravce, vykonané na území ČR, u ostatních druhů dopravy jsou vykazovány jen výkony dopravců registrovaných v ČR, vykonané na území celého světa.

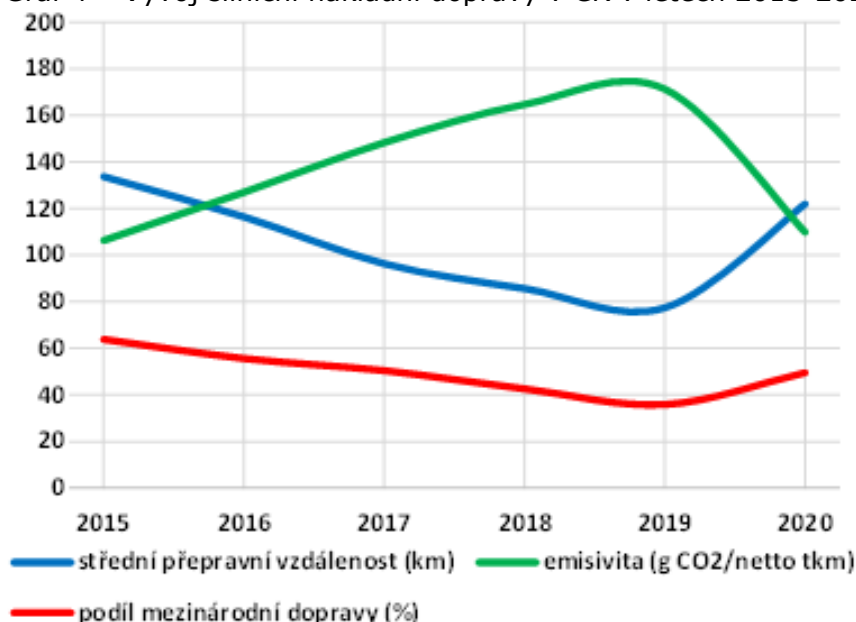
Tabulka 2 – Emise CO₂ v osobní dopravě přepočtené na jednotku přepravního výkonu (oskm) v letech 2010-2020 (g) [5]:

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Železniční doprava	45	43	44	36	36	33	31	30	27	25	34
Silniční doprava	158	154	154	151	153	151	155	154	152	151	175

Tabulka 3 – Emise CO₂ v nákladní dopravě přepočtené na jednotku přepravního výkonu (tkm) v letech 2010-2020 (g) [5]:

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Železniční doprava	21	20	19	19	19	18	18	18	17	17	15
Silniční doprava	96	90	96	89	94	106	127	148	165	171	110

Graf 4 – Vývoj silniční nákladní dopravy v ČR v letech 2015-2020 [5]:



V roce 2020 došlo v ČR vlivem omezení veřejné osobní dopravy a služeb k uvolnění léta nedostatkových řidičů pro potřeby nákladní automobilové dopravy. V ČR registrovaní automobiloví dopravci díky tomu zvýšili své přepravní výkony v mezinárodní dopravě. To se projevilo poklesem měrných emisí v silniční nákladní dopravě, neboť byl ve statistikách potlačen vliv emisně vysoce náročné rozvážkové automobilové dopravy na krátké vzdálenosti.

5. Porovnání emisí v nákladní dopravě

Jedním ze základních opatření pro snižování spotřeby energie a emisí skleníkových plynů z dopravy má být přesun části přepravních výkonů realizovaných silniční dopravou na železnici, která se vyznačuje jak nižším odporem valení, tak i nižším aerodynamickým odporem. V rámci potenciálu tohoto opatření bylo provedeno porovnání měrných emisí v železniční a silniční dopravě na úseku Brno–Břeclav, kde je dálnice D2 vedena souběžně s I. tranzitním železničním koridorem. Rovněž charakter dopravy je obdobný, kdy

v segmentu nákladní dopravy převládá dálková doprava. V silniční nákladní dopravě byla sledována především těžká nákladní vozidla a návěsové soupravy s užitečnou hmotností nad 10 t a na železnici byly sledovány průběžné vlaky a nákladní expresy vedené elektrickým hnacím vozidlem. Nutno zdůraznit, že výpočty reflektují produkci emisí při současných přepravních výkonech (jiných na silnici a jiných na železnici) a nezohledňují teoretické převedení dopravních výkonů ze silnice na železnici. Proto jsou pro srovnatelnost přepočteny na měrné emise na přepravu 1 tuny nákladu.

5.1 Silniční doprava

Výpočet produkce emisí z těžké nákladní dopravy je závislý na několika proměnných: vzdálenost (l), počet sledovaných nákladních vozidel tranzitujících po dálnici D2 (N) a množství emisí CO_2 ($M CO_2$).

Sledovaný úsek Brno–Břeclav na dálnici D2 je dlouhý 54 km. Pro určení počtu vozidel bylo čerpáno z dat Celostátního sčítání dopravy 2020 (CSD), vybrán byl sčítací úsek s nejnižší intenzitou nákladních vozidel z důvodu eliminace započtení jízd regionální nákladní dopravy pouze v okolí velkých měst a dopravních uzlů. Nejnižší intenzity těžké nákladní dopravy na dálnici D2 byly zjištěny v úseku 6-8740 poblíž Břeclavi. Hodnota ročního průměru denních intenzit (7 316 vozidel) byla přepočtena na počet vozidel za celý kalendářní rok (2 677 656). U této kategorie vozidel se předpokládá, že jejich náklad by mohl být teoreticky přepravován po železnici.

Jelikož nebyly k dispozici informace o kilometrických probězích a emisích pro stanovení emisního faktoru jako u silniční dopravy, byl pro výpočet emisí CO_2/km užit výpočetní vzorec z metodiky IPCC (uvedený v kapitole 3):

$$E CO_2 = m_p \cdot NVC_p \cdot EF_p = 1 \cdot 0,042 \cdot 73,33 = 3,08 t CO_2 \quad (8)$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1}{0,84} = 1,19 m^3 \quad (9)$$

$$m CO_2 = \frac{E CO_2}{V_p} = \frac{3,08}{1,19} = 2,58 t CO_2/m^3 \quad (10)$$

Uvažováno je s průměrnou spotřebou 30 l/100 km:

$$M CO_2 = m CO_2 \cdot FC = 2,58 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{30}{100} = 7,74 \cdot 10^{-4} t \frac{CO_2}{km} = 774 g CO_2/km$$

Jmenované proměnné byly mezi sebou vynásobeny:

$$CO_2 = l \cdot N \cdot M_{CO_2} = 54 \cdot 2\,677\,656 \cdot 0,774 = 111\,915 t CO_2/rok \quad (2)$$

Pro rovnocenné porovnání elektrického a dieselového pohonu byly zahrnuty emise vznikající také při výrobě nafty (well-to-tank), což představuje 6 % dodatečně vyprodukovaných emisí. Vypočtené emise CO_2 u silniční nákladní dopravy byly o tuto hodnotu navýšeny, celkové roční emise (well-to-wheels) ze silniční nákladní dopravy na úseku činí **118 629 t CO_2** .

Poslední výpočet v dané kategorii se týkal produkce emisí na tunu přepraveného nákladu. Ze statistik MD ČR byly určeny průměrné hmotnosti vozidel jednotlivých kategorií a na základě jejich podílu v dopravě dle dat z CSD mohl být proveden výpočet celkové hmotnosti převezeného nákladu.

$$Emise\ na\ t\ nákladu = \frac{M\ CO_2}{hmotnost\ nákladu} = \frac{118\ 629}{47\ 354\ 346} = 2\ 505\ g\ CO_2/t \quad (3)$$

5.2 Železniční doprava

K výpočtu emisí z železniční dopravy na trati č. 250 jsou zapotřebí následující parametry: a) délka uvažované trasy (l), b) hrubé hmotnosti vlaků (m)²³, c) měrné spotřeby vlaků (C) a d) emisní faktor z výroby elektřiny v ČR (E_f).

Pro zjištění intenzit nákladní železniční dopravy byl využit tzv. splněný grafikon vlakové dopravy. Pro sledované kategorie vlaků byly zjištěny jejich hodnoty průměrných měrných spotřeb. Jelikož se hodnoty měrných spotřeb v každém směru částečně odlišují vlivem několika faktorů (např. sklonové poměry, počet zastavování dle kapacitních možností trati apod.), byly tyto hodnoty zprůměrovány (průměrná spotřeba 12,6 kWh/1000 hrtkm). Hodnota emisního faktoru z výroby elektřiny závisí na národním energetickém mixu, dle Souhrnné energetické bilance z roku 2019 činí 0,428 t CO₂/MWh.

$$M\ CO_2 = l \cdot m \cdot C \cdot E_f \quad (4)$$

$$M\ CO_2 = \frac{56 \cdot 22\ 877\ 868}{1000} \cdot 12,6 \cdot 0,428 = 6\ 909\ t\ CO_2/rok$$

Při kalkulacích převezeného nákladu je nutné rozlišovat mezi hmotností prázdného a loženého vlaku. V rámci získaných dat o průjezdu vlaků po trati č. 250 je na základě hmotnosti a počtu vozů patrné, který vlak je plně ložený či prázdný. Plné využití kapacity nákladních vlaků není možné vždy zajistit z důvodu nižší flexibility jako v případě silniční dopravy, což se týká zejména transportu komodit. Pro určení, jak velkou část z této hmotnosti tvoří samotný vlak, byla stanovena přibližná hmotnost elektrické lokomotivy a nákladního vozu. Hodnoty nejpoužívanějších lokomotiv a vozů byly zprůměrovány; hmotnost typické elektrické lokomotivy činí 86 tun, hmotnost jednoho vozu 23 tun [8]. Získaná data z provozu obsahují rovněž počet vozů, proto bylo možné od průměrné hmotnosti jednoho vlaku odečíst hmotnost lokomotivy a vozů, čímž byla získána hmotnost nákladu. Průměrná hmotnost jednoho vlaku byla evidována na 1167 t, samotný náklad činí v průměru 575 t, což představuje 49 %. Původní hrubé tuny, nutné pro výpočet spotřeby a energetické náročnosti, byly přepočteny na čisté tuny pro výpočet emisí na 1 t nákladu:

$$Emise\ na\ t\ nákladu = \frac{M\ CO_2}{náklad} = \frac{6\ 909}{11\ 272\ 300} = 612\ g\ CO_2/t \quad (5)$$

²³ Součin délky uvažované trasy l a hrubé hmotnosti vlaků m představuje dopravní práci v hrtkm, potřebné k výpočtu spotřeby energie vlaků.

Při náhradě silniční nákladní automobilové dopravy železniční dopravu dochází v relaci Brno–Břeclav k poklesu přepravní emisivity ze 2 505 g CO₂/t na 612 g CO₂/t, tedy zhruba na 25 %. Nákladní doprava v Břeclavi nekončí. Po přejezdu státní hranice na Slovensko s měrnou uhlíkovou stopou elektřiny 0,12 kg CO₂/kWh klesne tento poměr na cca 9 % a po přejezdu státní hranice do Rakouska s měrnou uhlíkovou stopou elektřiny 0,08 kg CO₂/kWh klesne tento poměr na cca 6 %. V dalších letech bude vlivem ukončování provozu uhelných elektrárn klesat uhlíková stopa elektrárny i v ČR s pozitivním dopadem na pokles emisivity železniční dopravy.

6. Porovnání emisí v osobní dopravě

Porovnání emisní náročnosti veřejné osobní dopravy ve Zlínském kraji bylo provedeno na relaci Hulín–Holešov. Stejně jako u nákladní dopravy byly počítány emise z veřejné osobní dopravy samostatně pro silnici (autobusy) i železnici (osobní vlaky).

Pro pohon obou sledovaných dopravních prostředků je užívána motorová nafta, neboť osobní vlaky mezi Hulínem a Holešovem jsou vedeny v nezávislé trakci. Výpočet emisí pro jejich vzájemné porovnání proto nemusí být navýšen o hodnotu produkce emisí při výrobě (well-to-tank). Navýšení je nutné pouze v případě odlišných zdrojů pohonu, aby byly shodně započteny emise z celého životního cyklu paliva.

6.1 Silniční doprava

Výpočet emisní zátěže proběhne stejným způsobem jako v případě těžké nákladní dopravy na relaci Brno–Břeclav, stanovena musí být délka trasy (l), počet autobusů (N) a emisní faktor (E_f). Emisní faktor je opět určen na základě kilometrických proběhů a emisí průměrného dálkového linkového autobusu v České republice. Emisní faktor průměrného linkového autobusu na základě dostupných dat odpovídá hodnotě 0,776 kg CO₂/km, což lze rovněž vyjádřit spotřebou 31 litrů nafty na 100 km.

Autobusovou dopravu provozuje na této relaci více dopravců. Počet linkových autobusů rozlišující pracovní (82 autobusů denně v obou směrech) a nepracovní dny (31) byl určen z jízdních řádů a dat dopravců. Roční emise linkových autobusů jsou při vzdálenosti 10 km následující:

$$M_{CO_2} = l \cdot N \cdot E_f = 10 \cdot 24 \cdot 116 \cdot 0,776 = \mathbf{187,14 \text{ t } CO_2} \quad (6)$$

V dalším kroku byla emisní náročnost vyjádřena k počtu cestujících v autobusech. Na základě dat od Koordinátora veřejné dopravy Zlínského kraje (KOVED) byl určen průměrný denní počet cestujících využívajících autobusy (vč. víkendů), střední obsazení autobusu činí 14 cestujících.

$$Emise \text{ na } 1 \text{ cestujícího} = \frac{M_{CO_2}}{\text{počet cestujících}} = \frac{187,14}{332 \cdot 880} = \mathbf{562 \text{ g } CO_2} \quad (7)$$

Alternativně lze výpočet provést na základě spotřeby nafty. Při uvažované spotřebě autobusu 31 l/100 km a průměrné obsazenosti 14 cestujících odpovídá

0,022 litrům nafty na 1 oskm. Po zohlednění přepravní vzdálenosti 10 km se pak dostaneme ke stejné hodnotě, cca 560 g CO₂ na osobu.

6.2 Železniční doprava

Obdobně jako u silniční dopravy jsou dále uvedeny potřebné parametry pro výpočet emisní náročnosti na železnici. Spotřeba vlaků se spalovacím motorem (diesel) užívaných na regionální trati č. 303 není u všech vozidel stejná, protože jsou zde provozovány motorové jednotky č. 814 Regionova a č. 844 RegioShark. Zatímco vozy s obchodním označením Regionova disponují naftovými motory s průměrnou spotřebou 50 l/100 km, vozidla RegioShark výrobce PESA jsou vzhledem k větším rozměrům a tím i vyšší hmotnosti z pohledu spotřeby pohonných hmot o více než polovinu náročnější, výrobce udává hodnotu 80 l/km. Podíl vypravovaných vlaků dle typu nasazených vozidel se pohybuje cca v poměru 1:2.

Tabulka 4 - Provozované vlaky na relaci a jejich spotřeby:

Řada motorové jednotky	Obchodní název	Podíl vlaků	Spotřeba [l/100 km]
814	Regionova	1/3	50
844	RegioShark	2/3	80

Výpočet emisí proběhl stejným způsobem jako v případě silniční nákladní dopravy, a to prostřednictvím spotřeby spalovacích motorů, u kterých byly určeny jejich průměrné spotřeby:

814 (Regionova) – spotřeba 50 l/100 km:

$$M_{CO_2} = m_{CO_2} \cdot FC = 2,58 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{50}{100} = 12,9 \cdot 10^{-4} \text{ t} \frac{CO_2}{km} = 1\,290 \text{ g } CO_2/km \quad (11)$$

844 (RegioShark) – spotřeba 80 l/100 km:

$$M_{CO_2} = m_{CO_2} \cdot FC = 2,58 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{80}{100} = 20,64 \cdot 10^{-4} \text{ t} \frac{CO_2}{km} = 2\,064 \text{ g } CO_2/km \quad (12)$$

Roční součet vlakokilometrů (přeprava na vzdálenost 7,4 km) na relaci byl podle podílu vlaků uvedeného v tabulce 4 vynásoben příslušnou hodnotou stanovené emisní náročnosti.

Tabulka 5 - Údaje o počtu vlaků (v obou směrech) a odvozené emisní náročnosti:

	Denně	Ročně	Proběh [vlkm]	Spotřeba [l]	Emise CO ₂ [t]
Pracovní dny	48	12 096	89 764	62 834	162,61
Dny pracovního klidu	40	4 520	33 543	23 480	60,57
Celkem		16 616	123 307	86 314	223,18

V dalším kroku byla emisní náročnost přepočtena na skutečný počet cestujících ve vlacích. Na základě dat od Českých drah, jediného dopravce působícího na

této lince, byl určen průměrný denní počet cestujících na jeden vlak (29 cestujících) a přepočten na celý rok.

$$Emise\ na\ 1\ cestujícího = \frac{M\ CO_2}{počet\ cestujících} = \frac{223,18}{477\ 420} = 467\ g\ CO_2 \quad (13)$$

7. Závěr

Zpracování výpočtů roční produkce emisí oxidu uhličitého bylo realizováno na příkladu dvou relací, na kterých jsou oba módy dopravy srovnatelné. Nákladní doprava byla porovnána na relaci Brno–Břeclav:

Tabulka 6 - Porovnání emisí CO₂ na tunu přepraveného nákladu na sledované relaci Brno–Břeclav:

Silniční doprava	Železniční doprava
2 505 g	612 g

Po přepočtení produkce emisí CO₂ na 1 tunu přepraveného nákladu se již plně projevuje energetická a emisní úspornost železnice, emise z přepravního výkonu na železnici jsou proti silniční dopravě pouze 30 % s tendencí poklesu do dalších let ve vazbě na vývoj elektrárenství. Na této relaci, stejně jako na dalších elektrifikovaných tratích, má železnice vůči silnici výhodu nejen díky nižší trakční náročnosti, dané nízkým jízdním odporem, ale i díky liniové elektrizaci. V součinu obou těchto faktorů dosahuje železnice vůči silniční dopravě zhruba 7,5x vyšší energetické účinnosti. V ČR má přitom vůči zahraničí doposud elektrická vozba nevýhodu vysokého podílu uhelných elektráren na výrobě elektřiny a tím vysoké uhlíkové stopy (0,428 kg CO₂/kWh), což se však bude v nejbližší době radikálně snižovat ukončováním provozu uhelných elektráren. To je velmi důležité, neboť 95 % dopravních výkonů nákladní železniční dopravy probíhá v ČR na elektrizovaných tratích.

Veřejná osobní doprava byla porovnána na relaci Hulín – Holešov:

Tabulka 7 - Porovnání emisí CO₂ na jednoho cestujícího na relaci Hulín – Holešov:

Silniční doprava	Železniční doprava
563 g	467 g

U osobní dopravy jsou na této relaci měrné emise CO₂ vyprodukované železniční dopravou přibližně srovnatelné se silniční autobusovou dopravou. Je to dáno tím, že železnice zde nevyužívá výhodu elektrické vozby, která ve srovnání s naftovým pohonem v regionální dopravě přináší vedle 2,5x vyšší energetické účinnosti i další zhruba 30% úsporu energie rekuperací brzdové energie a dále tím, že je zde železnice využívána k přepravě malého počtu osob. Autobusy mají poměrně nízkou hmotnost a jsou konstruovány pro přepravu cca 50 osob. Vlaky mohou mít více vozů a jsou schopny přepravit až stovky cestujících.

Bez ohledu na produkci emisí má v osobní regionální dopravě v okolí menších měst velkou výhodu autobusová doprava, která má rovnoměrněji rozmístěné zastávky nacházející se ve většině případů blíže centru obce nebo městské části.

V železniční dopravě hraje z hlediska vyprodukovaných emisí významnou roli řada vozidla, která je na dopravní výkony nasazována. V případě, že by se na všechny dopravní výkony užívaly dosluhující motorové jednotky č. 814, produkce emisí oxidu uhličitého by klesla (avšak za cenu poklesu cestovního pohodlí a tím i atraktivity), protože ve větší míře používané jednotky č. 844 mají výrazně vyšší spotřebu. Železnice má obecně výhodu ve vyřešené a zavedené elektrické vozbě (která však ve zkoumané relaci chybí, patří do 18 % části dopravních výkonů české železnice v osobní dopravě v naftové vozbě) a ve schopnosti dosahovat velmi nízkou měrnou spotřebu energie nízké měrné emise, musí však být náležitě zatížena. Tedy musí motivovat cestující rychlostí a kvalitou, aby ji využívali.

Větší potenciál úspory emisí v železniční osobní dopravě ovšem nabízí výstavba liniové elektrizace na trati. Jedná se o zvláštní výhodu železniční dopravy, která je v podmínkách silniční dopravy obtížně realizovatelná. Elektrizace trati je navíc zhodnocena i nákladními dopravci a odklonovou dopravou. Průvodním jevem elektrizace trati je zkrácení jízdních dob, čímž dochází ke zvýšení konkurenceschopnosti energeticky a emisně výhodné železnice oproti jiným druhům dopravy. S ohledem na probíhající konverzi napájecí soustavy z DC 3 kV na AC 25 kV v Hulíně a Valašském Meziříčí bude možno trať Hulín – Valašské Meziříčí elektrifikovat velmi efektivně (pouze za cenu trakčního vedení, bez potřeby budovat novou trakční napájecí stanici).

Výstavba liniové elektrizace na trati není jedinou cestou, jak dosáhnout úspor emisí v železniční dopravě. Elektromobilitu na železnici je možné realizovat také pomocí hybridních vozidel. Zmiňovaný úsek Hulín–Holešov je dílčí částí linky Kojetín–Rožnov pod Radhoštěm. Vzhledem k plánovaným železničním stavebním akcím v trase linky Konverze elektrického napájení 3 kV na 25 kV Nedakonice – Říkovice a Hranice na Moravě – Horní Lideč, elektrifikace tratě Kojetín – Hulín již systémem 25 kV), které povedou ke zvýšení podílu délky trolejového vedení 25 kV k délce linky, se nabízí řešení v podobě hybridního vozidla trolej/akumulátor (sběrač + elektromotor + lithiový trakční akumulátor). Tento typ hybridního vozidla může být v synergii s postupnou výstavbou liniové elektrizace a umožňovat rychlé nabití akumulátoru pod střídavou napájecí soustavou.

Zjištěné méně příznivé výsledky emisní náročnosti osobní železniční dopravy v nezávislé trakci vykazují značnou závislost na daném typu vozidla. Z hlediska úspory emisí v železniční osobní dopravě se nabízí řešení v liniové elektrizaci tratí, případně využití hybridních elektrických vozidel.

Porovnání z hlediska produkce CO₂ je nicméně pouze dílčí částí celkového problému. Železniční a silniční dopravu je možno porovnávat komplexně na základě jejich externalit, mezi které se řadí rovněž nehody, hluk, vibrace, zdravotní dopady, poškození budov a materiálů ze znečištění ovzduší, environmentální vlivy nebo bariérové efekty v intravilánu. Porovnání externalit a jejich vyčíslení se věnuje řada studií, a to zejména zdrojový dokument *Handbook on the external costs of transport*.

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory Ministerstva dopravy v rámci programu dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumných organizací.

Literatura a informační zdroje

- [1] *Doprava v Evropě: nejdůležitější fakta a trendy* [online]. EEA, 2019. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2016/clanky/doprava-v-evrope-nejdulezitejsi-fakta>
- [2] *Emise CO₂ z aut: fakta a čísla (infografika)* [online]. Evropský parlament, 2019. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>
- [3] *Handbook on the external costs of transport*. Brusel: Evropská komise, Publications Office of the European Union, 2019. ISBN 978-92-76-18184-2
- [4] ADAMEC, V. – DUFEK, J. *Produkce emisí CO₂, CH₄ a N₂O dopravou v ČR – stav a vývoj*. Centrum dopravního výzkumu, 2015 [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/file/clanek-produkce-emisi-co2-ch4-a-n2o-dopravou-v-cr/>
- [5] *Emise oxidu uhličitého za jednotlivé druhy dopravy* [online]. Ročenka dopravy 2020. MD ČR, 2021. [cit. 2022-02-02]. Dostupné z: https://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2020.pdf
- [6] *Greenhouse gas emissions per capita?* [online]. Eurostat, 2018. [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_rd300/default/table?lang=en
- [7] *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* [online]. IPCC, 2006. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- [8] *Produkty a služby* [online]. TSS Cargo, 2021. [cit. 2021-11-11]. Dostupné z: <http://www.tsscargo.cz/prehled-zakladnich-typu-vozu>

Lektorovali:

Ing. Jiří Pohl,

Siemens Mobility

Ing. Rudolf Zelinka,

Správa železnic, státní organizace

7. Návrh tvaru signálního pásu od označníku na společném nástupišti

Jana Košťálová²⁴

Klíčová slova

průchozí šířka, umělé vodící linie, zrakově postižené osoby, bezpečnost cestujících

Keywords:

unobstructed width, TWSI, visually impaired people, safety passengers

Anotace:

Příspěvek je věnován reálné průchozí šířce zrakově postižených osob na železničním nástupišti. Popisuje výsledky experimentu průchozí šíře zrakově postižených osob a jejich odchylky od osy přímého směru. V článku je uveden návrh konkrétního rozlišení signálních pásů na nástupišti integrované dopravy (přestupní uzel vlak – bus) s šířkou menší než 7,00 m.

Abstract:

The article focuses on unobstructed width for visually impaired passengers, especially those used at the railway platforms. It describes analysis of the walk of visually impaired people and shows results of the experiment. The article presents a specific design for tactile walking surface indicators on the integrated transport platform (platforms with rail - bus transfer hubs) with width less than 7,00 m.

1. Úvod

V Zelené knize Evropské komise je kladen důraz na univerzální dopad demografických změn v Evropě a na zaměření širších společenských důsledků. Poskytovatelé veřejné dopravy se budou muset přizpůsobit rostoucímu počtu cestujících v seniorském věku nebo se zdravotním postižením a investovat do dopravní infrastruktury i vozidel. U staršího obyvatelstva, v němž převažují ženy,

²⁴ Ing. Jana Košťálová, nar. 1969, absolvovala Fsv ČVUT, studuje doktorský studijní program Technologie a management v dopravě na DFJP Univerzity Pardubice. Působí jako asistent na katedře pozemního stavitelství, FUA TUL a jako odborný konzultant pro bezbariérová řešení staveb a pozemních komunikací.

je nutné se zaměřit u mobility více na specifické potřeby, a především jejich bezpečnost. Proaktivní opatření v dopravě mohou pomoci podpořit zdravé a aktivní stárnutí [1]. Postupná modernizace dopravního systému, přiblížení přestupních uzlů do míst s vysokou potenciální poptávkou, pomůže předejít zacyklení v udržitelnosti VD. To vzniká důsledkem snižováním veřejných finančních prostředků a následným omezováním provozu veřejné dopravy. Dojde tím zákonitě ke zvýšení dojezdových dob a tlaku na udržitelnost VD [2].

Vlivem harmonizace norem o interoperabilitě železničního systému, a především vlivem závazných vnitřních dokumentů Správy železnic, státní organizace, jsou podrobně formulovány požadavky na bezbariérovou přístupnost prostředí. Autobusová doprava v legislativě ČR neodpovídá současným potřebám a většina „kritických míst“ [3] je popsána jen v obecné rovině. Proto dochází k realizacím, z kterých vyplývá neřešení přestupních uzlů v souvislostech (územně technických i dopravních), k řešení bez zpětné vazby cestujících a bez návaznosti obou druhů dopravy. V konečném důsledku to má největší negativní dopady právě na cestující s omezenou schopností pohybu nebo orientace.

Autorka článku uskutečnila experiment, který se věnoval skutečné průchozí šíři zrakově postižených osob na nástupišti a udržení přímého směru chůze v prostoru bez vodící linie. Cílem článku je podpořit návrh hmatových úprav pro společné nástupiště kolejové a nekolejové dopravy s šířkou od 5800 mm do 7000 mm a současně si ověřit funkčnost zakotvených průchozích šírek v národních předpisech.

2. Společné nástupiště kolejové a nekolejové dopravy v přestupním uzlu (H-H)

Aby byl nový přestupní uzel dobře funkční a plně využíván, tak je nutné ho navrhnout ve většině řešení do již zastavěného prostředí, kde prostorové uspořádání využije výpravní budovu nebo jinou již stojící občanskou vybavenost. Proto i v ČR, především po roce 2008, začalo docházet ke sdružování dopravy k jednomu nástupišti a k využívání přestupů zvaného **hrana-hrana (H-H)**. Takto je označen přestup v rámci jednoho společného nástupiště. V tomto článku se autorka zaměřila pouze na typ **společného nástupiště s protilehlými nástupními hranami bez ztracených spádů pro kombinaci kolejového provozu s nekolejovým**. Dochází tím k novým požadavkům na bezpečný a samostatný přestup všech cestujících, zvláště osob s omezenou schopností pohybu nebo orientace.

Společné nástupiště (H-H) nemusí být pouze pro integrovanou dopravu, ale v obecnějším popisu se může jednat o nástupiště, kde jedna nástupní hrana je určena pro železnici a druhá (protější) hrana je určena pro nekolejovou nebo kolejovou dopravu. Například: vlak – autobus, tramvaj, trolejbus, případně lanová nebo lodní doprava. Šířka nástupiště je od 5,80 m do 7,00 m včetně. Bezpečný samostatný pohyb zrakově postižených (ZP) osob je veden pouze podél jedné vodící linie s funkcí varovného pásu pro oba směry chůze. Proto na

tomto typu nástupiště nelze použít žádnou jinou specifickou vodící linii s podélnou drážkou, aby se vyloučila možnost záměny, která by zrakově postiženou osobu mohla dostat do bezpečnostního pásu podél nástupní hrany. Tato situace je vážné bezpečnostní riziko a tvoří kritické místo [3] společného nástupiště.

S rostoucí křivkou demografického stárnutí obyvatelstva je nutné u přestupních uzlů ve smyslu Univerzálního designu [4], TSI PRM [5] a ČSN EN 17210 [6] navrhovat prostor umožňující ve stručnosti samostatný, bezpečný a plynulý pohyb všech osob. Pokud tyto tři pojmy rozepíšeme k přestupním uzlům, dostaneme se k následujícím obecným požadavkům pro navrhování i realizace, kdy je nutné dodržet:

1. krátké a bezpečné přestupní vzdálenosti;
2. přístupnost a kvalitu pochozích ploch umožňující samostatný pohyb;
3. srozumitelný a navazující orientační i informační systém (umožnit vícesmyslové vnímání);
4. kvalitní světelné prostředí (odpovídající intenzita osvětlení, vizuální kontrast bez nežádoucího oslnění);
5. akustické prostředí (srozumitelnost) a indukční poslech;
6. dostupnou vybavenost s veřejnými toaletami (dle Kategorizace železničních stanic [7]);
7. minimalizaci rizik a únikové cesty (přednostně nezávislé na elektrické energii).

Z pozice pravidelných cestujících je důležitým faktorem především čas, důraz je kladen na jednoduchost a rychlost přestupu. Ale prioritou musí zůstat vždy z pozice uživatele i provozovatele **bezpečnost a spolehlivost**. Návrh šířky společného nástupiště v zastavěném území, kde často dochází k různým územně-technickým nebo stavebně-technickým omezením, není rozhodně hlavním problémem u novostaveb společného nástupiště kolejové a nekolejové dopravy. Problém vzniká především ve funkčnosti orientačního a informačního systému, v konkrétním dodatečném umístění vybavenosti, a především v dodržení volného průchozího profilu pro všechny uživatele. Každá dodatečná úprava se odráží ve využití pochozí plochy nástupiště a ovlivní bezpečný pohyb všech osob. Proto je nutné již ve studii mít konkrétní představu o nosné konstrukci zastřešení, mobiliáři, osvětlení, informačním a orientačním systému. Výše zmíněné prvky ovlivní návrh konkrétních detailů a nezbytně nutných manipulačních ploch a odstupových vzdáleností.

3. Právní prostředí pro navrhování přestupních uzlů

Z níže uvedených předpisů vyplývají požadavky na společné nástupiště H-H. Požadavky jsou oddělené, dle typu dopravy. Pouze jediný předpis [8] uvádí hlavní princip řešení, ale bez konkrétních detailů. Proto již realizovaná nástupiště jsou řešena rozdílně a mnohdy v rozporu s bezbariérovým navrhováním a principy. V obrazové příloze článku, viz Příloha 1 až 3, jsou u společných nástupišť uvedené hlavní závady, které vznikly z nepřesných výkladů prováděcích předpisů nebo v době realizace chybějícím směrnícím. Tyto

„nechtěné chyby“, z pohledu bezbariérového užívání, vedou k vážným nebezpečným situacím.

Ke správnému návrhu přístupného uzlu se z hlediska železniční infrastruktury vztahují tyto unijní nebo národní předpisy:

- Nařízení Komise (EU) č. 1300/2014, o technických specifikacích pro interoperabilitu týkajících se přístupnosti železničního systému Unie pro osoby se zdravotním postižením a osoby s omezenou schopností pohybu a orientace, ve znění pozdějších předpisů;
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/797, o interoperabilitě železničního systému v Evropské unii, ve znění pozdějších předpisů;
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/882, o požadavcích na přístupnost u výrobků a služeb;
- Vyhláška č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah, ve znění pozdějších předpisů.
- ČSN 73 6310 Navrhování železničních stanic;
- ČSN 73 4959 Nástupiště a nástupištní přístřešky na drahách celostátních, regionálních a vlečkách;
- ČSN EN 16584-1 Železniční aplikace – Konstrukční úpravy pro osoby s omezenou schopností pohybu nebo orientace – Obecné požadavky – Část 1: Kontrast;
- ČSN EN 16584-2 Železniční aplikace – Konstrukční úpravy pro osoby s omezenou schopností pohybu nebo orientace – Obecné požadavky – Část 2: Informace;
- ČSN EN 16587 Železniční aplikace – Konstrukce pro osoby se sníženou schopností pohybu a orientace – Požadavky na bezbariérové trasy v rámci infrastruktury
- ČSN ISO 3864-1 Grafické značky – Bezpečnostní barvy a bezpečnostní značky – Část 1: Zásady navrhování bezpečnostních značek a bezpečnostního značení.

Mezi vnitřní předpisy Správy železnic se vztahem k navrhování přístupných uzlů je možné uvést:

- Směrnice SŽDC č. 118 Grafický manuál jednotného orientačního a informačního systému Správy železnic, státní organizace;
- SŽ Ž8: Ž 8.5 Ukončení nástupiště;
- SŽ Ž8: Ž 8.6 Přístupy na nástupiště, přechody a přejezdy pro vozíky na nástupiště;
- SŽ Ž8: Ž 8.7 Úpravy pro osoby s omezenou schopností orientace na nástupišti;
- SŽ Ž8: Ž 8 10 Povrchy nástupišť
- SŽ PO-20/2019-GŘ Moderní design a architektura nádraží a zastávek ČR – Mobiliář

Podstatně menší skupinu tvoří důležité normy pro správný návrh autobusového nádraží, resp. jeho stanovišť a dalších součástí:

- ČSN 73 6425-1 Autobusové, trolejbusové a tramvajové zastávky, přestupní uzly a stanoviště – Část 1: Navrhování zastávek;
- ČSN 73 6425-2 Autobusové, trolejbusové a tramvajové zastávky, přestupní uzly a stanoviště – Část 2: Přestupní uzly a stanoviště;
- ČSN 73 6110 Z1 Projektování místních komunikací – změna Z1.

Společné požadavky na nástupiště H-H lze získat i v následujících, výše neuvedených předpisech:

- Vyhláška č. 398/2009 Sb., o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb;
- Nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, ve znění pozdějších předpisů (§7 Ověření shody);
- Vyhláška č. 405/2017 Sb., o dokumentaci staveb.

Společným požadavkem pro kolejovou i nekolejovou dopravu je především zachování volného průchozího prostoru bez překážek vedle umělé vodící linie. Univerzální návrh umožňuje dodatečné úpravy, změny ve vybavení a rychlejší pohyb při mimořádných situacích, především jednodušší evakuaci osob a rychlejší přístup všech složek integrovaného záchranného systému.

4. Volná průchozí šířka na nástupišti

Průchozí prostor ovlivňují vertikální nebo horizontální překážky. Pro každou osobu to jsou rozdílné hodnoty. Pokud budeme uživatele rozlišovat dle národní nebo nadnárodní legislativy, dojdeme vždy k principům Univerzálního designu (UD) nebo z něj vycházejícího Designu pro všechny (DfA) apod. Podstata definice vyjadřuje použitelnost návrhu všemi lidmi bez rozdílu věku a schopností [4]. V reálném světě je člověk kombinací různých stupňů omezení nebo postižení, které se mění nejen v průběhu života, ale často je ovlivněno i aktuálním psychickým stavem během jediného dne.

Z výše uvedeného vyplývá, že největší průchozí šířku potřebují kočárky pro sourozence – dvojčata, trojčata (0,95 – 1,00 m), osoby s ortopedickou pomůckou: elektrický vozík nebo skútr (0,90 m), doprovod osoby pokročilého věku nebo dítěte do věku tří let (únik: $2 \times 0,55 = 1,10$ m; venkovní komunikace: $2 \times 0,75 = 1,50$ m), osoby se zrakovým postižením využívající chůzi s technikou dlouhé bílé hole nebo s vodícím psem (1,20 m). Výška volného průchozího prostoru ve venkovním prostředí je min. 2,20 m a ve vnitřním 2,10 m. Porovnáním komunikačních pruhů pro pěší, dle rozdílných potřeb cestujících, získáme minimální hodnoty prostoru, který je nutné udržet bez překážek. „Nestlačitelný“ mezi dvě překážky je invalidní vozík i dětský kočárek, ale jeho uživatelé se umí za pomoci zraku překážkám vyhnout. Vidící osoby si neuvědomují, že jejich cestovní zavazadla odložená na pochozí ploše nebo

natažené nohy sedící osoby na lavičce, tvoří překážku i pro ostatní cestující. V současné době věnují více pozornosti svému mobilnímu telefonu než ohleduplnému chování na nástupištní ploše. Nejobtížněji se zajišťuje volný průchozí prostor pro osoby se zrakovým postižením, které musí využít k samostatnému a bezpečnému pohybu vodící linii přirozenou nebo umělou. Samostatnost a bezpečnost pohybu mají pro nevidomé i slabozraké zásadní význam a nelze je od sebe oddělovat. I přes všechny nejnovější pomůcky a asistenční technologie se však sami nevidomí shodují na tom, že pro ně bílá hůl zůstává primárním prostředkem pro získání potřebných hmatových informací [3]. A proto mají správně navržené a provedené hmatné úpravy pro nevidomé stále nenahraditelný význam.

Na nástupišti se jedná o zachování volného průchozího prostoru vedle:

- vodící linie s funkcí varovného pásu, která je na hranici bezpečnostního pásu nástupiště železničních drah;
- přirozené vodící linie (stěna objektu, podezdívka plotu, zarážka pro bílou hůl u zábradlí, palisáda, sadový obrubník +0,06 m nad pochozí plochou apod.);
- po obou stranách signálního pásu, který vede k orientačně důležitému místu (ke schodišti, k eskalátoru, k výtahu, ke vstupu do výpravní budovy, k čekárenskému přístřešku apod.);
- po obou stranách signálního pásu, který vede k označníku zastávky nekolejové dopravy na nástupišti integrované dopravy šíře 5,80 m až 7,00 m [8].

Z požadavků [10], které platí i pro autobusová nástupiště, vyplývá, že minimální volná šířka průchozího prostoru bez překážek vedle signálních pásů (SP) musí být 0,80 m v oboustranné vzdálenosti. Od osy umělé vodící linie musí být zachována volná šířka bez překážek také nejméně 0,80 m. Z požadavků [9], které platí pro železniční nástupiště, vyplývá, že minimální volná šířka průchozího prostoru bez překážek je 1000 mm. Otázka tedy zní, jak široký komunikační pruh bez překážek je dostatečný v současné době pro ZP osoby. Cílem je podpořit bezpečný a plynulý pohyb všech cestujících po nástupišti, protože většina projektantů navrhne právě jen minimální normové hodnoty.

5. Experiment měření a sběr dat

Součástí disertační práce autorky článku byl sběr dat o chůzi ZP osob ve výpravních budovách, na nástupištních a v přednádražním prostoru dle předem stanovených kritérií. Experiment byl zaměřen na zjištění dvou základních parametrů:

- A. reálné průchozí šířky pro ZP osoby na nástupišti;
- B. odchylky od osy přímé chůze na vzdálenost 8 m bez vodící linie.

V době pandemie, Covidu – 19, bylo velmi problematické tato měření uskutečnit v naplánovaném rozsahu (neochota ZP osob pracovat s cizím člověkem, karantény, vládní a hygienická omezení). Přesto se podařilo shromáždit celkem 275 měření: 110 měření pro parametr A + 165 měření pro parametr B. V plném rozsahu se celého experimentu účastnilo 11 těžce ZP osob. Z důvodu anonymizace bylo pro jejich identifikaci použito označení O1 (osoba 1)

až O11 (osoba 11). Experimentu se k datu 16. 7. 2021 účastnilo 7 osob s orientační bílou (dlouhou) holí a 4 osoby využívající k chůzi vodícího psa. Tyto osoby byly z 8 různých měst, různého věku, ale všechny pravidelně dojížděly hromadnou dopravou do zaměstnání nebo do občanské vybavenosti (viz Tabulka 1). Samostatnost jejich pohybu v dopravním prostředku byla jedinou podmínkou účasti na experimentu. Všechny osoby prošly výcvikem prostorové orientace, ale samostatnou chůzí si časem přizpůsobily. Projevují se u nich především získané zkušenosti, současný fyzický i psychický stav, který se mění během dne i aktuální situace v městském prostředí.

5.1 Parametr „A“

Experiment s průchozí šířkou byl prováděn na železničním nástupišti, kde byly nastaveny shodné podmínky: vyšší opatrnost, pomalejší rychlost chůze, rovinnost pochozí plochy (shodný příčný a podélný sklon), předem očekávané hmatové prvky a akustické informace.

Rozkmit hole lze zjednodušeně definovat jako kolmou vzdálenost doteku koncovky hole s pochozím povrchem ke směru chůze. Šíře průchozího pruhu je rozdílná pro každou ZP osobu. Jde-li osoba (dominantní) rukou s holí blíže k vodící linii, tak z jednotlivých měření vyplynulo, že je průchozí šířka rozdílná než při opačném směru, kdy je linie u ruky bez hole. Bílou hůl si střídalo mezi pravou a levou rukou 45 % osob dle strany, při které byla vodící linie nebo dle únavy ruky. Jejich průchozí šířka byla v řádech centimetrů stejná. Ostatních 55 % osob tuto schopnost nemělo podpořenou a bílou hůl drželo stále ve stejné ruce. Jejich průchozí šířka se v jednotlivých směrech lišila průměrně o 300 mm. Proto byla průchozí šířka stanovena u každého uživatele z deseti měření, která zahrnovala oba způsoby chůze (tam i sem podél vodící linie s funkcí varovného pásu).

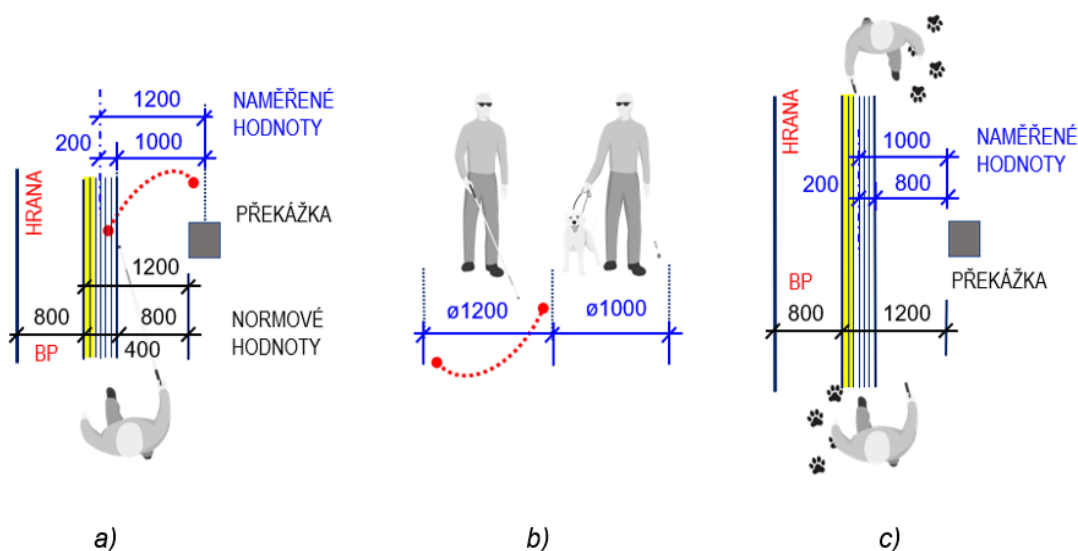
Pokud těžce ZP osoby využívají k samostatnému pohybu a orientaci v prostoru vodícího psa, tak jsou učeny správnému držení v kontaktním postoji u levé nohy, aby dominantní ruka byla volná nebo mohla držet bílou hůl. U osob s obrácenou lateralitou (levorukost) je to naopak. Většina ZP osob s vodícím psem má bílou hůl krátkou, signalizační. Holí si ověřuje výškové rozdíly v pochozí ploše, především začátek schodišťového stupně, silničního obrubníku apod. Z hlediska bezpečnosti je důležité, po které straně umělé vodící linie s funkcí varovného pásu se ZP osoba s vodícím psem pohybuje, viz Obr. 1c). Jde-li po nástupišti ve směru dominantní ruky s holí u vodící linie s funkcí varovného pásu (VLsVP), musí se spolehnout, že pes rozliší osamělé překážky v průchozím prostoru, na tuto situaci je pes cvičený. Daleko horší situace nastává, pokud musí jít pes blíže k vodící linii. Buď pes jde po bezpečnostním pásu až za vodící linii a majitel psa vystavuje velkému riziku, nebo jde ZP osoba mimo bezpečnou zónu bez osamělých překážek a dochází ke zbytečným úrazům.

Mediány naměřených hodnot potvrdily, že ZP osoby s vodícím psem potřebují menší průchozí šířku (1000 mm) než osoby používající k samostatnému pohybu techniku dlouhé bílé hole (1150 mm; zaokrouhleno na modul 1200 mm).

Minimální průchozí šíře je zakreslena na Obr. 1b). S ohledem na poměr těchto dvou skupin, je nutné vždy pracovat s větší šířkou, tj. nejméně 1200 mm. V současné době je dle normových hodnot [9] volný pás bez překážek 800 mm široký vedle vodící linie s funkcí varovného pásu (tj. 2000 mm od nástupní hrany), prostorem nedostatečným. Experiment potvrdil, že by měl být zvětšen na hodnotu 1000 mm, optimálně 1200 mm.

Tabulka 8: Informace o měřených ZP osobách (zdroj: vlastní zpracování)

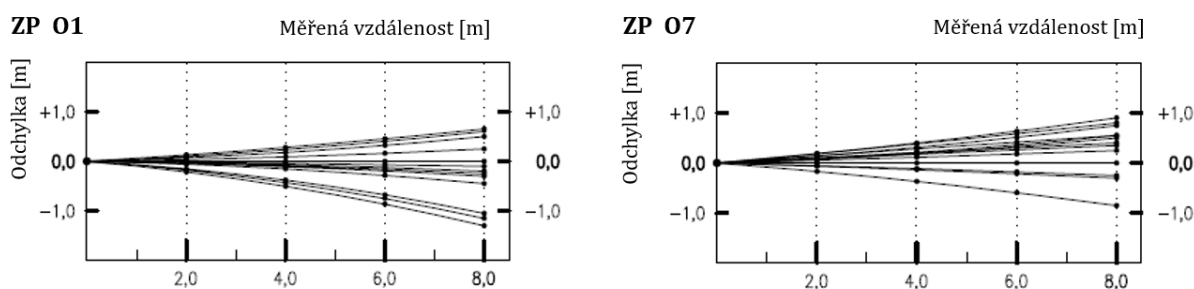
Osoba	Věk [roky]	Doba užívání bílé hole [roky]	Délka bílé hole [m]	Vodící pes	Průchozí šířka (\varnothing rozkmit hole) [m]	Průměrná odchylka od přímého směru [m]
01	57	15	1,45	ne	0,8	0,48
02	28	10	1,15	ne	1,35	0,55
03	36	22	1,5	ano	1,55	1,19
04	37	19	1	ano	0,8	0,35
05	45	25	1,2	ne	1,45	0,55
06	28	8	1,4	ne	1,25	0,95
07	55	35	1,35	ne	1,1	0,49
08	45	27	1,5	ne	1,2	0,69
09	52	30	1	ano	0,95	0,44
010	24	10	1	ano	1	0,44
011	33	15	1,5	ne	1,25	0,65
\varnothing naměřených hodnot [m]					1,15	0,62



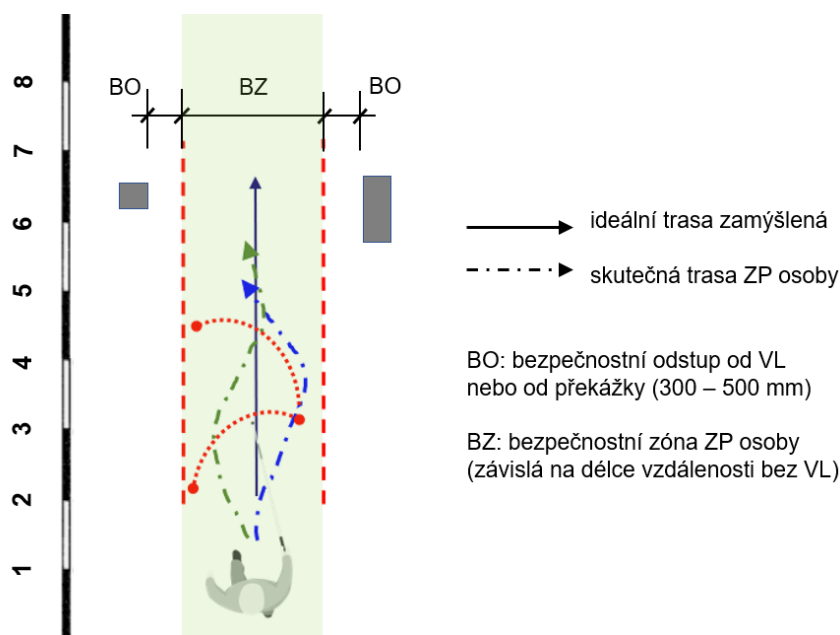
Obr. 1: Průchozí šířka zrakově postižených osob: a) ZP osoba s dlouhou bílou holí; b) porovnání průchozích šířek; c) ZP osoba s vodícím psem (zdroj: autorka)

5.2 Parametr „B“

Experiment s vykazovanou odchylkou od osy přímé chůze na vzdálenost 8 metrů (bez vodící linie) byl prováděn v přednádražním městském prostoru. Každá osoba 15 x absolvovala úsek dlouhý 8 m, kde se měnil povrch pochozí plochy (hladký povrch – např. asfalt), velkoplošná dlažba, betonová dlažba, žulová kostka drobná), příčný sklon (sklon do 6 %) a hluchost lokality (přednádražní prostor, náměstí – peší zóna). Následně byla změřena absolutní odchylka chůze od osy přímého směru ve vzdálenosti 4 m, 6 m a 8 m, viz Obr. 2 a Tabulka 2. Žádná osoba neměla odchylku pouze vpravo nebo pouze vlevo. Záleželo na „momentální krátkodobé ztrátě stability“, která se projevuje v náročných orientačních situacích, kdy je nervová soustava ZP osoby značně zatížena, jak uvádí Wiener [11]. Pohyb chůze těžce ZP osoby je uveden na Obr. 3.



Obr. 2: Trajektorie chůze ZP osoby č.1 a č. 7, (zdroj: autorka)

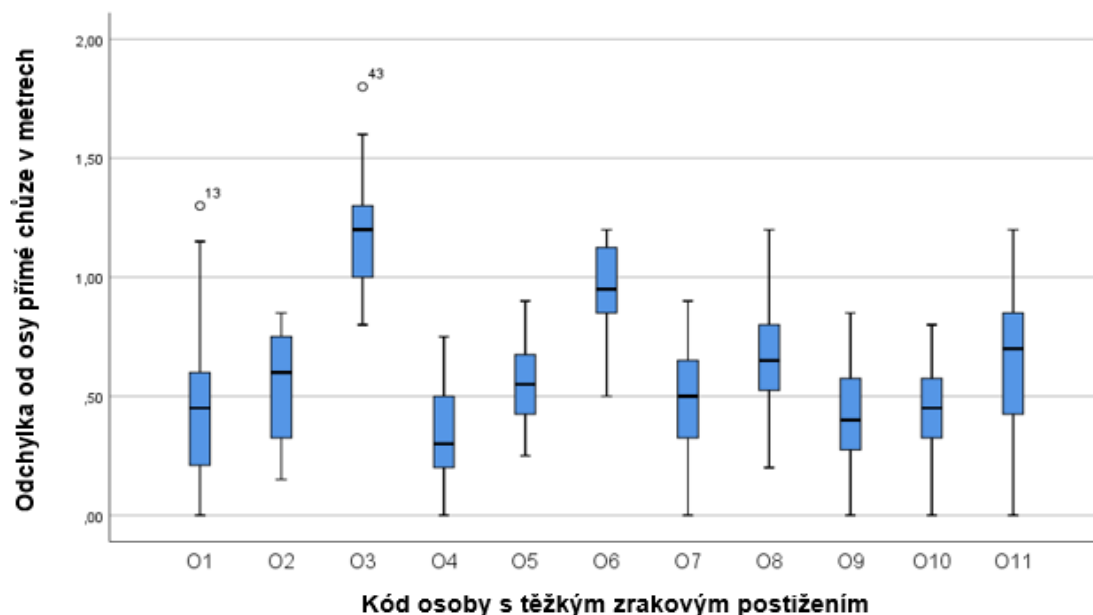


Obr. 3 Chůze zrakově postižené osoby v přímém směru bez vodící linie (zdroj: upravený [11])

Tabulka 2: Popisná statistika naměřené odchylky ZP osoby od osy přímého směru (zdroj: vlastní zpracování)

Osoby	N	Aritmetický průměr	Standardní odchylka	95% interval spolehlivosti pro průměr		Minimum	Maximum
				Dolní mez	Horní mez		
01	15	0,4780	0,40828	0,2519	0,7041	0,00	1,30
02	15	0,5500	0,23299	0,4210	0,6790	0,15	0,85
03	15	1,1900	0,27916	1,0354	1,3446	0,80	1,80
04	15	0,3500	0,23679	0,2189	0,4811	0,00	0,75
05	15	0,5500	0,19640	0,4412	0,6588	0,25	0,90
06	15	0,9500	0,20702	0,8354	1,0646	0,50	1,20
07	15	0,4900	0,25298	0,3499	0,6301	0,00	0,90
08	15	0,6900	0,28360	0,5329	0,8471	0,20	1,20
09	15	0,4400	0,25718	0,2976	0,5824	0,00	0,85
010	15	0,4400	0,21061	0,3234	0,5566	0,00	0,80
011	15	0,6500	0,32404	0,4706	0,8294	0,00	1,20
Celkem	165	0,6162	0,35363	0,5618	0,6705	0,00	1,80

Rozsah hodnot získaných v jednotlivých měření u každé osoby ZP zobrazují krabicové diagramy na Obr. 4, které jsou součástí popisné statistiky [12]. Z uvedených hodnot a grafického znázornění je zřejmé, že největší odchylky od přímé chůze se dopustila osoba O3 (aritmetický průměr 1,19 m) a nejmenší odchylku od osy přímého směru při chůzi má osoba O4 (aritmetický průměr 0,35 m). Dále lze zjistit, že největší rozptyl chůze mají osoby O1 (směrodatná odchylka 0,4 m) a osoba O11 (směrodatná odchylka 0,35 m), naopak nejmenší rozptyl mají osoby O6 a O10 (směrodatná odchylka 0,21 m).



Obr. 4 Krabicové diagramy pro chůzi ZP osob O1 až O11 (zdroj: [13], vlastní zpracování)

Jsou-li uvažována získaná měření pro parametr B (N=165), je aritmetický průměr odchylky od osy přímé chůze 0,62 m se standardní odchylkou 0,35 m. To znamená, že variační koeficient získaných hodnot je 56,5 % (tj. směrodatná odchylka činí 56,5 % hodnoty aritmetického průměru) a získaná data vykazují poměrně velký rozptyl. Pro střední hodnotu odchylky od přímého směru chůze je 95% interval spolehlivosti $C_{0,95} = [0,56\text{m}; 0,67\text{m}]$. Z toho maximální nalezená odchylka chůze od přímého směru v rámci provedeného měření je 1,8 m. Maximum přísluší osobě O3 a na Obr. 4 je vyznačena jako „odlehá hodnota“ (viz kroužek s číslem nad rozsahem měření, číslo měření 43). Měření osoby O3 je důležité ve výpočtu ponechat, protože lépe vyjadřuje hodnoty zrakově postižených osob s méně získanou a naučenou schopností samostatné orientace v prostoru.

Při hledání souvislostí a závislostí naměřených dat, byla uvažována korelace mezi vhodnými číselnými proměnnými z Tabulky 1. Vzájemná souvislost vzniká mezi délkou používané bílé hole a mezi maximálním rozkmitem hole. Dle pravidel nácviku techniky dlouhé bílé hole je důležité hlídat prostor nejméně v šíři ramen a nezasahovat zbytečně do větší šířky. Toto pravidlo je ovlivněné mnoha faktory, proto ho nelze plně zobecnit. Má-li osoba ZP unavené zápěstí, v které drží hůl,

začne pohyb vycházet z paže a tím se rozkmit hole zvětšuje. Vliv má i sklon plochy a její kvalita, včetně výšky ZP osoby. Světová zdravotnická organizace (WHO) uvádí, že globální výška u mužů se v Evropě zvýšila o 5 % za posledních 100 let, tj. o 9 cm [14]. Všechny ZP osoby v průběhu experimentu svoji šíři ramen rozkmitem hole překročily. Měření nelze určovat prioritně jen pro jeden určitý směr, proto byl stanoven průměr absolutních hodnot odchylky od osy z obou směrů (odchylka vpravo nebo vlevo). Výsledky výpočtu Pearsonova korelačního koeficientu pro tyto proměnné jsou uvedeny v Tabulce 3.

Tabulka 3: Pearsonův korelační koeficient pro číselné proměnné z Tabulky 2 (zdroj: [13] vlastní zpracování)

	délka bílě hole	rozkmit bílě hole	odchylka od osy přímé chůze
délka bílé hole	1	0,408	0,650*
rozkmit bílé hole	0,408	1	0,716*
odchylka od osy přímé chůze	0,650*	0,716*	1

* Korelace je významná na hladině 0,05 (oboustranně).

Na základě provedených výpočtů lze konstatovat, že na hladině významnosti 0,05 existuje lineární závislost mezi proměnnými odchylka od osy chůze a délky použité bílé hole ($\rho = 0,650$) a podobně mezi proměnnými odchylka od osy chůze a rozkmit hole ($\rho = 0,716$). Tyto kladné hodnoty korelačního koeficientu znamenají, že osoby, které se více odchylují od ideální osy chůze používají delší bílou hůl a také mají větší rozkmit hole. Vzhledem k počtu osob, není možné sestavit vhodný mnohonásobný regresní model. Místo takového úplného modelu lze nalézt 2 dílčí na sobě nezávislé lineární modely [15].

5.2.1 Lineární model I.

Očekávaná závislost velikost odchylky od ideální osy přímé chůze (na délku 8 m) v závislosti na délce bílé hole, respektive v závislosti na výšce zrakově postižené osoby. Metodou nejmenších čtverců byla nalezena lineární funkce (konstantní člen není statisticky významný, proto není uveden):

$$\hat{y} = Y = b_0 + b_1 X \quad (1)$$

$$\widehat{\text{odchylka}} = 0,489 \cdot \text{délka hole}, \quad (1.1)$$

$$(0,046)$$

Vysvětlivky: \hat{y} = odchylka [m]; Y = závislá proměnná; X = nezávislá proměnná (regresor); b_0 = absolutní člen rovnice přímky (intercept); b_1 = směrnice přímky

Koeficient determinace R^2 se obvykle interpretuje následujícím způsobem $R^2 \times 100$ a vyjadřuje míru variability odchylky chůze od průměru.

$$R^2 = 95,8 \quad [\%] \quad (2.1)$$

Hodnotu směrnice 0,489, v této funkční závislosti, lze interpretovat tímto: změnil-li se délka hole osoby o 1 metr, zvýší se odchylka od osy jeho chůze průměrně o 0,5 m. Jinými slovy, pokud se délka hole zvětší o 10 centimetrů, zvětší se odchylka od osy přímé chůze průměrně o 5 cm. Koeficient determinace 0,958 znamená, že nalezený lineární model vysvětluje asi 96 % variability. Pomocí „F testu“ lze konstatovat, že model je významný na hladině významnosti 0,01 ($F = 111,662$, p hodnota $< 0,01$).

5.2.2 Lineární model II.

Velikost odchylky od osy chůze na dráze 8 m lze vysvětlit i rozkmitem hole při chůzi zrakově postižené osoby. Nalezená lineární funkce má tvar (konstantní člen není statisticky významný, proto není uveden):

$$\widehat{\text{odchylka}} = 0,541 \cdot \text{rozkmit hole} \quad (1.2)$$

(0,046)

$$R^2 = 0,966 \quad (2.2)$$

Hodnotu směrnice 0,541 v této funkční závislosti lze interpretovat tak, že změnil-li se rozkmit hole osoby o 1 metr, zvýší se odchylka od osy jeho chůze průměrně o 0,54 m. Jinými slovy, pokud se zvětší rozkmit hole o 10 centimetrů, zvýší se odchylka chůze průměrně o 5,5 cm. Koeficient determinace 0,966 znamená, že nalezený lineární model vysvětluje asi 97 % variability. Pomocí „F testu“ lze konstatovat, že model je významný na hladině významnosti 0,01 ($F = 138,176$, p hodnota $< 0,01$).

Rozlišuje-li se závislost odchylky od osy přímé chůze na vzdálenost 8 m s využitím vodícího psa, jsou výsledky rozdílné od odchylek s technikou dlouhé bílé hole. Medián odchylky pro chůzi s vodícím psem je nižší. Základní popis těchto dvou skupin je uveden v Tabulce 4.

Tabulka 4 Odchylka ZP od osy přímé chůze

ODCHYLKA	Pes	Aritmetický průměr	Medián	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
	ne		0,6229	0,5500	0,1637	0,48
ano		0,6050	0,4400	0,3923	0,35	1,19

Vzhledem k malému počtu pozorování, z výše zmíněných důvodů, je pro porovnání rozdílu rozložení obou skupin použit neparametrický dvou-výběrový Mannův-Whitneyův „U test“ [12]. Na základě tohoto testu nelze na hladině významnosti 0,05 pro daná měření prokázat, že mezi rozloženími odchylek od osy chůze mezi osobami, které používají vodícího psa a osobami, které

nepoužívají vodícího psa, je významný rozdíl ($U=21,00$, p hodnota $0,184$). Pro prokázání této závislosti by bylo třeba provést další dodatečná měření.

5.3 Shrnutí měření

Experiment potvrdil, že v současné době, je minimální průchozí šíře ZP osob s technikou dlouhé bílé hole nejméně 1200 mm široká. Pokud je umělá vodící linie přístupná pouze z jedné strany, jako je tomu na společném nástupišti, nelze zachovávat volný průchod bez překážek pouze 800 mm.

Z měření dále vyplynulo, že je-li vodící linie přerušena na délku 8 metrů, tak ZP osoby se mohou odchýlit od ideální osy přímého směru o odchylku 0,65 m na obě strany osy. Hodnota 8 metrů pro měření byla stanovena z požadavků vyhlášky č. 398/2009 Sb., kdy vodící linie nesmí být přerušena na vzdálenost delší než 8 m [10]. V reálném budovaném prostředí jsou přístupové trasy vedeny přes vozovku pomocí přechodu a přes prostory, kdy je vodící linie přerušena na větší vzdálenost, než je požadavek z prováděcí vyhlášky Stavebního zákona. Tato kritická místa [3] tvoří bariéru v dopravním řetězci, proto bylo důležité znát i odchylku od přímého směru ZP osob při přerušení vodící linie. Výsledky experimentu ukázaly, že ZP osoba se může odchýlit od přímého směru na obě strany o 0,65 m, proto je nutné u těchto ploch uvažovat s hodnotou bezpečné průchozí šířky nejméně 1,30 m. Měření tak potvrzuje, že minimální šířka přechodu přes vozovku musí být 3,00 m a tyto normové hodnoty jsou v souladu s aktuálními potřebami ZP osob.

6. Návrh konkrétního řešení na schéma nástupiště integrované dopravy při vzdálenosti nástupních hran menších než 7 m

Z analýzy měření chůze zrakově postižených osob vyplývá, že ZP osoba využívá k samostatnému pohybu po nástupišti nejen techniku dlouhé bílé hole, ale i nášlap. Jednou nohou si kontroluje rozhraní umělé linie a snaží se udržet s ní kontakt. Proto je pohyb podél jakékoliv umělé vodící linie popisován vždy od jeho osy. Je nutné si uvědomit, že je-li umělá vodící linie (hmatný prvek s podélnou drážkou v exteriéru šíře 0,40 m) navržena na pochozí ploše, je nutné dodržet volný prostor bez překážek podél obou stran linie a nikdy do linie neumísťovat překážky. Tato chyba je nejčastěji vidět na pochozí ploše autobusových zastávek nebo přestupních uzlů, viz Obr. 5.

Signální pásy na společném nástupišti vedou k orientačně důležitému místu. ZP osoba při přístupu na nástupiště zpravidla odpočítává počet SP, které míjí a ujišťuje se orientačně důležitými body nebo znaky o své konkrétní pozici. Při výstupu z vlaku a přestupu na jiný druh dopravy tuto metodu nelze použít. Je nutné umístit do SP trvalou informaci, která nebude překážkou, ale bude informovat o konkrétním místě.



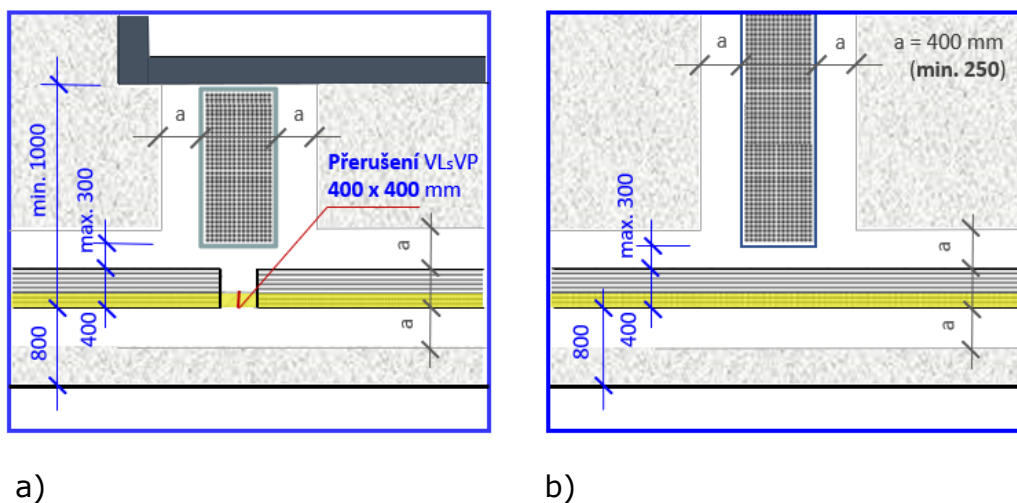
a)

b)

Obr. 5: Překážky v průchozí šířce vedle umělé vodící linie, nesprávné provedení:
a) Nový Bydžov; b) Náchod (zdroj: autor)

V současné době se v náročných rozhodovacích místech začínají využívat vylepšené QR kódy umožňující sonifikaci přes mobilní telefon bez nutnosti ostření kamery, mobilního připojení nebo GPS. Najdeme je nejen ve složité síti metra v Japonsku (Tókyo, Ósaka), ale i ve Španělsku (Madrid) a USA (New York) na vybraných dopravních terminálech. Tyto kódy lze pomocí chytré technologie využívat na stěnách i na pochozí ploše jako zdroj aktuálních informací, viz systém „NaviLens“ [16] nebo „shikAI“ [17]. Potvrzuje se, že tento trend je výborným pomocníkem při doplňování informací pro všechny cestující, které nemají podrobnou znalost přestupního místa. Pokud by byl signální pás k orientačně důležitému místu doplněn o tento informační prvek, potom by se orientace velmi zjednodušila pro aktivní část populace, která využívá mobilní telefon.

Signální pásy (SP) na společném nástupišti (H-H) jsou včetně šíře, vizuálního i hmatového kontrastu shodné. Pro osoby s těžkým zrakovým postižením, a zvláště pro osoby nevidomé, je tedy jediným poznávacím znakem krátké přerušení vodící linie s funkcí varovného pásu (VLsVP), jak je uvedeno na Obrázku 6.



Obr. 6 Umístění signálních pásů na společném nástupišti (H-H) u vodící linie s funkcí varovného pásu: a) SP od orientačně důležitého místa; b) SP od označnicku zastávky (zdroj: upravený [8])

Aby došlo ke **snížení možnosti záměny signálních pásů**, od označnicku zastávky a orientačně důležitého místa (schodiště, výtah apod.), je nutné podpořit jejich rozlišení i jinými poznávacími znaky. Návrh vyšel z výše uvedené analýzy vybraných prvků chůze zrakově postižených osob a byl konzultován se zástupci Metodického centra odstraňování bariér Sjednocené organizace nevidomých a slabozrakých České republiky, z. s. (SONS ČR), viz Obr. 7. Signální pás od označnicku zastávky nekolejové dopravy je uveden ve vnitřním předpisu SŽ Ž8.7 [8] ve člancích 9, 10 a současně na Obrázku č. 39, který tvoří pouze schéma společného nástupiště integrované dopravy. Návrh na úpravu není v rozporu s předepsaným schématem.

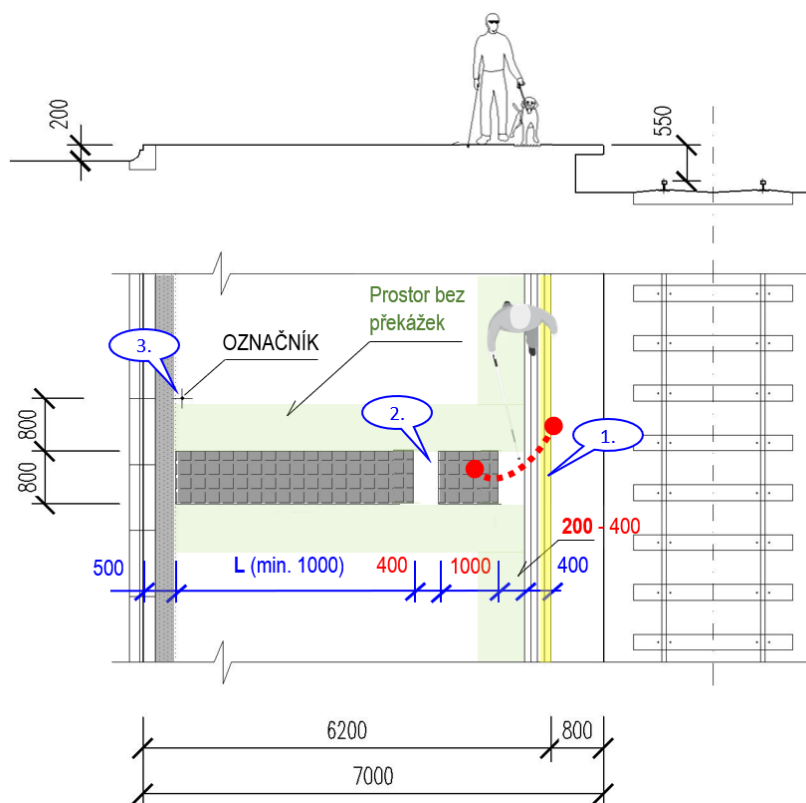
Prvním stávajícím znakem vedoucím k rozlišení signálních pásů je zhotovení vodící linie s funkcí varovného pásu bez přerušování, viz Obr. 6b). Protože osoba těžce ZP kontroluje umělou vodící linii kontrolou kyvu průběžně jednou za 1 až 3 kroky (kluzná nebo kyvadlová technika bílé hole), tak velmi snadno může tento znak minout. U přirozené vodící linie si kontroluje směr dokonce jednou za 3 až 5 kroků prodloužením kyvu bílé hole [11]. Na Obr. 7 je místo vyznačené odkazem č. 1.

Návrh druhého poznávacího znaku, tj. přerušování SP, který je kolmý na VLsVP. Protože pohyb ZP osoby podél umělé vodící linie je v šíři 1,20 m od osy VLsVP, je vhodné signální pás přerušit v místě, které je až za hranicí průchozí šířky, aby nedošlo k jeho minutí přeskočením koncovkou bílé hole a současně v místě, kde dojde k rychlému ověření i prvního znaku. Signální pás je vhodné odsadit od VLsVP dle modulu lemující dlažby, tj. min. 200 mm nebo optimálně $2 \times 200 = \text{max. } 400 \text{ mm}$. Zde je místo, které je dnes řešené předpisem [8] s požadavkem max. 300 mm, viz obr. 6a). Autorka článku slovem „optimální“ má na mysli optimální z hlediska modulu dlažby i rozlišitelnosti koncovkou dlouhé bílé hole. V reálné situaci záleží i na typu konstrukce nástupiště, proto je vhodné tento rozměr uvést od min. 200 mm do max. 400 mm.

Minimální délka signálního pásu z právních předpisů musí být nejméně 1,00 m [10]. Proto je navržené přerušení SP po 1000 mm na vzdálenost shodnou s odsazením od VLsVP tj. 400 mm, viz Obr. 7 odkaz č. 2. Signální pás v černé barvě je ukončen u protilehlé nástupní hrany u bezpečnostního odstupu od vozovky tj. 500 mm od nástupní hrany. Do místa přerušení (do rozhodovacího bodu) bude možné v blízké budoucnosti umístit i QR kód, který netvoří překážku v pochozí ploše a poskytne informaci o označení stanoviště. Osoba se zrakovým postižením nemusí dojít až k označníku zastávky a rychleji se zorientuje na nástupišti. Přerušení je místo, kde QR kódy jsou očekávatelné z hlediska všech uživatelů. Nahodilé umístění kódů by neplnilo v plném rozsahu svoji funkci pro ZP osoby. V přestupních uzlech, kategorie A nebo B, mohou QR kódy usnadňovat pohyb všem osobám s chytrým telefonem, které se v místech nepohybují pravidelně a potřebují se rychleji zorientovat v prostoru, tj. nejsou „pomocníkem“ pouze jedné skupiny uživatelů.

Všechny hmatové prvky, nejen na nástupišti, musí být lemovány po obou stranách rovinnými deskami, prvky nebo dlažbou bez sražených hran v šíři nejméně 250 mm (optimálně 400 mm). S ohledem na Nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, ve znění pozdějších předpisů (§7 Ověření shody) a počet předepsaných spár v podélném i příčném směru, splňuje tento požadavek rovinná dlaždice o min. rozměrech 200 mm x 200 mm bez sražené hrany. Proto je přerušení SP navržené v modulu 200 mm.

Třetím a nejdůležitějším znakem je umístění reliéfního štítku s Braillovým písmem na pravou stranu označníku (na stranu vzdálenější od vozovky) nebo zadní pravou přístupnou stranu vývěsky, viz Obr. 7 odkaz č. 3. Výškové osazení je v úrovni 1400 až 1600 mm od pochozí plochy [18, 19]. Osoba se ZP prioritně počítá, kolik SP má k plánovanému cíli (ke konkrétnímu stanovišti nebo sektoru koleje). Pokud přichází na společné nástupiště je situace jednodušší, ale pokud vystupuje z vlaku a přestupuje na nekolejovou dopravu, musí si ověřovat, v jakém místě se přesně nachází a zda neudělala chybu. S výjimkou orientačních hlasových majáček (OHM) v příslušném sektoru na nástupišti (včetně výpravní budovy) nesmí být u společného nástupiště nekolejové dopravy použit orientační systém s akustickými prvky (OHM). Zde je nutné si uvědomit rozdíl mezi orientačním a informačním systémem, aby nedošlo k jeho záměně. Rozlišování orientačního a informačního systému je předpokladem pro jejich správný návrh i celkové řešení a vychází ze samotné podstaty obou systémů.



Obr. 7 Signální pás od označnicku s třemi rozlišovacími znaky: **1.** bez přerušení VLsVP; **2.** odsazení a přerušení SP na šířku 400 mm; **3.** Označnick s reliéfním štítkem s Braillovým písmem (zdroj: autorka)

7. Závěr

Na společném nástupišti, kde je pohyb pouze z jedné strany vodící linie s funkcí varovného pásu je nutné pro pohyb ZP osob zachovat volný bezpečný prostor bez překážek, vždy alespoň 1,20 m od osy VLsVP, tj. nejméně 1,00 m vedle této linie. Z experimentu vyšel poznatek, že volná průchozí šíře 800 mm je v současné době nedostatečná. Následně byla zjištěna i odchylka ZP osob na vzdálenost 8 metrů. Pokud bude vodící linie přerušena na přístupu na společné nástupiště nebo v přednádražním prostoru, lze očekávat, že absolutní průměrná odchylka od ideální osy přímého směru tvoří 650 mm na obě strany, což je šíře 1300 mm. V případě šířky přechodů a míst pro přecházení, kde není vodící linie, experiment potvrdil, že šíře je v současné legislativě vyhovující.

Aby došlo k rychlému rozlišení signálních pásů technikou bílé hole, bylo navrženo přerušení v návaznosti na aktualizovaná nařízení [20] a minimální velikost lemujících prvků hmatové dlažby a umělé vodící linie, viz Obr. 7. Každý nově navrhovaný hmatový prvek by měl projít vědeckým zdůvodněním, konzultacemi se specialisty z oboru, a především uživatelskou zpětnou korekcí. Zásadní vliv na informace má zpětná vazba z průzkumů dopravních společností, kde se odráží potřeby cestujících více než v platné legislativě [21]. Současně je

nutné začít více využívat chytré technologie, např. QR kódy, které jsou velkým pomocníkem, ale bílou hůl zatím nemohou plnohodnotně nahradit.

Zdroje

- [1] ZELENÁ KNIHA O STÁRNUTÍ Podpora mezigenerační solidarity a odpovědnosti. COM/2021/50 final. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX%3A52021DC0050>.
- [2] Dopravní politika České republiky pro období 2021–2027 s výhledem do roku 2050. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Strategie/Dopravni-politika-a-MFDI/Dopravni-politika-CR-pro-obdobi-2014-2020-s-vyhled>.
- [3] MATUŠKA, Jaroslav. Přístupné prostředí pro všechny: bezbariérová doprava. Pardubice: Institut Jana Pernera, 2019, s. 75-78, 179-185. ISBN 978-80-86530-96-3.
- [4] MACE, Ronald L., HARDIE, Graeme, PLACE, Jaine P. Accessible Environments: Toward Universal Design. Raleigh, USA: Center for Accessible Housing, 1991. Dostupné z: <http://mn.gov/mnddc/parallels2/pdf/90s/90/90-AEN-CAH.pdf.cit>.
- [5] Nařízení Komise (EU) č. 1300/2014, o technických specifikacích pro interoperabilitu týkajících se přístupnosti železničního systému Unie pro osoby se zdravotním postižením a osoby s omezenou schopností pohybu a orientace, ve znění pozdějších předpisů.
- [6] Norma ČSN EN 17210 Přístupnost a využitelnost zastavěného prostředí – Funkční požadavky, ÚNMZ, srpen 2021 (Accessibility and usability of the built environment – Functional requirements).
- [7] Směrnice SŽ SM122. *Kategorizace železničních stanic a zastávek dle UIC CODE 180 a jejich bezbariérová přístupnost*, ve znění pozdějších předpisů.
- [8] SŽ Ž8: Ž 8.7 Úpravy pro osoby s omezenou schopností orientace na nástupišti.
- [9] Norma ČSN 73 4959 Nástupiště a nástupištní přístřešky na dráhách celostátních, regionálních a vlečkách, ÚTNMZ, 2009.
- [10] MMR ČR. Ministerstvo pro místní rozvoj ČR. Vyhláška č. 398/2009 Sb., o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb; od 5. listopadu 2009 [cit. 2021-09-01]. Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=398&r=2009>.
- [11] WIENER, Pavel. *Prostorová orientace zrakově postižených*. Praha: Institut rehabilitace zrakově postižených UK FHS, 2006, s. 88-89, 114-115. ISBN 80-239-6775-4.
- [12] PAVLÍK, Jiří. *Aplikovaná statistika*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická. ISBN 80-7080-569-2.
- [13] Statistický program IBM SPSS Statistics 26 (číslo programu 5725-A54).

- [14] Max Roser, Cameron Appel and Hannah Ritchie. Human Height [online] *Our World In Data* [online]. 2013 [cit. 2021-10-06]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/human-height#height-is-normally-distributed>.
- [15] PRAŽÁK, Pavel. *Matematika 1*. Hradec Králové: Gaudeamus. ISBN 978-80-7435-227-0.
- [16] NaviLens TRANSIT Tactile-Paving use case [online]. 2021 [cit. 2021-09-12]. Dostupné z: <https://www.navilens.com/en/#navilens-section>.
- [17] Tokyo Metro Co. Ltd. Služba navigačního systému pro zrakově postižené „shikAI“ [online]. 2021. Copyright © Tokyo Metro Co. [cit. 2021-09-09]. Dostupné z: https://www-tokyometro-jp.translate.google.com/news/2021/209156.html?_x_tr_sl=ja&_x_tr_tl=cs&_x_tr_hl=cs&_x_tr_pto=sc.
- [18] Norma ČSN 73 6425-2 Autobusové, trolejbusové a tramvajové zastávky, přestupní uzly a stanoviště – Část 2: Přestupní uzly a stanoviště, ÚTNMZ, 2009.
- [19] SONS ČR. Zásady pro úpravu a umístování informačních štítků ve slepeckém písmu na označnické zastávky MHD, zastávek linkových (meziměstských) autobusů a odjezdových stání v autobusových nádražích a terminálech. [online]. [cit. 2021-09-12] Dostupné z: <https://www.sons.cz/Stitky-na-oznacniky-hromadne-dopravy-P4005375.html>.
- [20] Nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, v platném znění, §7Ověření shody. [online]. [cit. 2021-12-06] Dostupné z: https://koordinacesv.tzus.cz/media/files/technicke-navody/12/12_03_04.pdf.
- [21] *Barrierefreier ÖPNV in Deutschland = Barrier free public transport in Germany*. 2. Auflage – 2nd edition. Düsseldorf: Alba Fachverlag, 2012, s. 327-365. ISBN 978-3-87094-694-4.

Seznam zkratk

ČSN	Česká technická norma
DfA	Design for All
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
IS	informační systém
OHM	orientačně hlasový majáček pro nevidomé
PRM	persons with disabilities and persons with reduced mobility (ekvivalent pro český výraz „osoby s omezenou schopností pohybu nebo orientace“)
SONS ČR	Sjednocená organizace nevidomých a slabozrakých ČR, z. s.
SP	signální pás (hmatový prvek)
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace (<i>pozn. editora: pouze v rámci odkazu na platné předpisy SŽ</i>)
TSI	technická specifikace pro interoperabilitu
UD	Univerzální design
UVL	umělá vodící linie
VD	veřejná doprava
VLsVP	vodící linie s funkcí varovného pásu
VP	varovný pás (hmatový prvek)
ZP	zrakově postižené osoby

Seznam příloh

PŘÍLOHA 1: Ukázky realizovaných společných nástupišť: Uherský Brod

PŘÍLOHA 2: Ukázky realizovaných společných nástupišť: Břeclav

PŘÍLOHA 3: Ukázky realizovaných společných nástupišť: Opava-východ

PŘÍLOHA 1: Ukázky realizovaných společných nástupišť

UHERSKÝ BROD, realizace 2016

Zásadní chyby:

- dvě umělé vodící linie s podélnou drážkou na jednom společném nástupišti;
- nedodržení průchozího prostoru podél umělé vodící linie (UVL) z obou stran na společném nástupišti;
- nesprávný tvar hmatových prvků u ostrovních nástupišť autobusové dopravy.



Obr. 8: Uherský Brod, pohled z lávky na přístup k nástupištím, (zdroj: Ing. J. Kavan)



Obr. 9: Uherský Brod, společné nástupiště H-H, (zdroj: Ing. J. Kavan)

PŘÍLOHA 2: Ukázky realizovaných společných nástupišť

BŘECLAV, realizace 2014

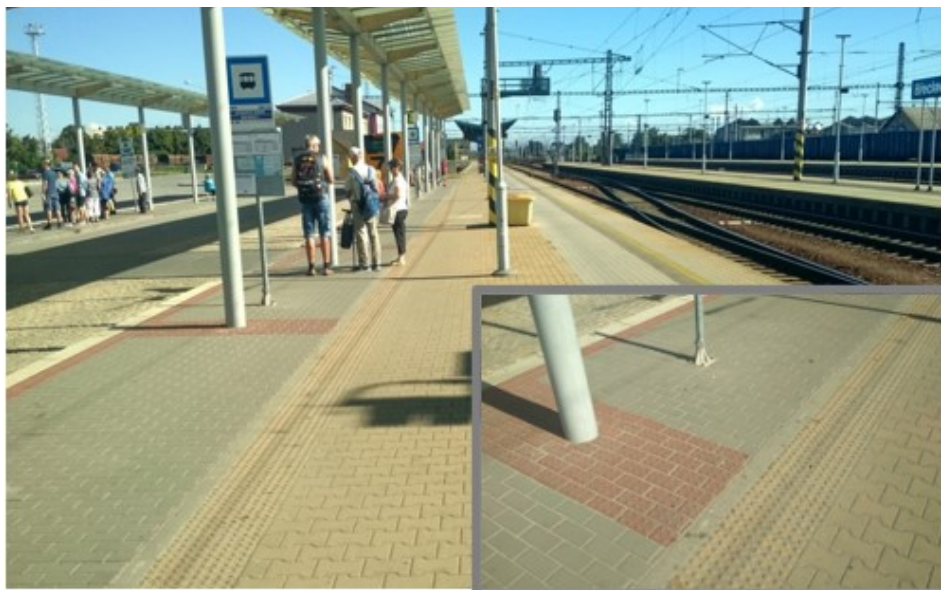
Zásadní chyby:

- varovný pás (VP) šíře 400 mm (místo SP 800-1000 mm) tvoří středovou specifickou linii, je zaměnitelný s varovným pásem u přechodu;
- nesprávné průniky hmatových prvků, nečitelnost hmatové informace.



Obr. 10 Břeclav, napojení SP od místa pro přecházení ke středové linii nástupiště, (zdroj: Jan Stöhr)

Obr. 11 Břeclav, společné nástupiště H-H: a) celkový pohled; b) detail nesprávného napojení hmatových prvků, (zdroj: Jan Stöhr)



PŘÍLOHA 3: Ukázky realizovaných společných nástupišť

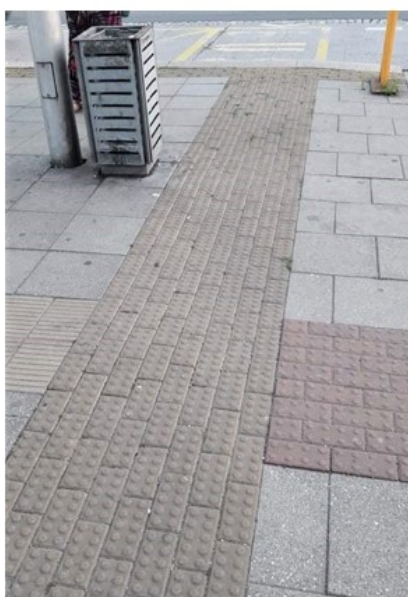
OPAVA VÝCHOD, Jánská ulice, realizace 2008

Zásadní chyby:

- umístění signálního pásu (SP) od orientačně důležitého místa navádí osoby s těžkým zrakovým postižením přímo do bezpečnostního pásu u nástupní hrany kolejové dopravy (životu nebezpečná situace);
- nedodržení volného průchozího prostoru podél SP u označníku;
- nesprávné průniky (vzájemné napojení) hmatových prvků.



Obr. 12 Opava východ, společné nástupiště H-H, (zdroj: autor)



Obr. 13 Opava východ: a) navedení ZP do bezpečnostní zóny u kolejové dopravy za VLsVP; b) umístění mobiliáře do průchozího prostoru vedle SP, (zdroj: autor)

Lektorovali:

Ing. Vladimír Tomandl, Ph.D.,

Správa železnic, státní organizace

Ing. Martin Jacura, Ph.D.,

FD ČVUT v Praze

Doc. Ing. Jaroslav Matuška, Ph.D.,

DFJP UPCE

8. Dvouzdrojové lokomotivy

Martin Chýle²⁵

Klíčová slova

dvouzdrojová lokomotiva, duální lokomotiva, hybridní lokomotiva, last-mile, osobní doprava, nákladní doprava

Key words

dual locomotive, hybrid locomotive, last-mile, passenger transport, freight transport

Anotace

Článek se zabývá možností použití dvouzdrojových lokomotiv v železniční dopravě. Představuje jednotlivé typy pohonu těchto vozidel, jejich kategorie a ukazuje možnosti jejich využití v provozu, s ohledem na provozní efektivitu a úsporu emisí. Na příkladu z praxe je demonstrována vhodnost nasazení těchto vozidel na široké spektrum výkonů, kde mohou přinést značnou úsporu nákladů na trakční energii. Také jsou přiblížena reálná nasazení těchto vozidel v současnosti, s důrazem na Českou republiku a středoevropský region obecně. Na závěr jsou prezentovány přínosy těchto vozidel a doporučeno jejich vhodné nasazení.

Abstract

This paper focuses on the possibilities of using dual locomotives in rail transport. It presents the different types of power supplies for these vehicles, their categories and shows the possibilities of use regarding operational efficiency and emission savings. Using practical example, it demonstrates the suitability of deploying dual locomotives for a wide range of operation, including considerable savings in traction energy costs. It also provides examples of real deployment of these machines, particularly in the Czech Republic and the Central European region in general. Finally, an assessment of the benefits of dual engines is presented and a recommendation for appropriate operational deployment is made.

1. Úvod

Historicky měla všechna železniční hnací vozidla pouze jeden způsob pohonu. Vývoj provozních a technických okolností však jejich konstruktéry postupem času přiměl k myšlence osadit na jedno vozidlo více způsobů pohonu, které se mohou navzájem nahrazovat, doplňovat, či sloužit ke specifickým účelům. Taková

²⁵ Ing. Martin Chýle. Student doktorského studia na Fakultě dopravní ČVUT v Praze.

vozdila se pak začala označovat jako dvouzdrojová, respektive také duální či hybridní.

V současnosti zajišťují tato vozidla pouze nepatrné procento výkonů na české železniční síti, ačkoli je jejich potenciál i díky rychlému vývoji patřičných technologií rozhodně nezanedbatelný. Tento článek si tak klade za cíl jejich bližší představení

a doporučení nasazení na vhodné výkony v tuzemsku.

2. Kategorizace dvouzdrojových vozidel

Jako dvouzdrojové vozidlo je obecně možné považovat jakékoli železniční hnací vozidlo, disponující více než jedním (obvykle dvěma) zdroji energie. Zpravidla je jeden zdroj energie primární a jeden sekundární, určený k použití pouze ve vyjmenovaných provozních situacích a za zvláštních podmínek. Důvody k využití sekundárního zdroje energie mohou být různé – ať už provozní, technické (např. absence trolejového vedení, přívodní kolejnice) či ekonomické (nižší výkon či jednotková cena energie a tím i nižší provozní náklady). Až na výjimky nelze hnací vozidlo provozovat na oba zdroje energie současně – musí být jasně časově ohraničeno, kdy je vozidlo v režimu provozu na jeden či na druhý zdroj energie.

Sekundární zdroj energie tedy ve většině případů nedokáže plně nahradit pohon primární a slouží pouze jako jeho substitut v případech, kdy z výše jmenovaných důvodů není možné jej použít. Ve výjimečných případech může fungovat jako náhrada primárního zdroje energie, pokud dojde k jeho poruše. Hnací vozidlo je v režimu sekundárního zdroje energie obvykle limitováno jak rychlostí, tak trakčním výkonem, omezen je i dojezd (akční radius) v tomto režimu. Doba provozu na sekundární pohon může trvat řádově od několika sekund (například u lokomotiv s napájením z přívodní kolejnice) po desítky minut (elektrické lokomotivy s pomocným spalovacím motorem).

Jako parciální (či hybridní, duální) pak obecně označujeme vozidla elektrické trakce, schopná fungovat jak v režimu závislé, tak nezávislé trakce. Jedná se zpravidla

o elektrická vozidla, jež mohou být plnohodnotně provozována i v úsecích bez trakčního vedení, ať už pomocí spalovacího motoru, či akumulátorů. V městské hromadné dopravě takto docházejí velkého rozšíření parciální trolejbusy, osazené pomocnými akumulátorovými bateriemi, které umožňují obsluhovat i koncové úseky linek postrádající trakční vedení, kde není dostatečná poptávka cestujících po přepravě. Na železnici již jsou provozovány dvouzdrojové elektrické trakční jednotky trolej/akumulátor (BEMU) a duální lokomotivy, jež budou detailněji popsány níže.

3. Typy pohonů dvouzdrojových vozidel a stručná historie v tuzemsku

Ačkoli první dvouzdrojová vozidla vznikla v zahraničí již před druhou světovou válkou, v tehdejší Československu se náhrada především konvenčních dieselelektrických lokomotiv začala řešit až v 80. letech 20. století, v souvislosti s rostoucími cenami trakční energie (zejména díky rostoucí ceně ropy, a tedy i

motorové nafty). Na několika příkladech z historie je tak možno představit celou řadu možných koncepčního uspořádání dvouzdrojových vozidel. [1]

3.1 Kombinace elektrické lokomotivy a pomocné motorové lokomotivy

V traťové službě se nabízí k vozbě manipulačních nákladních vlaků na elektrifikovaných tratích místo tradiční motorové lokomotivy, která však velkou většinu času pracuje a spaluje naftu pod trakčním vedením, možnost kombinace lokomotivy elektrické a menší lokomotivy motorové. Přestože nejde o dvouzdrojové vozidlo v pravém slova smyslu, jde o jedno z možných řešení, generujících úsporu nákladů. Myšlenka spočívá ve vedení vlaku elektrickou lokomotivou (o dostatečném výkonu) na elektrifikovaných úsecích trati, zatímco práci pomocné motorové lokomotivy se mohou stát manipulace s vozy ve stanicích, obsluha vleček a případné „odskoky“ na vedlejší neelektrifikované tratě. Přestože dojde k nárůstu turnusové potřeby hnacích vozidel a prodloužení pobytu ve stanicích (nutnost přecházení strojvedoucího mezi oběma stroji), úspora trakční nafty může být výrazná a nesporným přínosem je také snížení emisí, typicky v oblastech s trvale zhoršenou kvalitou ovzduší.

V praxi se však toto řešení začalo používat až o více než desetiletí později, kdy vznikly v ČKD malé dvounápravové dieselelektrické lokomotivy řad 704 a 708. [1] K jednomu z prvních nasazení došlo v Břeclavi, kde byly stroje řady 704 využity k posunovacím pracím na manipulačních vlcích do Vranovic a Moravského Písku, vedených elektrickou lokomotivou řady 210. Po ukončení provozu elektrických lokomotiv řady 210 na jižní Moravě v roce 2009 však byly tyto vlaky vráceny zpět do rukou hnacích vozidel nezávislé trakce (řady 742, později 742.7), a to i za cenu citelného zvýšení spotřeby nafty. [2]

Podobně byly až do roku 2020 vedeny manipulační vlaky na trati Brno – Vyškov, zajišťované „elektrickými lokomotivami řady 230 spolu s motorovými stroji řad 708 či 731 (posun ve stanicích Vyškov, Holubice a Sokolnice-Telnice). Později však byla trasa těchto vlaků prodloužena až do Prostějova, nacházejícího se pod stejnosměrnou trakční soustavou 3 kV, a na vlaky byly použity z důvodu nedostatku dvousystémových elektrických lokomotiv motorové lokomotivy v celé trase – opět s negativní externalitou v podobě zvýšené spotřeby paliva i emisí. [2]



Obr. 1 Elektrická lokomotiva řady 230 na manipulačním vlaku spolu s dieselelektrickou (řada 731). *Zdroj: autor*

3.2 Dieselakumulátorová lokomotiva

Z analýzy činnosti posunovacích lokomotiv v různých stanicích vyplynulo, že až 2/3 provozního času stráví tyto stroje na volnoběhu, jejich střední výkon za celou dobu provozu nepřekračuje 10 % výkonu jmenovitého a jmenovitý výkon nepotřebují déle, než 2 % celkové doby služby. [2] Z těchto závěrů je zřejmé, že běžné dieselelektrické lokomotivy nepracují v takovémto režimu hospodárně a jejich provoz prodražuje zejména velké množství paliva, spálené při volnoběžných otáčkách motoru. Nezanedbatelným faktorem jsou také nemalé emise. Proto je další možnou alternativou výroba lokomotivy s malým spalovacím motorem (o nízké volnoběžné spotřebě), zajišťujícím nepřetržitou pohotovost lokomotivy, a doplněným trakční baterií v případě krátkodobé potřeby vysokého trakčního výkonu. Tuto baterii je možno v provozních přestávkách dobít přímo ze spalovacího motoru, pohánějícího generátor elektrické energie, anebo při provozním brzdění využít rekuperační brzdy, vracející jinak zmařenou kinetickou energii zpět do akumulátoru.

Jediným praktickým příkladem této lokomotivy v tuzemsku je lokomotiva 718.501 (původně TA 436.0501, ET 459.0501), vyrobená v roce 1986 v pražské ČKD. V jejím případě bylo využito malého spalovacího motoru LIAZ (jmenovitý výkon 189 kW, přenášený elektrický výkon 150 kW) a niklkadmiová trakční akumulátorová baterie o výkonu 360 kW. Celkový trakční výkon lokomotivy tak dosahuje až 510 kW, stejně jako u konvenční dieselelektrické lokomotivy řady 730, avšak proti ní při praktických zkouškách dosáhla úspory paliva o více než 30 %. Další úspory přineslo používání elektrodynamické brzdy, kdy spotřeba brzdových zdrží klesla na cca 5 %. Lokomotiva takto sloužila více než 10 let na staničním posunu v Olomouci, a i přes pozdější zrušení lokomotivy (především pro špatný

technický stav a atypičnost) byla na tomto příkladu reálně prokázána efektivita tohoto řešení s přihlédnutím k provozním podmínkám. [2]

3.3 Elektrická lokomotiva s bateriovým vozem

Pravděpodobně nejznámějším příkladem dvouzdrojové lokomotivy v českém prostředí je elektrická lokomotiva s bateriovým vozem. Postaraly se o něj lokomotivy řady 210, u kterých byla již v roce 1990 v Českých Budějovicích zahájena první přestavba s cílem zajistit napájení mimo trakční vedení pomocí baterií, umístěných ve služebním voze. Postupně bylo takto upraveno na jihu Čech celkem 5 lokomotiv a další také na Slovensku. [3]

Využití bateriového vozu bylo sice v dané době nejjednodušším a zdánlivě nejlevnějším východiskem (použité olovené akumulátorové baterie byly zprvu vyzískány ze zrušených lokomotiv řady 781), avšak přináší v provozu značné komplikace, zejména při posunu – vůz je nutno při dojezdu do obrátové stanice objíždět, zhoršuje výhled strojvedoucího, v režimu jízdy na akumulátorové baterie není poháněn kompresor a tedy není možné doplnit tlakový vzduch, v neposlední řadě také v kontextu dnešním zvyšuje poplatek, který musí dopravce zaplatit správci infrastruktury za použití dopravní cesty, aj. Je nutné zmínit také velmi omezený výkon baterií (v případě českobudějovického řešení činí přibližně 100 kW), jenž umožňuje dopravovat pouze omezené množství zátěže a nízkými rychlostmi. Životnost baterií se pohybuje v řádu 5–15 let (v závislosti na použitém typu). Řešení se však v provozu na vybraných výkonech osvědčilo a je používáno dosud. [3] [4]

3.4 Elektrická lokomotiva s pomocným spalovacím motorem

V návaznosti na předešlé řešení, používané v jižních Čechách již tři desetiletí, je nutno nyní zmínit další variantu, a to dosazení spalovacího motoru na elektrickou lokomotivu. I takovéto vozidlo v českobudějovickém depu vzniklo, a to v podobě lokomotivy řady 218, také vycházející ze známé elektrické lokomotivy řady 210. Na základě zkušeností s provozem lokomotiv s bateriovým vozem vznikl mezi lety 2002–2008 první prototyp, osazený motorem Caterpillar 3406 o výkonu 384 kW (elektrický výkon přibližně 300 kW, tedy cca 2/5 jmenovitého výkonu lokomotivy). Ten umožnil výrazně vyšší pohyblivost lokomotivy mimo trakční vedení, vyšší dopravovanou zátěž, a odstranil některé neduhy předchozího řešení (např. možnost doplnění tlakového vzduchu, odpadá nutnost objíždění vozu apod.). Na druhou stranu nejde o řešení zcela bezemisní a v otázce provozních nákladů dražší, jak bude dále zmíněno. [5]

Vývoj technologií přinesl v posledním desetiletí také vznik několika plnohodnotných traťových elektrických lokomotiv, vybavených malým spalovacím motorem o výrazně nižším výkonu, určeným pro posun, obsluhu vleček, případně jízdu s vlakem v tzv. režimu last mile, tedy poslední míle. Sledována je tím zejména úspora nákladů v situaci, kdy se výchozí či konečná stanice vlaku nachází mimo trakční vedení, avšak sklonové poměry nevyžadují na dosažení tohoto bodu nasazení lokomotivy s vysokým výkonem. Jízdu vlaku v celé trase (i napříč několika státy) tak může zajistit jedna lokomotiva, která v průběhu jízdy přejde do režimu provozu na spalovací motor, a nutné úseky překoná tímto

způsobem. Zároveň jde o řešení, umožňující nouzový pohyb vlaku v případě výpadku napájení trakčního vedení (v místech, kde to sklonové poměry s ohledem na malý výkon spalovacího motoru umožňují). Do vývoje a výroby těchto lokomotiv se v Evropě pustilo vícero výrobců, mezi nimiž vynikají tři hlavní – Bombardier (dnes součást koncernu Alstom), Pesa a Siemens.

Bombardier takto již roku 2011 představil lokomotivu ze své rodiny TRAXX, vybavenou pomocným spalovacím motorem výrobce Deutz o výkonu 230 kW. V elektrickém módu (střídavé trakční soustavy 15 kV 16,7 Hz a 25 kV 50 Hz) stroj disponuje trvalým výkonem 5 600 kW. Lokomotivu, nazvanou AC3 F140 Last-mile, si objednal německý dopravce Railpool a s ním i několik dalších subjektů. Povolení k provozu na německé, rakouské a švýcarské železniční síti získal počátkem roku 2016. Ve výrobním programu je také varianta pro Skandinávii, zejména Švédsko a Norsko. Na české síti však vozidlo dosud schváleno není. [6]



Obr. 2 Lokomotiva Siemens Vectron AC, vybavená pomocným spalovacím motorem, s vlakem na vlečce mimo trakční vedení. Zdroj: autor

Obdobnou lokomotivu představila již o rok dříve (v roce 2010) také společnost **Siemens**, a to na bázi své platformy Vectron. Spalovací motor o výkonu 180 kW je výrobkem firmy Steyr a je možno jej dosadit do lokomotivy Vectron AC (pro střídavé trakční soustavy) či Vectron DC (pro stejnosměrnou trakční soustavu 3 kV) jakožto volitelné příslušenství již z výroby, či kdykoli během provozu lokomotivy. Vozidlo je tak schváleno ve všech zemích, kde je schválena mateřská platforma Vectron, včetně České republiky. První takovouto lokomotivu objednala v roce 2017 italská společnost InRail (varianta DC), po ní si následně doplnění spalovacího motoru do již vyrobených strojů objednali další provozovatelé, např. maďarský GySEV. V závěru roku 2021 si dvě tyto lokomotivy (ve variantě AC) objednal také první český dopravce, ČD Cargo. Jejich dodávka se předpokládá na jaře roku 2023. Výhodou těchto lokomotiv jsou díky pohonu všech dvojkolí vysoké tažné síly, a proto jsou schopny, byť nízkou

rychlostí (což při posunu nevadí), vlak o vysoké hmotnosti převzít z neelektrifikované vlečky či odevzdat jej na neelektrifikovanou vlečku. Tím mnohdy nahradí neefektivní jízdu motorové lokomotivy i stovky kilometrů pod trakčním vedením. [7]

Polský výrobce **Pesa Bydgoszcz** takovýto produkt nabízí pod označením 111Ed „Marathon“. Jedná se o stroj z rodiny Gama, představené roku 2012. V elektrickém módu disponuje obdobnými parametry, jako výrobky dvou předchozích firem (výkon 5 600 kW), avšak pro provoz mimo trakční vedení je dosazen spalovací motor Caterpillar o výrazně vyšším výkonu 403 kW. Na rozdíl platform TRAXX a Vectron je ale v nabídce pouze varianta pro stejnosměrnou trakční soustavu 3 kV a lokomotiva disponuje schválením pouze na polských tratích. Lokomotivy si objednaly soukromé subjekty Rail Capital Partners (32 kusů) a Pol-Miedz Trans (1 kus). [8]

3.5 Duální lokomotiva

Posledním druhem dvouzdrojového vozidla, jenž bude v tomto pojednání představen, je vozidlo duální. Obecně je možné říci, že duální vozidla dosahují v provozním režimu nezávislé trakce výrazně vyššího výkonu než vozidla s pomocným spalovacím motorem, a tento režim není rozhodně brán jakožto nouzový či dojezdový. Oproti tradičním elektrickým lokomotivám však logicky mají z důvodu zástavby velkého spalovacího motoru a jeho příslušenství menší měrný trakční výkon. Mohou být řešeny jako výkonově symetrické (tedy mají stejné trakční vlastnosti na elektrifikovaných i neelektrifikovaných tratích, ale na elektrifikovaných tratích využívají výhodu liniového elektrického napájení, spalovací motor má charakter plnohodnotného zdroje), nebo jako výkonově nesymetrické (na neelektrifikovaných tratích mají nižší výkon, než na elektrifikovaných tratích, spalovací motor má charakter doplňkového zdroje). I tato vozidla již někteří renomovaní výrobci nabízí ve svých výrobních programech; kromě výše zmiňovaného Siemensu také španělská pobočka Stadler Rail Valencia se svým produktem Euro Dual. Jejich parametry přehledně shrnuje následující tabulka:

Výrobce	Siemens	Stadler
Název	Vectron Dual Mode	Euro Dual
Počet náprav	4	6
Výkon v E trakci	2 400 kW	7 000 kW
Výkon v D trakci	2 400 kW	až 2 800 kW ¹
Max. rychlost	160 km/h	160 km/h

¹ – v závislosti na použitém spalovacím motoru

Tab. 1. Duální lokomotivy Siemens a Stadler

Výrazně vyšší výkon vozidla Stadleru je zapříčiněn zejména delším rámem a šestinápravovým provedením; vozidlo Euro Dual je koncipováno zejména pro těžkou nákladní dopravu. Naproti tomu produkt Siemensu, Vectron Dual Mode, je řešen jako vozidlo s rovnocennými trakčními parametry jak v režimu závislé, tak nezávislé trakce, a pro univerzální použití v osobní i nákladní dopravě.

Zatímco např. v Německu jsou tyto lokomotivy již v provozu používány (10 strojů Euro Dual provozuje společnost Havelländische Eisenbahnen, dalších 10

vlastní European Loc Pool), a existují i varianty pro provoz v České republice, ani tyto lokomotivy doposud žádný český dopravce nezakoupil.

3.6 Dvouzdrojové lokomotivy pro dopravu manipulačních nákladních vlaků

Velké množství motorové nafty spalují motorové lokomotivy (a produkují s tím spojené emise) pod trakčním vedením. Jde zejména o dopravu manipulačních nákladních vlaků na elektrifikovaných tratích a o vlakotvorný posun na elektrifikovaných nádražích. Při těchto činnostech se motorové lokomotivy téměř stále nacházejí pod trakčním vedením, které nevyužívají. V rámci tohoto nasazení pouze příležitostně zajíždějí na neelektrifikované manipulační koleje, vlečky či vedlejší tratě, na kterých potřebují naftový pohon nezávislý na trakčním vedení. Naftový pohon pak neefektivně využívají i pod trakčním vedením, což je provázáno jeho nízkou účinností a chybějícím rekuperačním brzděním.

Jak z důvodu snížení nákladů na energii a údržbu, tak z důvodu snížení emisí oxidu uhličitého i zdraví škodlivých látek, jakožto i pro zásadní snížení hluku na nádražích, se německé Deutsche Bahn (DB AG) rozhodly nahradit dosluhující čtyřnápravové motorové lokomotivy řady 290/291 (809 kW, 79 t, 80 km/h) nikoliv opět motorovými lokomotivami, ale dvouzdrojovými lokomotivami trolej/diesel řady 248.

Na rozdíl od výše uvedených výkonově symetrických lokomotiv Vectron DM jsou tyto lokomotivy řešeny jako výkonově nesymetrické. Důvodem je snaha dopravovat

i manipulační nákladní vlaky mezi stanicemi na dopravně silně zatížených tratích rychle a neblokovat tak kapacitu dráhy, respektive nezdržovat obsluhu železničních stanic dlouhým čekáním na volnou pomalejší trasu. Avšak na posun ve stanici stačí méně výkonný spalovací motor s nižší základní (volnoběžnou) spotřebou paliva.

Jde o dopravní výkony, u kterých je v souladu s cíli Green Deal (převod nákladní dopravy ze silnic na železnice) očekáván významný nárůst – železnice potřebuje kromě zajištění dálkových přeprav též obsluhovat širokou síť bodů nakládky a vykládky. Provedením analýz určily DB celkovou potřebu nových duálních čtyřnápravových lokomotiv na 400. Na základě výběrového řízení získala příslušnou zakázku společnost Siemens Mobility, která pro tento účel nabídla řešení na bázi platformy Vectron Dual Mode, přizpůsobené požadovaným provozním podmínkám. V září 2020 byla uzavřena smlouva na dodání prvních 100 lokomotiv s opcí na dalších 100. V lednu 2022 objednaly DB z této opce 46 lokomotiv tohoto typu a společnost Bahnbau 4 lokomotivy. [9]

Podle svých propočtů očekává DB úsporu nafty ve výši 220 litrů na lokomotivu denně, tedy 80 000 litrů na lokomotivu ročně. Trakční výkon nových čtyřnápravových duálních lokomotiv řady 248 činí při elektrickém napájení 15 kV 16,7 Hz až 2 200 kW, což zhruba odpovídá trakčnímu výkonu nákladních elektrických lokomotiv řady 130 ČDC.

Toto výrazné navýšení výkonu vůči dosavadním motorovým lokomotivám řady 290/291 umožní zvýšit rychlost jízdy jimi dopravovaných nákladních vlaků po dopravně silně zatížených hlavních elektrifikovaných tratích. Rychlejší jízda v souběhu s ostatními vlaky je podmínkou operativního získání volné trasy bez dlouhého čekání na období slabšího provozu. Rovněž trvalý výkon naftového motoru je proti původním motorovým lokomotivám poněkud zvýšen a to na 950 kW (tedy na úrovni mezi lokomotivami 742 a 771 ČD). V obou módech (trolej i diesel) budou nové lokomotivy disponovat maximální rozjezdovou tažnou silou 300 kN a nejvyšší provozní rychlostí 120 km/h. Také vybavení lokomotiv vlakovými zabezpečovači (PZB/LZB, následně ETCS) odpovídá podmínkám provozu na hlavních tratích. K dopravě těžších vlaků mohou být využívány i ve vícečlenném řízení, a to jak lokomotiv stejného provedení (DM), tak i v kombinaci s čistě elektrickými lokomotivami Vectron (řada 193).

Výrazným prvkem nových duálních lokomotiv jsou čelní ochozy se zábradlím a prostorná boční stupátka s madly. Ty spolu s automatickými spřáhly pro posun, možností dálkového ovládní lokomotivy povelovou radiostanicí, osvětlením okolních prostor, specificky nasměrovanými kamerami, systémem hovorové rádiové komunikace a dalšími prvky vytvářejí podmínky pro cílené uplatnění moderních technologií při posunu, který je součástí vozby manipulačních nákladních vlaků. [9]

4. Srovnání nasazení dvouzdrojové a motorové lokomotivy

Jak již bylo popsáno výše, dieselelektrické lokomotivy jsou stále nasazovány na nemalém počtu vlaků, jedoucích v celé trase (nebo v její převážné části) po elektrifikovaných tratích. Stojí za připomenutí, že v síti tratí SŽ bylo v roce 2019:

- 95,5 % dopravních výkonů nákladní železniční dopravy vykonáváno na elektrifikovaných tratích,
- 86,8 % dopravních výkonů nákladní železniční dopravy zajišťují elektrické lokomotivy.

Motorové lokomotivy zajišťují téměř dvakrát více dopravních výkonů na elektrifikovaných tratích (8,7 %), než na neelektrifikovaných tratích (4,5 %). To je vážné téma k řešení. [10]

Cílem této části textu je, na základě provedených srovnávacích výpočtů, vyčíslit spotřebu energie a z ní plynoucí úspory při vedení vlaku dvouzdrojovou lokomotivou, a to v různých variantách (jak s pomocným dieselaagregátem, tak s trakčními bateriemi). [11] [12]

V příkladech je řešeno porovnání spotřeby trakční energie a nákladů na ni u čtyř variant, kdy a) a b) jsou srovnávací varianty:

- a) Konvenční dieselelektrická lokomotiva, nasazovaná v současnosti (ř. 742)
- b) Čistě elektrická lokomotiva, za teoretického předpokladu, že by byly všechny manipulační koleje i vlečky elektrifikovány (ř. 210)
- c) Dvouzdrojová elektrická lokomotiva s pomocným dieselaagregátem (ř. 210 D)

d) Dvouzdrojová elektrická lokomotiva parciální s trakční akumulátorovou baterií (ř. 210 A)

Pro stanovení spotřeby energie je využit výpočet pomocí jednoduchého modelu, pracujícího s metodikou fyzikálních odporů prostředí, vyjádřených podílem tíhové síly působící na vlak. [12]

Mezi nejvýznamnější takovéto složky patří:

- Měrný jízdní odpor
- Měrný akcelerační odpor
- Odpor ze sklonu
- Střední měrný odpor z oblouku

Součet všech těchto měrných odporů se nazývá střední měrný vozidlový odpor. Pro stanovení hodnot jednotlivých jmenovaných odporů je nutné znát řadu fyzikálních veličin a hodnot, závislých nejen na konkrétním typu a parametrech vozidla, ale také na parametrech pojezděné trati a okolního prostředí. Všechny měrné odpory jsou brány jako bezrozměrná veličina s jednotkou $N \cdot kN^{-1}$.

a) Měrný jízdní odpor

Prvním složkou je měrný jízdní odpor p_0 , závislý, jak už název napovídá, primárně na jízdě vlaku. Jeho hodnota je [12]

$$p_0 = a + c \cdot v^2 \left[\frac{N}{kN} \right]$$

kde a je měrný odpor valení, c měrný aerodynamický odpor a v rychlost jízdy vlaku (vozidla). Uvedené hodnoty jsou platné pro krátké nákladní vlaky (včetně lokomotivy) s různými typy vozů brzděné litinovými špalíky.

Definované hodnoty:

Veličina	Značka	Hodnota	Jednotka
Měrný odpor valení	a	1,3	N/kN
Součinitel měrného aerodynamického odporu	c	0,0003	N/kN/(km/h) ²

Tab. 2. Definované hodnoty měrného jízdního odporu

Součinitel c je odhadnutá hodnota měrného aerodynamického odporu krátkého různorodého nákladního vlaku i s lokomotivou jako celku (dle předpisu ČSD/ČD V17).

b) Měrný akcelerační odpor

Poslední složkou, promítající se do výpočtu měrného vozidlového odporu, je odpor akcelerační (p_a). Jeho hodnota vychází primárně z charakteru jízdy, tedy z rychlosti vlaku a četnosti zastavení. Jeho hodnota je

$$p_a = \frac{0,5 \cdot \xi \cdot v^2}{3,6^2 \cdot g \cdot L} \left[\frac{N}{kN} \right]$$

c) Měrný odpor sklonu

Základní složkou měrného traťového odporu je měrný odpor sklonu

$$p_s = s \left[\frac{N}{kN} \right]$$

d) Střední měrný odpor z oblouku

Druhou složkou měrného traťového odporu p_r je střední měrný odpor z oblouku, jež závisí zejména na směrových parametrech dané trati či traťového úseku. Použit je Röckelův vztah:

$$p_r = \frac{650}{R - 50} \cdot \frac{k}{100} \left[\frac{N}{kN} \right]$$

kde R je průměrný poloměr oblouku na trati a k procentní podíl délky oblouků na celkové délce trati. Hodnota 650 je brána pro hlavní tratě (v případě vedlejších tratí je možné ji nahradit hodnotou 500 a 30; typový příklad však pochází z trati hlavní). [12]

kde ξ je součinitel rotujících hmot, v je rychlost na konci rozjezdu (počítáno je s hodnotou na úrovni 95 % nejvyšší dovolené rychlosti vlaku), g je gravitační zrychlení a L průměrná vzdálenost mezi zastaveními vlaku. Hodnota $\xi = 1,06$ je stanovena jako konstantní.

Celková hodnota měrného vozidlového odporu se tedy vypočítá jako [12]

$$\Sigma p = p_0 + p_r + p_a + s \left[\frac{N}{kN} \right]$$

kde p_0 , p_r a p_a jsou jednotlivé měrné odpory a s je průměrné stoupání na dané trati v ‰.

Po stanovení jízdního odporu pro řešenou trať a konkrétní výkon dochází k výpočtu **měrné trakční práce**, která umožní převést jízdní odpor na jednotky, vhodné k přepočtu spotřebované energie na celkový dopravní výkon. Ten je počítán ve standardních jednotkách, tedy tunokilometrech (tkm). Vzorec pro výpočet celkové **trakční práce** [11]:

$$W = w_t \cdot m \cdot L \left[\frac{kWh}{1000 tkm} \right]$$

kde W je celková trakční práce, w_t je měrná trakční práce, m je hmotnost vlaku (celková, tedy lokomotivy i zátěže dohromady) a L vzdálenost, na jakou je daná hmotnost vlaku přemístěna. Vzorec pro výpočet měrné trakční práce:

$$w_t = \frac{g \cdot \Sigma p}{3,6} \left[\frac{kWh}{1000 tkm} \right]$$

Vypočítaná trakční práce je již základem k určení měrné práce samotného pohonu

a z něj plynoucí měrné spotřeby energie pro daný dopravní výkon.

Posledním ze série přípravných výpočtů je výpočet měrné spotřeby energie. K jejímu stanovení je využita již spočítaná měrná trakční práce a účinnost zdroje energie.

Ta je definována konstantními hodnotami:

Parametr	Značka	Hodnota	Jednotka
Výhřevnost nafty	H	10	kWh/litr
Účinnost primárního trakčního zdroje	η_p	97	%

Účinnost elektrického pohonu v závislé trakci	η_e	85	%
Účinnost elektrického pohonu v nezávislé trakci (akumulátor)	η_a	74	%

Tab. 3. Definované hodnoty účinností [11]

Výsledkem je tedy měrná spotřeba trakční nafty podle vzorce

$$q = \frac{w_t}{H} \left[\frac{\text{litr}}{1000 \text{ tkm}} \right]$$

pro dieselovou trakci a

$$e = \frac{w_t}{\eta} \left[\frac{\text{kWh}}{1000 \text{ tkm}} \right]$$

pro elektrickou trakci, kde w_t je měrná trakční práce, H výše zmíněná výhřevnost nafty a η účinnost. Takto získanou hodnotu spotřeby měrné trakční energie (paliva) je již možné využít ve výpočtu celkové spotřeby energie na vybraném výkonu.

Výpočet dopravní práce a celkové spotřeby

Při výpočtu samotné dopravní práce na daném výkonu se vychází ze zátěže vlaku a dráhy, kterou vlak na své trase urazí. Celková dopravní práce je vyčíslena v tunokilometrech. Zátěž vlaku a její průběh jsou podrobně definovány v každém příkladu zvlášť. Dopravní práce (D) je určena vzorcem

$$D = m \cdot L \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

který vychází z výše řešeného výpočtu celkového dopravního výkonu. Celková spotřeba nafty, respektive elektrické energie na předmětném výkonu je tedy vyjádřena vzorcem

$$Q = q \cdot D \text{ [kWh]}$$

a

$$E = e \cdot D \text{ [kWh]}$$

kde q je měrná spotřeba trakční nafty, e měrná spotřeba trakční energie a D je celková dopravní práce.

Výslednou spotřebu je následně možné využít pro vzájemné porovnání spotřeby energie jednotlivých druhů vozidel (pohonu) a případné vyčíslení nákladů na ni.

5. Příklad nasazení

Jako jeden z nejvhodnějších výkonů pro provoz dvouzdrojové lokomotivy v současnosti byl vybrán manipulační vlak Vranovice – Břeclav – Moravský Písek. Tento vlak je v celé trase veden po dvojkolejně elektrifikované trati koridorového typu se střídavou napájecí soustavou 25 kV/50 Hz; mimo trakční vedení jeho lokomotiva zajíždí pouze při obsluze manipulačních kolejí a vleček v nácestných stanicích. V současnosti je na tomto výkonu nasazována lokomotiva řady 742 z pracoviště Břeclav.

V typovém příkladu je pro zjednodušení použit model jednoduchých vozových zásilek, kdy jsou vozy (zátěž vlaku) uvažovány jako striktně jednotné – hmotnost každého prázdného vozu činí 25 tun, hmotnost loženého vozu činí 75 tun. Přehled zátěže vlaku na základě dlouhodobého sledování přináší následující tabulky:

Úsek	Sestava vlaku (vozy)	Hmotnost soupravy
Vranovice – Šakvice	4 ložené	300 t
Šakvice – Zaječí	4 ložené + 2 prázdné	350 t
Zaječí – Břeclav	7 ložených + 6 prázdných	675 t
Břeclav – Lužice	3 ložené + 10 prázdných	475 t
Lužice – Hodonín	3 ložené + 7 prázdných	400 t
Hodonín – Rohatec	3 ložené + 4 prázdné	325 t
Rohatec – Bzenec přívoz	3 ložené + 2 prázdné	275 t
Bzenec přívoz – Mor. Písek	3 ložené	225 t

Tab. 4. Definovaná zátěž vlaku ve směru Vranovice – Moravský Písek

Úsek	Sestava vlaku (vozy)	Hmotnost soupravy
Mor. Písek – Bzenec přívoz	3 prázdné	75 t
Bzenec přívoz – Rohatec	2 ložené + 3 prázdné	225 t
Rohatec – Hodonín	4 ložené + 3 prázdné	375 t
Hodonín – Lužice	7 ložených + 3 prázdné	600 t
Lužice – Břeclav	10 ložených + 3 prázdné	825 t
Břeclav – Zaječí	6 ložených + 7 prázdných	625 t
Zaječí – Šakvice	2 ložené + 4 prázdné	250 t
Šakvice – Vranovice	4 prázdné	100 t

Tab. 5. Definovaná zátěž vlaku ve směru Moravský Písek – Vranovice

Zátěž je uvažována v obou směrech stejná (dle modelu: co se přiveze prázdné, se v dané stanici naloží, co se přiveze ložené, se vyloží a odesílá prázdné zpět). Vlak cestou manipuluje s vozy ve všech vyjmenovaných stanicích. Trať o celkové délce

72 km vede v rovinaté krajině s minimálními podélnými sklony – nejvyšší sklon na celém úseku dosahuje 4,7 ‰ (v úseku Bzenec přívoz – Rohatec), průměrný poloměr oblouku činí více než 1 000 m. Je uvažováno, že dvouzdrojová lokomotiva jede v mezistaničních úsecích na elektrický pohon, při posunu využívá spalovací motor, případně baterii.

6. Výsledky

Pro ekvivalentní porovnání všech typů lokomotiv, jejich spotřeby energie a provozních nákladů byl zvolen způsob váženého součtu, kdy celkovou trakční energii tvoří:

- u lokomotivy řady 742 pouze spotřeba nafty, převedená přes výhřevnost nafty
- u lokomotivy řady 210 pouze spotřeba elektrické energie

- u lokomotivy řady 210 D spotřeba elektrické energie z troleje, sečtená se spotřebou nafty pomocného spalovacího motoru a převedenou přes výhřevnost
- u lokomotivy řady 210 A spotřeba elektrické energie z troleje, sečtená se spotřebou elektrické energie při jízdě na baterii

Ceny zdrojů energie vyjadřuje tabulka 6. Tyto ceny jsou stanoveny z velkoobchodních cen energií (paliv) pro rok 2019; do současnosti došlo k jejich citelnému navýšení, jejich poměr však je zachován.

Zdroj energie	Cena
Motorová nafta	28 Kč/litr
Elektřina	2,3 Kč/kWh

Tab. 6. Ceny zdrojů energie (2019)

Celková spotřeba energie Q je dána součtem jednotlivých složek

$$Q = q_D + q_E + q_A \text{ [kWh]}$$

Takto vyjádřené spotřeby energie jsou následně převedeny na provozní náklady P vynásobením cen příslušných energetických zdrojů, tedy

$$P = \frac{q_D}{H} \cdot P_D + (q_E + q_A) \cdot P_E \text{ [Kč]}$$

kde H je výhřevnost nafty, P_D je cena nafty a P_E cena elektrické energie dle tabulky 6 výše.

Celkové náklady na provoz jednotlivých typů lokomotiv na daném výkonu ilustruje následující tabulka a grafy:

loko	VR-BV		BV-MP		MP-BV		BV-VR		Celkem	
	Q [kWh]	[Kč]	Q [kWh]	[Kč]	Q [kWh]	[Kč]	Q [kWh]	[Kč]	Q [kWh]	[Kč]
742	1 748	4 894	1 720	4 816	2 083	5 833	1 464	4 101	7 016	19 644
210 E	643	1 480	601	1 382	756	1 738	538	1 237	2 538	5 836
210 D	560	1 316	535	1 273	668	1 586	472	1 116	2 235	5 291
210 A	532	1 223	485	1 115	617	1 420	441	1 014	2 075	4 772

Tab. 7. Náklady na provoz jednotlivých typů lokomotiv na trati Vranovice – Moravský Písek

Na vybraném příkladu je zřejmé, že nasazením lokomotivy, využívající v podstatné části trasy elektrické trakce, je možno snížit náklady na trakční energii až o přibližně 75 procent. Za tento výrazný rozdíl může zejména vysoká

spotřeba nafty motorové lokomotivy daná výrazně nižší účinností spalovacího motoru. Při efektivním využití lokomotivy alespoň každý pracovní den (250 dní v roce) činí úspora nákladů na trakční energii až přibližně 4 miliony Kč ročně. Stojí za pozornost, že na celkové náklady nemá podstatný vliv, jakým způsobem je zajištěn pohon lokomotivy mimo trakční vedení (E, D, A). Podstatné je, aby pod trakčním vedením nebyl používán spalovací motor, neboť při jízdě mezi stanicemi je spotřebováno nejvíce energie. Ve výpočtu však nejsou zahrnuty náklady na případnou složitější a dražší údržbu dvouzdrojového vozidla, zaškolení personálu a další výdaje. Je tak na zvážení každého provozovatele, zdali je pro něj pořízení a provoz takového vozidla přínosem nejen ekonomickým, ale i ekologickým.

Vybrané další možnosti nasazení dvouzdrojových lokomotiv v tuzemsku

Jeden představený srovnávací příklad samozřejmě nemůže obsáhnout veškeré aspekty provozu takovýchto lokomotiv. Obecně je však možno konstatovat, že lze dvouzdrojová vozidla nasadit na široké spektrum výkonů s ohledem na nastavení jejich výkonnostních úrovní, a to v nákladní i osobní dopravě.

V osobní dopravě lze například uvažovat o nasazení duálních lokomotiv na vozebních ramenech, kde je část trasy vlaku vedena po elektrifikovaných tratích, a část po tratích neelektrifikovaných. Typickým představitelem je rychlíková linka R10 z Prahy přes Hradec Králové do Trutnova. V současnosti je nutné u těchto rychlíků, známých pod názvem „Krkonoš“, provádět ve stanici Hradec Králové hl. n. výměnu elektrické lokomotivy za motorovou a naopak. Pobyt vlaku ve stanici činí přes 10 minut a je zároveň využit pro odstavení, případně přidání posilových vozů. Za předpokladu, že by byl tento vlak veden duální lokomotivou, je možno zkrátit dobu pobytu vlaku ve stanici na minimum (2–5 minut) a zároveň odpadá značná posunovací práce a zatížení zhlaví, způsobené přejížděním dvou hnacích vozidel. Navíc lze využít trakčního vedení a jízdy v závislé trakci až do stanice Jaroměř, kde v současnosti je nasazena motorová lokomotiva.

Podobným příkladem je také linka R16, jezdící z Prahy přes Plzeň do Klatov, potažmo Železné Rudy („Berounka“). Přepřah mezi elektrickou a motorovou lokomotivou je prováděn ve stanici Klatovy, a i zde je z tohoto důvodu v jízdním řádu zapracován pobyt vlaku více než 10 minut. Také tato linka se jeví jako jedna z vhodných pro nasazení duální lokomotivy, schopné odvézt vlak v celé trase.

V nákladní dopravě je spektrum možného nasazení ještě širší. Duální lokomotivy mohou být nasazeny na výkony charakterem podobné těm, jenž byly zmíněny výše v osobní dopravě (např. doprava uhlí do elektrárny Trutnov-Poříčí). Traťové elektrické lokomotivy s pomocným spalovacím motorem jsou vhodné zejména pro nasazení na vlcích, kde leží výchozí/cílová stanice v těsné blízkosti elektrifikované tratě a sklonové poměry nevyžadují vysoký výkon v nezávislé trakci. V českém prostředí je takto možné zmínit například kontejnerový terminál v Nýřanech v západních Čechách, kam jezdí kontejnerové vlaky operátora Metrans. Podobný příklad je další terminál v Lípě nad Dřevnicí nedaleko Zlína. Pro úplnost je vhodné dodat, že by v následujících letech mělo dojít k elektrifikaci předmětných traťových úseků. Takováto lokomotiva může namísto čistě

motorového stroje provést těž výtah soupravy z vlečky, např. automobilky TPCA v Kolíně, či dalšího terminálu intermodální dopravy v Brně.

Dvouzdrojové posunovací lokomotivy různých výkonových kategorií pak mohou nahradit konvenční motorové lokomotivy na manipulačních vlcích a místních výkonech, podobných typovému příkladu, zmíněnému výše. Na tyto výkony jsou již např. ve Švýcarsku úspěšně nasazovány stroje řady Eem 923 výrobce Stadler.

7. Zhodnocení

Díky rychlému rozvoji technologií a aktivnímu přístupu řady výrobců k vývoji se v posledních letech nabídka dvouzdrojových vozidel na trhu značně rozšířila a parametry nabízených výrobků se výrazně zlepšily. Při nasazení na vhodný výkon lze s pomocí dvouzdrojového vozidla dosáhnout velmi výrazných úspor energií a zároveň získat i další benefity, zejména snížení emisí výfukových plynů a hluku. Traťové elektrické lokomotivy s pomocným spalovacím motorem zase šetří provozovatelům náklady, vzniklé nutným nasazením druhé (motorové) lokomotivy na překonání krátkých úseků tzv. poslední míle. Dvouzdrojová vozidla proto mohou na řadě míst nahradit vozidla nevyhovující, nasazovaná dosud na předmětné výkony díky neexistenci jiných vhodných vozidel. Konkrétní vyčíslení úspor je však do značné míry vždy závislé na charakteru výkonů, na které má být vozidlo nasazeno (jak velkou část služby vykonává pod trakčním vedením).

Literatura

- [1] Kolektiv autorů. Atlas vozidel ŽM: Motorové lokomotivy v ČR a na Slovensku. Praha, 2009.
- [2] Oběhy hnacích vozidel ČD Cargo, různé GVD. Praha, 2016–2022.
- [3] Smejkal, Luboš. Provoz elektrické lokomotivy mimo trolejové vedení. Vědeckotechnický sborník ČD č. 8/1999. Praha, 1999.
- [4] Brabenec, Daniel. Lokomotiva řady 218 ČD Cargo. Stránky přátel železnic, 2008.
- [5] Štěrba, Roman. Poplatky za obnovitelné zdroje energie znevýhodňují ekologickou elektrickou trakci na přepravním trhu. Vědeckotechnický sborník ČD č. 43/2016. Praha, 2016.
- [6] Product list Traxx AC3 Last mile. Bombardier Transportation.
- [7] Praxmarer, Thomas. Development of a Diesel Power Module (DPM) for electrification of the extra mile. Wiesbaden 2017.
- [8] Lokomotywa elektryczna ze spalinowym silnikiem dojazdowym. Technický popis lokomotivy 111Ed „Marathon“. Bydgoszcz, 2020.
- [9] DB Cargo beschafft von Siemens neue Zweikraftlokomotiven für seine Strecken- und Rangierflotte. Eurail, 2021
- [10] Statistická ročenka dopravy ČR. Praha, 2021.
- [11] Pohl, Jiří. Metodika výpočtu energetické a emisní náročnosti dopravních systémů. Praha, 2020.
- [12] Herzáň, František, Habarada, Dušan, Mrkvička, Jan. Mechanika dopravy koľajových vozidel. Praha, 1989.

Lektorovali:

Ing. et Ing. Lumír Gregor, Ph.D.,

České dráhy, a.s.

Ing. Jaromír Bittner

Drážní úřad

9. Provoz nákladních vlaků délky 740 m, díl II.

Tomáš Michálek²⁶,

Jiří Pohl²⁷

Abstrakt

Tento článek navazuje na první díl pojednání o provozu dlouhých (a těžkých) nákladních vlaků a zaměřuje se na problematiku brzdění těchto vlaků. Pozornost je věnována dílčím problémům, které při spádovém i zastavovacím brzdění takových vlaků vyvstávají, ať už jde o projevy podélné dynamiky, tepelné účinky nekovových brzdových špalíků na kola, přínosy rekuperačního elektrodynamického brzdění či vazbu na činnost vlakového zabezpečovače ETCS. Jako zásadní problém se přitom jeví používání samočinné pneumatické brzdy UIC a řešení autoři spatřují v zavedení digitálního automatického spřáhla v kombinaci s přímočinnou elektropneumatickou brzdou.

Klíčová slova

nákladní vlak, brzdění vlaku, samočinná pneumatická brzda UIC, elektrodynamická brzda, elektropneumatická brzda, digitální automatické spřáhlo, ETCS

1. Úvod

Jak vyplývá z předchozího dílu článku [1], zajištění možnosti provozu nákladních vlaků délky (alespoň) 740 m, jak je společensky potřebné k dekarbonizaci nákladní dopravy jejím převedením z automobilů vybavených spalovacími motory na elektrickou železnici a jak vyžaduje na tratích hlavní sítě současná evropská legislativa, není jednoduchou úlohou. Zdaleka totiž nejde jen o existenci dostatečně dlouhých předjízdných kolejí ve stanicích, ale je nezbytně nutné vnímat širší souvislosti, které s provozem dlouhých nákladních vlaků úzce souvisí.

2. Brzdění nákladních vlaků délky 740 m

Zatímco minulý díl byl zaměřen zejména na problémy, které vyplývají z požadavku na vozbu těžkých vlaků do stoupání (dovolené namáhání spřáhel, efektivní využití trakčních schopností dvojice lokomotiv, postrky), jako velmi

²⁶ **Ing. Tomáš Michálek, Ph.D.**; Univerzita Pardubice – Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky – Oddělení kolejových vozidel; Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová; tel.: +420 466 037 415, e-mail: tomas.michalek@upce.cz

²⁷ **Ing. Jiří Pohl**; Siemens, s.r.o., divize Mobility; Siemensova 1, 155 00 Praha 13; tel.: +420 724 014 931, e-mail: jiri.pohl@siemens.com

důležité téma se jeví také brzdění dlouhých a těžkých vlaků při jízdě po spádu a při zastavování. Tyto problémy lze vysledovat hned v několika rovinách:

- používání pneumaticky ovládaných třecích (zejména špalíkových) brzd;
- efektivní využití rekuperačního elektrodynamického brzdění;
- vazba brzdění vlaku na činnost vlakového zabezpečovače (do budoucna výhradně ETCS).

2.1 Pneumatické ovládaní brzd

Problematika brzd je velmi komplexní a má přímou vazbu na další oblasti – od podélné dynamiky vlaku, přes hluk a údržbu dvojkolí až po vlakový zabezpečovač. Zcela zásadní otázkou je přitom způsob ovládaní brzd, a to zejména ve vztahu k maximální rychlosti jízdy uvažovaných nákladních vlaků. V současné době je stále ještě standardem nákladní železniční dopravy v Evropě využívání samočinné pneumatické brzdy UIC, jejíž základní parametry jsou definovány ve vyhlášce UIC 540 [2]. Jednoznačnou výhodou brzdového systému UIC je technická kompatibilita vozidel provozovaných ve volném oběhu. Na druhou stranu je však třeba vidět, že pneumatickou samočinnou vlakovou brzdu vynalezl již v roce 1869 tehdy 22letý George Westinghouse a její základní technické principy zůstaly dodnes nezměněny. Byť je použití stlačeného vzduchu nikoliv jen k vyvození brzdné síly, ale i k jejímu analogovému řízení na železnici zejména u nákladních vlaků stále ještě hojně používáno, jde o relikv z 19. století. Ostatně i první vydání zmíněné vyhlášky UIC 540 je svým rokem vydání (1954) již téměř 70 let staré.

Bylo by krajně netaktní dehonestovat Westinghousovo dílo, které zcela zásadním způsobem přispělo k rozvoji bezpečnosti a funkčnosti železniční dopravy. Avšak stejně nerozumné by bylo setrvávat na železnici u používání principů přes 150 let starých. Železnice je patrně posledním oborem lidské činnosti, který využívá k přenosu povelů nikoliv elektrická metalická, resp. rádiová spojení, pracující s rychlostí světla, ale ještě i stačený vzduch, tedy v optimálním případě nejvýše rychlost zvuku. Ta dosahuje v závislosti na klimatických podmínkách hodnoty přibližně 340 m/s. Skutečná rychlost šíření ovládacích povelů pneumatickým brzdovým potrubím (tzv. průrazná rychlost) je přitom ještě o něco nižší (250 až 280 m/s), v porovnání s rychlostí světla tedy o 6 řádů. Nacházíme se tak v situaci, kdy osobní vozy jsou běžně vybaveny wi-fi připojením k internetu, telematické aplikace umožňují on-line sledování polohy a rychlosti přepravovaných zásilek, ale standard ovládaní brzd kolejových vozidel je stále omezen rychlostí zvuku – technikou 19. století.²⁸

Zatímco u všech ostatních pozemních dopravních prostředků (jízdni kola, automobily, tramvaje, metro, ...) jsou přirozeným cílem snažení rychle účinkující brzdy, na železnici je tomu jinak, zejména u nákladních vlaků. Dramatické titulky zpráv o tom, že strojvedoucí ani s pomocí rychlobrzdy nedokázal nákladní vlak

²⁸ Pro zachování korektnosti doplníme, že pneumatické ovládaní brzd se používá i v silniční dopravě, především u návěsů a přívěsů. S ohledem na délku a počet vozidel v soupravách silničních vozidel však zde problémy vyplývající ze zpoždování náběhu brzdného účinku a s projevy podélné dynamiky soupravy – na rozdíl od železnice – prakticky nevznikají.

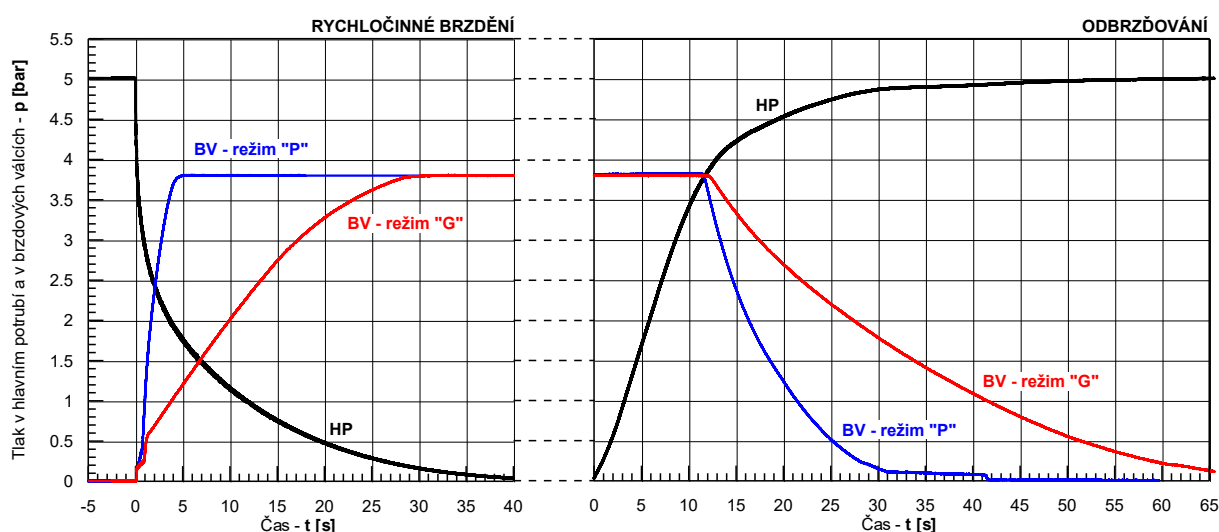
před překážkou zastavit, raději nedoplňujeme pravdivým komentářem, že plný účinek rychločinného brzdění nastal až půl minuty po aktivaci brzdy strojvedoucím. Toto na první pohled zcela protismyslné chování brzd železničních vozidel však má svoji logiku, jež je primárně dána právě nízkou průraznou rychlostí pneumatické brzdy UIC a má co do činění s projevy podélné dynamiky vlaku.

2.2 Podélná dynamika vlaku při brzdění

Pokud u dlouhých nákladních vlaků začínají z důvodu pomalého šíření informace o povelu k brzdění přední vozy brzdit zhruba o 2 až 3 sekundy dříve než vozy zadní, musí být vozovými rozvaděči řízený náběh brzdné síly velmi pozvolný, aby byl okamžitý rozdíl v brzdících silách jednotlivých vozů soupravy vlaku nevelký. Rychlý nárůst brzdné síly vozů v přední části vlaku by totiž mohl vyvolat nebezpečně velký podélný silový ráz. Z toho pak plynou – při stejných statických charakteristikách rozvaděče (tj. v zásadě invertoru) – dvojí dynamické vlastnosti:

- rychlý náběh brzdné síly, použitelný však jen u kratších vlaků. Ty díky rychlému vývoji brzdné síly mohou jezdit při limitované zábrzdě dráze (která musí být u tradičního pojetí železnice kratší než traťová zábrzdě vzdálenost) rychle, neboť dráha ujetá za dobu rychlého náběhu brzdících sil je poměrně krátká;
- pomalý náběh brzdné síly, použitelný i u dlouhých vlaků. Ty však mohou kvůli pomalému vývoji brzdné síly jezdit při limitované zábrzdě dráze (která musí být u tradičního pojetí železnice kratší než traťová zábrzdě vzdálenost) pomalu, neboť dráha ujetá za dobu pomalého náběhu brzdících sil je velmi dlouhá.

Historicky jsou tak zavedeny dva způsoby brzdění – „P“ (osobní, I. způsob brzdění) a „G“ (nákladní, II. způsob brzdění), které se liší právě rychlostí plnění brzdových válců funkcí rozvaděčů, umístěných na jednotlivých vozech, a reagujících na změny tlaku v hlavním potrubí (tj. dobou plnění a vyprazdňování brzdových válců, resp. rychlostí vzniku a zániku brzdné síly na obvodech kol jednotlivých vozidel). Dle vyhlášky UIC 540 činí základní doba plnění brzdového válce 3 až 5 s v režimu „P“, resp. 18 až 30 s v režimu „G“. Ukázky průběhů tlaků v hlavním potrubí a v brzdovém válci při rychločinném brzdění a následném úplném odbrzdění jsou uvedeny na obr. 1. Jde o průběhy naměřené na zkušebním stavu, reprezentujícím kompletní pneumatickou část brzdy 16vozového vlaku, ve společnosti DAKO-CZ, která tento stav poskytla pro měření prováděná v rámci řešení závěrečných studentských prací na DFJP.



Obr. 1: Ukázka časového průběhu tlaku v hlavním potrubí (HP) a v brzdových válcích (BV) prvního vozu při rychločinném brzdění (vlevo) a při následném úplném odbrzdění (vpravo) v režimu brzdění „P“ a „G“.

Výše uvedené skutečnosti mají velmi zásadní dopad na vozbu nákladních vlaků:

- buď musí být krátké (mohou být brzděny v režimu „P“, tedy s rychlejším vývinem brzdě síly), pak mohou jezdit při stanovené traťové zábrzdě vzdálenosti rychle²⁹,
- nebo mohou být dlouhé (musí být brzděny v režimu „G“, tedy s pomalejším vývinem brzdě síly), pak ovšem musí jezdit při stanovené traťové zábrzdě vzdálenosti pomalu⁴.

Pomalejší vývin brzdě síly na jednotlivých vozidlech tedy sice omezuje maximální rychlost vlaku, ale zároveň napomáhá eliminovat podélné dynamické jevy v soupravě vozů, jež by v extrémním případě a za nepříznivých podmínek mohly vést až k přetržení vlaku. Činí-li u vlaku délky 740 m průrazná doba téměř 3 s, znamená to, že v případě brzdění celého vlaku v režimu „P“ může dojít při požadavku na plné provozní brzdění reálně k situaci, kdy první vůz vlaku již brzdí plným brzdícím účinkem, zatímco na posledním voze soupravy teprve začíná narůstat tlak v brzdových válcích. Důsledkem je vznik podélných sil, přenášených mezi jednotlivými vozidly v soupravě přes spřahovací a narážecí ústrojí. Tyto projevy dokáže eliminovat právě režim brzdění „G“, avšak za cenu pomalejšího vývinu brzdě síly, a tím prodloužení zábrzdě drah.

V souvislosti s režimem brzdění „G“ je však dobré připomenout, že stav techniky na železnici v době vzniku prvního vydání vyhlášky UIC 540 byl oproti současnosti značně odlišný. To se týkalo například vybavenosti nákladních vozů brzdou (část vozů řazených v soupravách vlaků nebyla běžně brzdou vybavena

²⁹ Pro lepší představu o omezení stanovené rychlosti nákladních vlaků je možné využít tabulky brzdě procent uvedené v příloze dopravního řádu drah. Např. při zábrzdě vzdálenosti 1 000 m a rozhodném spádu 10 ‰ postačuje 55 brzdě procent pro stanovenou rychlost 90 km/h, je-li vlak brzděn I. způsobem brzdění (v režimu „P“), avšak v případě, kdy je vlak brzděn II. způsobem brzdění (v režimu „G“), bude za jinak stejných podmínek jeho rychlost omezena na 80 km/h.

vůbec), používání stupňovitě neodbrzdovatelných rozvaděčů, resp. – z hlediska podélné dynamiky soupravy ještě méně příznivé – kombinace rozvaděčů stupňovitě odbrzdovatelných a neodbrzdovatelných, omezených možností regulace brzdicího účinku v závislosti na ložení vozu nebo používání prvků vypružení táhlového háku a nárazníků s měkkou charakteristikou a s nízkým absorpčním poměrem apod. I když je dnes situace v mnoha ohledech příznivější, snahy o eliminaci projevů podélné dynamiky se pochopitelně propsaly do provozních předpisů mnohých železničních správ, a to obvykle v podobě pravidla, že hnací vozidlo v čele vlaku a případně i určitá skupina vozů v přední části vlaku musí být od určité celkové hmotnosti vlaku brzděna v režimu „G“, a to i tehdy, když je zbytek soupravy brzděn v režimu „P“. Typicky jde o nákladní vlaky s celkovou hmotností vyšší než 1200 t, kde je požadavek, aby lokomotiva a prvních pět vozů bylo brzděno v režimu „G“ (tzv. „dlouhá lokomotiva“, resp. „lange Lok“). Takové ustanovení lze najít jak ve směrnici KVs3-B-2010 ČD Cargo [3], tak např. i v provozních předpisech švýcarských SBB [4]. Ze stejného důvodu – tj. za účelem omezení podélných dynamických jevů v soupravě se všemi důsledky, které z existence podélných sil v soupravě vlaku vyplývají (viz též článek [1]) – lze v předpise [5] najít ustanovení, které u nákladních vlaků ve Švýcarsku obecně dovoluje při jízdě odbočnými větvemi výhybek pro rychlost do 40 km/h (s výjimkou nebezpečí) brzdit snížením tlaku v hlavním potrubí nejvýše o 0,5 baru. Používání „lange Lok“ tedy pomáhá předcházet tomu, aby se při požadavku na intenzivnější brzdění delšího vlaku zadní část vlaku natlačila na jeho přední část, u níž je náběh brzdy rychlejší. Paradoxně však není ani používání „lange Lok“ z hlediska namáhání spřahovacího ústrojí optimální, neboť na rozhraní obou částí vlaku (přední – brzděná v režimu „G“ – a zadní – brzděná v režimu „P“) může vyvolat poměrně velké tahové síly. Například výsledky simulačních výpočtů (viz [6]), ukazují, že již při brzdění ideální patnáctivozové homogenní soupravy nákladního vlaku o hmotnosti 1 200 t přesahuje v průběhu rychlostního brzdění z počáteční rychlosti 100 km/h špičková hodnota síly v kritickém spřahovacím ústrojí 250 kN. Negativní důsledky používání režimu „G“ v oblasti prodloužení zábrzdňových drah, a tedy i snížení dovolené rychlosti jízdy, jsou však jednoznačné.

Bylo by chybou se domnívat, že železnice zvládne převzít ze silnic 75 % přepravních výkonů nákladní automobilové dopravy, tak jak jí ukládá Sdělení Evropské komise Evropskému parlamentu a radě COM(2019)640 „Green Deal“, když bude umět vozit jen krátké vlaky rychle a dlouhé vlaky pomalu. Musí se naučit vozit i dlouhé vlaky rychle. To ovšem se samočinnou pneumatickou brzdou UIC z principu nejde. Tak se s ní železnice po 150 letech poctivé služby bude muset rozloučit stejně důstojně, jako se zhruba před 50 lety rozloučila s parními lokomotivami. Není čas na emoce, je potřeba sloužit potřebám společnosti. Přechod na digitální automatické spřáhlo – a spolu s tím i na elektropneumatickou brzdu – je k tomu vhodnou příležitostí.

2.3 Nekovové brzdové špalíky

Samostatnou kapitolu v rámci problematiky brzdění nákladních vlaků tvoří používání nekovových brzdových špalíků. Nástup nekovových brzdových špalíků

namísto původně používaných litinových brzdových špalíků úzce souvisí se snahami o snižování hladiny intenzity hluku, vyzařovaného za jízdy vozidla, resp. vlaku. Toto téma úzce souvisí se zvyšováním rychlosti jízdy vlaků. Akustický výkon hluku valení, který je v oblasti středních rychlostí dominantní složkou hluku produkovaného jízdou vlaku, roste se třetí mocninou rychlosti jízdy. Tedy při zvýšení rychlosti nákladních vlaků na dvojnásobek (například z 50 km/h na 100 km/h, což je z důvodu jízdy nákladních vlaků ve sledu s vlaky osobní přepravy zejména na tranzitních koridorech z kapacitních důvodů nutností) dochází v okolí železnice ke zvýšení hladiny akustického tlaku hluku na osminásobek, tedy o 9 dB. Výhodou nekovových brzdových špalíků oproti špalíků litinovým je fakt, že nezdrsňují jízdní plochu kola, čímž významně přispívají ke snížení hluku vznikajícího při odvalování kola po kolejnici (běžně se uvádí snížení hladiny intenzity hluku přibližně o 8 až 10 dB(A), tedy snížení akustického výkonu hluku zhruba na jednu osminu). Proto je náhrada brzd zdrsňujících povrch kol železničních vozidel litinovými špalíky brzdami nezdrsňujícími povrch kol (kotoučové brzdy nebo brzdy s nekovovými špalíky) zásadní podmínkou akceptace železnice obyvatelstvem a přírodou v jejím okolí. Kromě toho přispívají nekovové brzdové špalíky ke snížení odporu z valení (výsledky výběhových zkoušek prováděných se současnými vozidly vykazují pokles měrného valivého odporu přibližně o 30 % oproti dříve uvažovaným vzorcům – viz např. [7]) a s tímto odporem související spotřeby energie k dopravě vlaku. Hluk je jednou z forem energie, a i její vytvoření zvyšuje nároky na zdroje energie.

Kromě skutečnosti, že nákladní vozy s litinovými brzdovými špalíky neplní požadavky TSI NOI [8], závazné pro nová vozidla, a tudíž je ani nelze uvést na trh, tak některé země EU aktuálně (například Německo od roku 2021) zcela zakazují vjezd hlučných nákladních vozů na své území. Postupné zpřísňování limitních hodnot TSI pro hluk vyzařovaný kolejovými vozidly je však dlouhodobý proces a probíhá již více než 15 let (viz limitní hodnoty uvedené v Rozhodnutí Komise 2006/66/ES). Tento trend je však pochopitelný a logický. Má-li železnice v budoucnosti zajišťovat významnou část přepravních výkonů, nesmí být obyvatelstvem vnímána negativně z důvodu, že je hlučná. Obzvláště v situaci, kdy současný stav techniky umožňuje kombinací opatření na straně kolejových vozidel (litinovými špalíky nezdrsňovaná jízdní plocha kol, hlukově optimalizovaná hnací vozidla) i železniční infrastruktury (elektricky svařovaná a preventivně broušená bezстыková kolej s pružným upevněním) výrazné snížení vyzařované hladiny intenzity hluku.

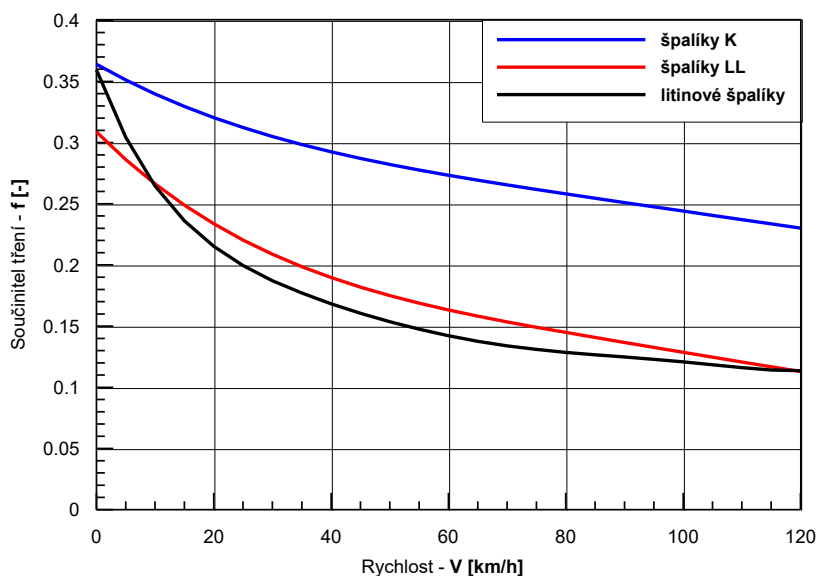
V důsledku silného tlaku na snižování hluku produkovaného jízdou železničních vozidel jsou nekovové brzdové špalíky aplikovány nejen u nových nákladních vozů, ale také u starších, již provozovaných vozů. Proto vznikly a jsou rozšířené dvě základní kategorie nekovových brzdových špalíků:

- špalíky typu „K“ s vysokým součinitelem tření, které jsou instalovány na nové nákladní vozy, neboť mají vyšší a s rychlostí méně klesající součinitel tření;

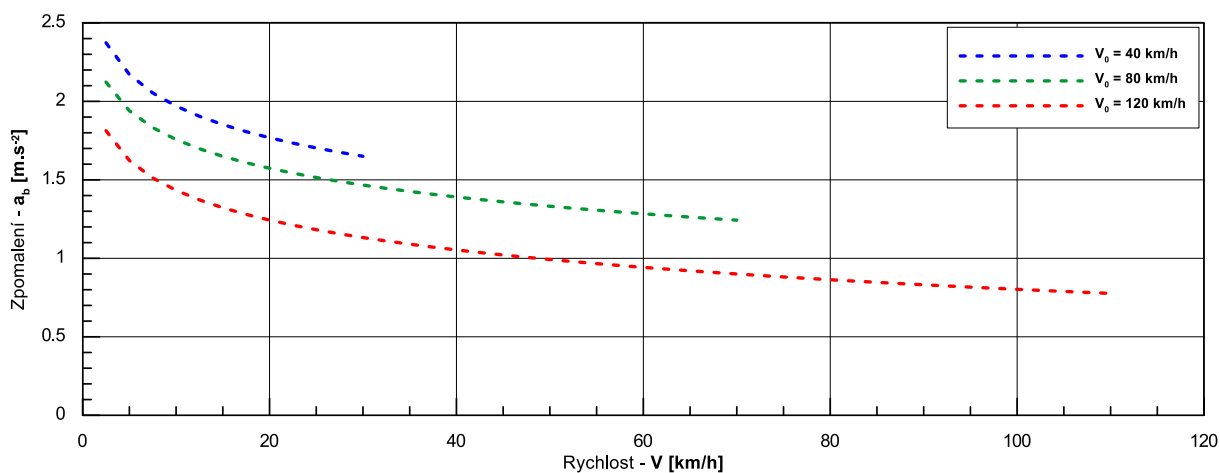
- špalíky typu „LL“ s nízkým součinitelem tření, které záměrně mají nižší a s rychlostí strměji klesající součinitel tření, podobně jako litinové brzdové špalíky, s cílem jimi nahradit litinové brzdové špalíky na stávajících vozech bez nutnosti provádět (ale také schvalovat) úpravy pneumatické či mechanické části brzdy.

Graf na obr. 2 slouží k demonstraci skutečnosti, že jmenovité průběhy součinitele tření se pro různé typy brzdových špalíků odlišují, a to i v případě litinových a „LL“ špalíků, které by měly být (resp. se obecně má za to, že jsou) vzájemně zaměnitelné. Nutno však vzít v úvahu, že jde jen o směrné hodnoty, neboť součinitel tření není funkcí jediné proměnné hodnoty (rychlosti), ale jde o funkci více proměnných (rychlost, teplota, měrný tlak, ...). Zejména teplota brzdového špalíku, daná časovým průběhem brzdového výkonu, má na aktuální velikost součinitele tření významný vliv. Proto se v praxi při rozličných provozních podmínkách dosahované hodnoty součinitele tření odlišují od hodnot zjištěných při nominálních podmínkách při stendových zkouškách. To platí všeobecně pro litinové i nekovové brzdové špalíky. Z těchto rozdílů vyplývají některé problémy, které se v provozu objevují a mezi které patří opět i vznik podélných sil v soupravě v případě, kdy jsou v ní zastoupené vozy brzděné různými typy brzdových špalíků.

Dalším specifickým nekovových brzdových špalíků je nižší účinek zajišťovací (ruční) brzdy. Absence výrazné špičky třecí charakteristiky při nulové rychlosti v porovnání s litinovými špalíky (což je příznivé pro předcházení tlakovým rázům a smyku kol těsně před zastavením) totiž v případě nekovových špalíků znamená i adekvátně nižší brzdicí sílu k zajištění stojících vozů. Odlišnou třecí charakteristikou je ostatně odůvodněna i změna, v rámci které se od roku 2021 brzdicí účinek zajišťovací brzdy vyjadřuje již jen pomocí zajišťovací síly a nikoliv brzdicí vahou, jak tomu bylo dříve (viz např. metodický pokyn DÚ [10]). Dalším problémem je u nekovových brzdových špalíků také tendence k namrzání v zimním období. Nekovové špalíky totiž vlivem špatné tepelné vodivosti nedosáhnou při brzdění tak vysokých teplot jako špalíky litinové, a tudíž se na nich roztátý sníh nemusí stihnout před ochladnutím odpařit. To může mít při delším zastavení za následek přimrznutí brzdového špalíku ke kolu. Namrznutí odlehlého brzdového špalíku naopak představuje bezpečnostní riziko, jelikož materiálová dvojice ocel–led vykazuje velmi nízký součinitel tření, a tak nemusí vytvořit třením teplo potřebné k roztátí ledu.



Obr. 2: Jmenovitý průběh součinitele tření mezi brzdovým špalíkem (2xBgu) a jízdni plochou kola pro různé materiály brzdových špalíků (litinové, „LL“, „K“) při uvažování přitlaku na špalík o hodnotě 40 kN; převzato z článku [9].



Obr. 3 Aproximace pozorovaného průběhu zpomalení nákladního vozu vybaveného „LL“ špalíky při rychločinném brzdění z různých počátečních rychlostí (40, 80, 120 km/h).

Provozní zkušenosti rovněž poukazují na to, že brzdící účinek vozu vybaveného „LL“ špalíky, který lze charakterizovat závislostí zpomalení na rychlosti, významným způsobem závisí na počáteční rychlosti. Tento jev je zřejmě způsoben závislostí součinitele tření nekovových brzdových špalíků na teplotě a je zde demonstrován na obr. 3 průběhy zpomalení pozorovanými při rychločinném brzdění nákladního vozu z různých počátečních rychlostí. Zatímco při brzdění z vyšších rychlostí (tj. při scénáři používaném při brzdových zkouškách nákladních vozů) se brzdové špalíky stihnou třením dostatečně zahřát a průběh zpomalení na obr. 3 odpovídá jmenovitému průběhu součinitele tření „LL“ špalíků (uvedenému např. na obr. 2), při brzdění z nižších počátečních rychlostí, kdy vzniká účinkem tření podstatně méně tepla (brzdou je mařena menší kinetická energie vlaku), je zjevně celá třecí charakteristika položena výše. Popisovaný jev pak má za následek především náchylnost vozidla ke

smyku při intenzivnějším brzdění z nízkých počátečních rychlostí, což zvyšuje riziko vzniku plochých míst na jízdni ploše kol.



Obr. 4 Charakteristické projevy působení nekovových („K“ a „LL“) brzdových špalíků na kola: nápeče (vlevo) a projetý žlábek (vpravo); převzato z prezentace [11].

Obr. 5 Úplný lom desky kola; převzato ze zprávy [12].

Zásadním tématem jsou účinky nekovových brzdových špalíků na jízdni plochu kol. Zatímco litinový brzdový špalík dobře odvádí teplo vzniklé při brzdění třením o jízdni plochu kola, při brzdění kol nekovovými brzdovými špalíky je intenzivněji tepelně namáhán právě věnec a disk kola. Jak je ukázáno na obr. 4, může mít zvýšené tepelné namáhání kol velmi závažné důsledky, mezi které patří vznik trhlin na kolech, tvorba nápečí na jízdni ploše kol a specifický způsob opotřebení kol, kdy se na jízdni ploše kol tvoří tzv. žlábek. Všechny tyto problémy se pochopitelně netýkají pouze dlouhých vlaků, nýbrž problematiky brzdění kol nekovovými brzdovými špalíky obecně. Zvýšenou míru poškození kol nekovovými špalíky ostatně dokládají i provozní zkušenosti a v souvislosti s údržbou kol brzděných „LL“ špalíky vydala UIC tzv. příručku pro používání kompozitních špalíků [13], kde jsou zakotveny (zprísňené) požadavky na sledování tvaru a stavu jízdni plochy kol. Též je zde požadováno, aby na tato kola byl soustružen jízdni obrys s okolkem ztenčeným alespoň na hodnotu 30,5 mm, a mezní hodnota výšky okolku těchto kol je omezena na 32 mm. V konečném důsledku tak používání nekovových brzdových špalíků znamená zvýšení nákladů na provoz a údržbu. Ukazuje se přitom, že prostá výměna litinových špalíků za „LL“ špalíky je bez provedení zkoušek a úprav přestrojované řady vozů problematická.

Uvedené důsledky používání nekovových brzdových špalíků jsou přitom závažné. Tepelně iniciované trhliny mohou vést až k úplným lomům disků kol, a tedy k vykolejení vozidla (ukázka úplného tepelně iniciovaného lomu desky kola je uvedena na obr. 5). Vydroleniny a nápeče na jízdni ploše kol zase vyvolávají za jízdy extrémní silové působení vozidla na kolej. A projetý žlábek v jízdni ploše kol (za pozornost přitom stojí fakt, že evropská norma EN 15313 [14] v současné době připouští v provozu kola se žlábkem hloubky až 2 mm!) vyvolává změny v charakteristikách kontaktní geometrie dvojkolí–kolej, což má za následek jak zvýšené degradační působení jedoucího vozidla na srdcovky výhybek, tak i vyšší

náchylnost vozidla k neklidné jízdě v důsledku nárůstu ekvivalentní konicity (viz též [15]).

Řešením problému s tepelným ovlivňováním materiálu věnců kol při splnění požadavku, aby nebyla brzděním zdrsňována jízdní plocha kol, je tak používání kotoučové brzdy. I kotoučové brzdy však mají svá negativa, mezi něž patří zejména nezanedbatelný nárůst nevypružených hmot v pojezdu vozidla (a tudíž i vyšší úroveň poškozujících účinků jízdy vozidla na kolej) nebo fakt, že při brzdění nedochází k očišťování jízdní plochy kol (nižší dosažitelný součinitel adheze, vyšší náchylnost dvojkolí ke smyku). Zejména v souvislosti se zvyšováním rychlosti jízdy nákladních vlaků se však třecí brzdy stávají velmi namáhaným elementem a kotoučové brzdy patrně představují – i přes nastíněné dílčí nevýhody – rozumný kompromis k zajištění tichého, bezpečného a spolehlivého provozu nákladních vozů.

2.4 Rekuperační elektrodynamické brzdění

Moderní elektrické lokomotivy v současnosti běžně disponují vysoce výkonnou elektrodynamickou brzdou (EDB), která v režimu rekuperace navrácí elektrickou energii zpět do trakčního vedení, díky čemuž je možné docílit úspory energie, a snížit tak energetickou náročnost dopravy. Potenciál úspor energie elektrodynamickým brzděním je přitom značný. Proto TSI ENE ukládá správci infrastruktury povinnost odebírat od brzdících vozidel rekuperovanou energii:

- u střídavých (AC) napájecích systémů vždy. Rekuperovaná energie je prioritně využita ostatními vlaky a její přebytek je přes trakční napájecí stanici předáván zpět do distribuční sítě;
- u stejnosměrných (DC) napájecích systémů do výše okamžitého výkonu využitelného ostatními vlaky.

Tento rozdílný přístup k AC a DC napájení má tři logické důvody:

- jak tradiční technologie transformátorových AC trakčních napájecích stanic, tak i technologie měničových AC trakčních napájecích stanic zvládají tok energie oběma směry (z distribuční sítě do trakční sítě i z trakční sítě zpět do distribuční sítě);
- běžné (diodové) DC trakční napájecí stanice nezvládají tok energie oběma směry (umí přenášet elektrickou energii z distribuční sítě do trakční sítě, nikoliv však zpět z trakční sítě do distribuční sítě);
- přenosová schopnost trakčního vedení 3 kV DC je v poměru druhých mocnin napětí, tj. 69krát, menší než přenosová schopnost trakčního vedení 25 kV 50 Hz, tedy i samotný přenos energie mezi vlaky trakčním vedením 3 kV je omezen jen na nevelké vzdálenosti (viz téma podélného úbytku napětí).

Uvedené skutečnosti pak mají tyto konsekvence:

- AC trakční vozidla nepotřebují brzdové odporníky (proč mařit elektrickou energii v odporníku, když ji lze předat k využití jiným vozidlům a její přebytek zpět do distribuční sítě);

- DC trakční vozidla potřebují brzdové odporníky, neboť rekuperovanou energii lze vlivem velkého podélného úbytku napětí na trakčním vedení předávat k využití pouze blízkým vozidlům, a nelze ji předávat přes usměrňovač v trakční napájecí stanici (měnič) zpět do distribuční sítě;
- úspory energie rekuperací jsou na AC systémech vyšší než na DC systémech.

Těmto fyzikálním zákonitostem odpovídá i aktuální vývoj na české železnici. Na jaře roku 2021 se Správě železnic úspěšně podařilo dohodnout s distributory elektrické energie (E.ON, PRE, ČEZ) na odběru přebytků rekuperované elektrické energie z trakčních napájecích stanic 25 kV zpět do distribuční soustavy 3 × 110 kV. Nebylo to snadné téma, má řadu závažných technických, ekonomických i právních aspektů, akce trvala roky. Ale povedlo se, rekuperace již je povolena na prakticky celé síti elektrifikovaných železnic v ČR. Díky tomu dnes přináší rekuperace v každodenním provozu české železnice velmi významné energetické úspory. Dopravci navíc postupně vyřazují staré elektrické lokomotivy, které rekuperovat neuměly, a nahrazují je novými trakčními vozidly, u kterých je rekuperace standardem. Navíc přišla úspora energie rekuperací v době podstatného růstu cen energií všeho druhu, což ji zhodnocuje i finančně.

S těmito fyzikálními zákonitostmi pochopitelně souvisí i prozíravé strategické rozhodnutí Centrální komise Ministerstva dopravy ČR z prosince roku 2016 o přechodu české železnice na jednotný (střídavý) napájecí systém 25 kV, které již je postupně uváděno v život (viz elektrifikaci železničních tratí i na severu ČR ekonomicky a energeticky efektivním systémem 25 kV a postupnou konverzi výkonově nedostačujícího systému 3 kV na systém 25 kV, započatou v úseku Nedakonice–Říkovice).

Elektrodynamické brzdění umožňuje nahradit část účinku třecích brzd (tedy neproduktivní proměny kinetické či potenciální energie vlaku v teplo) proměněním kinetické či potenciální energie vlaku v elektrickou energii s cílem tuto dále využívat. U vlaků osobní přepravy spočívá hlavní energetický přínos rekuperačního elektrodynamického brzdění zejména v zastavovacím brzdění regionálních (často zastavujících) vlaků. Naproti tomu u nákladních vlaků je velmi významné spádové rekuperační brzdění. A to jak z důvodů energetických, tak i z důvodů tepelných. Téma tepelného namáhání kol, způsobeného dlouhodobým spádovým třecím brzděním, je u nákladních vlaků velmi zásadní (viz též poznámky k účinkům nekovových špalíků v odst. 2.3). Vlivem vysoké hmotnosti na dvojkolí (až 22,5 t) jsou totiž kola nákladních vozů zahřívána špalíkovou brzdou značně vysokým výkonem. Například při jízdě nákladního vlaku po spádu 16 ‰ ustálenou rychlostí 90 km/h vytváří každé kolo mechanicky brzděného čtyřnápravového vozu o hmotnosti 90 t tepelný výkon cca 37 kW. Z tohoto důvodu je aplikace elektrodynamického brzdění významným přínosem. Oproti tomu nižší význam zastavovacího rekuperačního brzdění je u nákladních vlaků dán tím, že vzdálenost míst zastavení nákladních vlaků je podstatně delší než u regionálních osobních vlaků, a poměr hmotnosti lokomotivy (a tedy i jejího brzděného silového účinku) k celkové hmotnosti vlaku je nízký.

Téma efektivního využívání rekuperačního elektrodynamického brzdění souvisí také s problematikou projevů podélné dynamiky vlakových souprav. Brzdí-li elektrodynamicky hnací vozidlo v čele vlaku, je s tím spojen vznik podélných tlakových sil v soupravě, přenášených mezi sousedními vozidly přes nárazníky (vozy jsou gravitací či setrvačností natlačovány na brzdící hnací vozidlo v čele vlaku). A naopak, elektrodynamicky brzdící postrková lokomotiva plní de facto funkci „potahu“ – její brzdná síla je v soupravě přenášena přes spřahovací ústrojí jako tahová. Situace je tak zcela analogická k vyvíjení tažných sil vlakovou a postrkovou lokomotivou (viz první díl tohoto pojednání [1]), avšak znaménka podélných sil jsou v tomto případě opačná. A vzhledem ke skutečnosti, že působení tlačných sil v soupravách může prostřednictvím tření na náraznicích negativně ovlivňovat příčné silové působení mezi vozidlem a kolejí, musí být maximální brzdná síla EDB hnacího vozidla v čele vlaku omezena. Moderní čtyřnápravové elektrické lokomotivy tak například umožňují brzdění EDB silou až 240 kN, což je přesně hodnota odpovídající podélné tlakové síle, vůči jejímuž působení musí (byť v podmínkách extrémních směrových poměrů – zkušební úsek je tvořen dvojicí protisměrných oblouků o poloměru 150 m) podvozkové nákladní vozy v souladu s požadavky normy ČSN EN 15839 [16] prokázat odolnost (nesmí vybočit z kolejového kanálu). Mají-li být k dopravě dlouhých (resp. těžkých) nákladních vlaků využívány lokomotivy ve vícenásobné trakci, tak se z hlediska elektrodynamického brzdění takových vlaků, resp. přenosu tím vyvolaných podélných sil v soupravě, jeví jako výhodnější využití druhé lokomotivy právě na konci vlaku (vlak je působením EDB postrkové lokomotivy natahován). To je paradoxně v kontrastu se situací, kdy je nutné vlak dopravit do stoupání, kde postrková lokomotiva (obsazená druhým strojvedoucím) naopak podélné tlačné síly v soupravě vyvolává.

2.5 Vazba brzdění vlaku na činnost vlakového zabezpečovače

Již při získávání prvních provozních zkušeností s jednotným evropským zabezpečovačem ETCS na české železnici se ukázalo, že zejména v případě vlaků brzděných druhým způsobem brzdění (tedy v režimu „G“) je problematické přiblížit se za přijatelný čas na přijatelnou vzdálenost ke konci oprávnění k jízdě (tzv. EoA – *End of Authority*). K cíli je nutno dojíždět velmi pomalu, aby nedošlo k nežádoucímu zásahu zabezpečovače (aktivace rychločinného brzdění). Schopnost strojvedoucího (ale i automatizačního zařízení) regulovat brzdný účinek samočinné brzdy ve smyslu snižování úrovně brzděného zpomalení je však v režimu „G“ silně limitována zejména dobou vyprazdňování brzdových válců (viz též obr. 1). Proti požadovanému snižování brzděného účinku však působí i průběh součinitele tření mezi brzdovými špalíky a jízdni plochou kol, který s klesající rychlostí naopak roste. Tento problém se do určité míry týká i vlaků brzděných prvním způsobem brzdění (v režimu „P“) a obecně souvisí jak s dojížděním čela vlaku ke konci vlakové cesty, tak s brzděním k místu začátku omezení traťové rychlosti. Jako problematické se tak jeví především tyto provozní scénáře:

- je potřeba s dlouhým (nákladním) vlakem zastavit na koleji, jejíž užitná délka je jen o málo větší než délka vlaku;

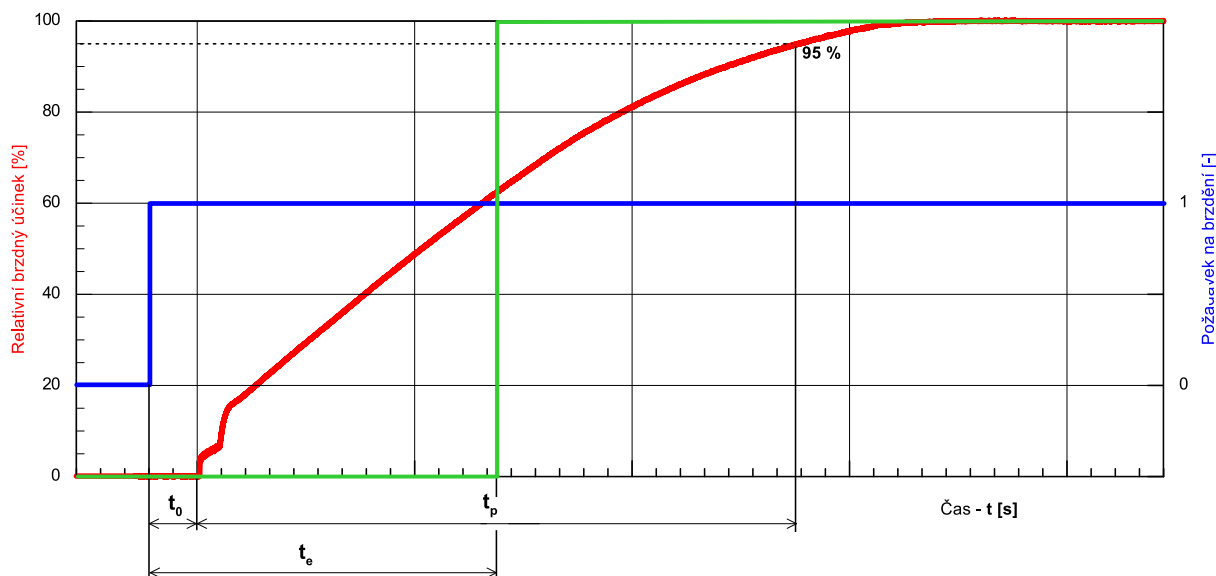
- je potřeba přesně zastavit s (osobním) vlakem u nástupiště v těsné blízkosti konce vlakové cesty (typicky jde o půlená nástupiště pražského hlavního nádraží či o nádraží Masarykovo).

Výše uvedený problém není nový, na železnici již je zhruba sto let znám a řešen v souvislosti s vlakovými zabezpečovači kontrolujícími brzdění před koncem vlakové cesty (například PZB). V podmínkách české železnice doposud nebyla možnost se s tímto tématem prakticky setkat, neboť stávající národní vlakový zabezpečovač třídy B systému LS – na rozdíl od ETCS – průběh brzdění vlaku před místem požadovaného zastavení nekontroluje.³⁰

Podstatou problému je prodlužování zábrzdne dráhy v důsledku časového zpoždění mezi vydáním povelu k brzdění a skutečným účinkem brzdy. Toto časové zpoždění je u vlaků brzděných samočinnou pneumatickou brzdou UIC velmi dlouhé, zejména v režimu „G“. Situaci komplikuje i zjednodušený způsob, jakým se tradičně k výpočtu zábrzdne dráhy vlaku přistupuje. Skutečný průběh postupného nárůstu brzdneho účinku (který může být vyjádřen buď tlakem vzduchu v brzdových válcích, nebo přímo jako brzdne síla, případně odpovídající brzdne zpomalení) je zvykem nahrazovat skokovým náběhem brzdneho účinku v polovině doby náběhu brzdy. Toto zjednodušení je demonstrováno na obr. 6, kde je modře vyznačeno zadání požadavku na brzdění, červená čára reprezentuje průběh skutečného brzdneho účinku a zeleně je vyznačená náhradní skoková funkce. Čas t_0 , který uplyne od zadání požadavku na brzdění do okamžiku počátku nárůstu brzdneho účinku, bývá označován jako doba prodlevy a souvisí s reakcí brzdového systému (viz též průraznou rychlost). Doba plnění brzdových válců t_p ohraničuje samotný postupný náběh brzdneho účinku a měří se od okamžiku počátku nárůstu brzdneho účinku do okamžiku dosažení 95 % jeho požadované (maximální) hodnoty. Používané zjednodušení pak pracuje s pojmem ekvivalentní doba náběhu brzdy t_e , která se skládá z doby prodlevy a poloviny doby náběhu, tedy:

$$t_e = t_0 + \frac{t_p}{2}.$$

³⁰ Pro upřesnění – v případě mobilní části národního VZ typu MIREL ke kontrole rychlosti při brzdění určitým zjednodušeným způsobem dochází a mobilní část VZ dokonce generuje brzdne křivky. Kvalita generovaných brzdnych křivek je však obvykle nízká, což je dáno absencí informace o skutečném umístění návěstidel – traťová část národního VZ typu LS totiž neposkytuje mobilní části pro tyto účely potřebné informace.



Obr. 6: Náběh brzdy – zjednodušení výpočtu zábrzdné dráhy náhradou skutečného průběhu brzdného účinku (červeně) skokovou funkcí (zeleně).

U prakticky okamžitě působících brzd s mechanickým, hydrostatickým či elektrickým ovládním (jízdní kola, automobily, tramvaje, metro, ...) problém se zpožděným účinkem brzd nevzniká, resp. nepůsobí tak významně. Avšak u záměrně pomalu působících pneumaticky ovládaných samočinných brzd železničních vozidel jde o velmi závažné téma. Výpočet zábrzdné dráhy (podobně jako její validace brzdovou zkouškou) totiž předpokládá, že brzdná dráha má pouze dvě komponenty:

- jízda ustálenou rychlostí po dobu časového zpoždění od okamžiku aktivace brzdy ovladačem (zadání požadavku na brzdění) do okamžiku působení účinku brzdy;
- vlastní brzdění (jízda nerovnoměrnou rychlostí – proces decelerace).

Zábrzdnou dráhu l_z z počáteční rychlosti v_0 tak můžeme stanovit jako součet těchto komponent:

$$l_z = v_0 \cdot t_e + \frac{v_0^2}{2 \cdot a_s},$$

kde t_e je ekvivalentní doba náběhu brzdy (tedy čas, kdy je předpokládána jízda prakticky nebrzděného vlaku konstantní výchozí rychlostí) a a_s je střední hodnota zpomalení při vlastní deceleraci. Tato skutečnost má závažné důsledky. Existuje-li nenulová doba zpoždění účinku brzdy, tak i v případě nekonečně velkého zábrzdného zpomalení (tzn., že druhá komponenta zábrzdné dráhy podle výše uvedeného vztahu je nulová, zatímco ta první nikoliv) vede výpočet diferenciální rovnice brzdného procesu k řešení doby zastavení ve tvaru:

$$t = t_e \cdot \ln \frac{v}{v_0} = t_e \cdot \ln \frac{l}{l_0},$$

kde význam jednotlivých veličin je následující:

- t ... doba zastavování,

- t_e ... doba zpoždění mezi zadáním povelu k brzdění a uskutečněním brzdného účinku, resp. ekvivalentní doba náběhu brzdy,
- v ... počáteční rychlost,
- v_0 ... cílová rychlost,
- l ... počáteční vzdálenost,
- l_0 ... cílová vzdálenost.

Matematika tak jasně ukazuje, že při nulové vzdálenosti k cíli, resp. při nulové cílové rychlosti, zastavuje vlak se zpožděným účinkem brzd sice v požadovaném místě, ale v nekonečném čase. Opatrně se blíží k cíli čím dál nižší rychlostí, neboť stále počítá s časovou rezervou nutnou pro aktivaci časově zpožděného brzdění.

V zemích, kde již zhruba před sto lety (například v Německu při zavádění PZB Indusi na parních lokomotivách) řešili kontrolu brzdění vlaku vlakovým zabezpečovačem, toto téma seznali a našli kompromis v zavedení uvolňovací rychlosti ($v_0 > 0$) a prokluzové vzdálenosti ($l_0 > 0$). Z toho plynoucí zbytkové riziko se ukázalo jako přijatelné a železnice je tímto způsobem sto let provozována. Děje se tak za cenu určité ztráty využitelné délky staničních kolejí, protože konec vlakové cesty (např. hlavní návěstidlo) má určitou rezervu (prokluzovou vzdálenost) vůči bodu ohrožení (např. námezník). Vůbec není podstatné, že do ČR přišlo toto téma až nyní, s jednotným evropským vlakovým zabezpečovačem ETCS. Podstatné je, že se toto téma týká i české železnice, která má tradičně řešená kolejiště železničních stanic bez prokluzových vzdáleností.

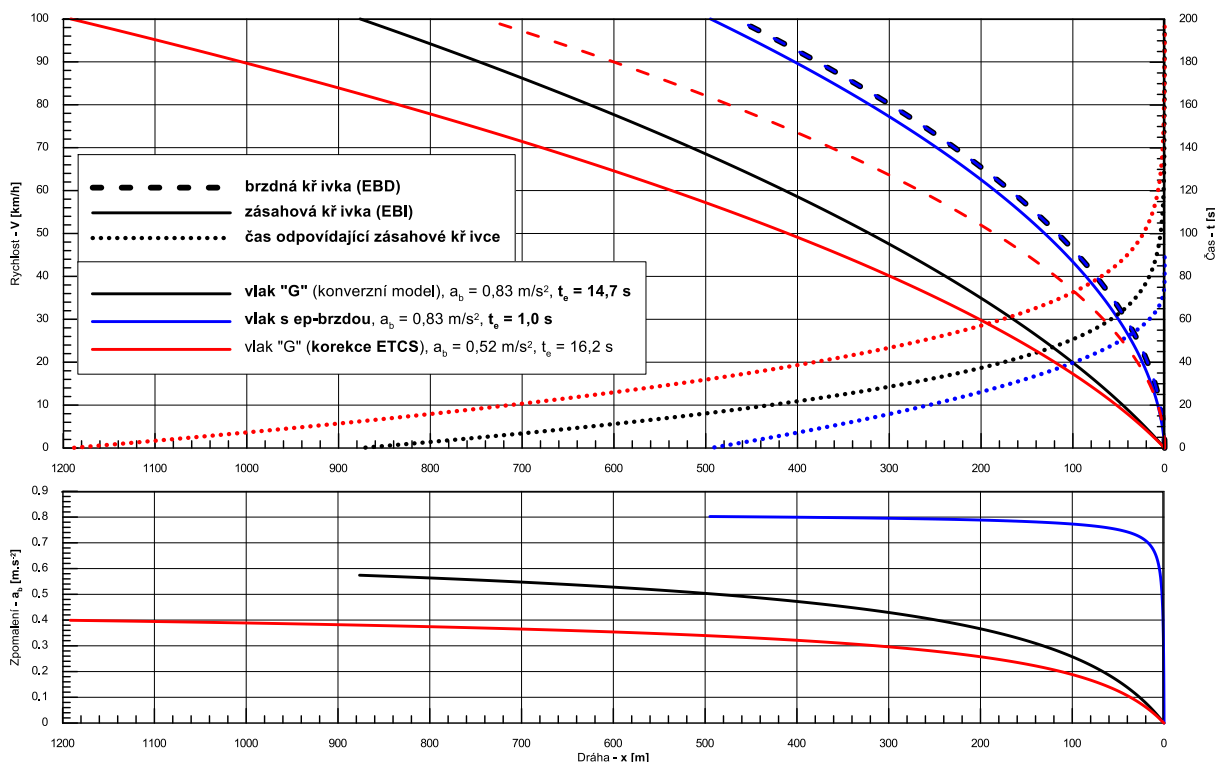
Zásadní řešení problému zastavování vlaků před koncem vlakové cesty přináší zrychlení účinku brzd. Inspiraci pro železnici lze nalézt velmi blízko, v každodenním provozu linky C pražského metra. Již přes dvacet let tam na konci nástupiště, přesně u rysky v úrovni bočního okna kabiny strojvedoucího, zastavují vlaky metra ve špičce každé dvě minuty. Jsou provozovány pod dohledem vlakového zabezpečovače (ATP) typu PA 135 s kontrolu brzdění, která pracuje na velmi podobném principu jako kontrola brzdění u vlakového zabezpečovače ETCS. Základním bezpečnostním prvkem vozidel metra totiž není záměrně pomalu účinkující pneumatická samočinná brzda, ale elektricky ovládaná rychle působící pneumatická přímočinná brzda. Vozidla metra nepotřebují půl minuty k vyvinutí plného brzdného účinku, jako nákladní vlaky na železnici. Umí proto brzdit ihned, podobně jako třeba jízdní kolo s brzdami bezprostředně ovládanými lankou.³¹ Tedy téma přesného a časově nenáročného

³¹ Pro úplnost doplňme, že dalším faktorem, který vedle rychle účinkujících brzd vozidel v podmínkách provozu pražského metra linky C přispívá k umožnění krátkého intervalu, je princip chování traťové části VZ typu PA 135 a související logika stavědla. V případě, kdy se za nástupištěm stanice nachází výhybka, musí být tato výhybka po stanovenou dobu (pokrývající dobu zastavování vlaku metra ve stanici) pod závěrem v přímém směru. Tento princip zde byl použit pro potřeby zkrácení následných intervalů již u původního zabezpečovače typu ARS. Příslušná návěstidla jsou označena tabulkou s vykřičníkem, což znamená, že informace přenášená vlakovým zabezpečovačem může být v daném případě více povolující, než odpovídá návěsti návěstidla. V kontextu fungování vlakového zabezpečovače typu ETCS tak jde o určitou obdobu aplikace uvolňovací rychlosti, resp. prokluzové vzdálenosti.

zastavování vlaků (především dlouhých nákladních, brzděných v režimu „G“), které je klíčovou otázkou kapacity (propustné výkonnosti) dráhy, není ve své podstatě tématem ETCS, ale tématem použití techniky pneumatických brzd kolejových vozidel se záměrně časově zpožděným pneumatickým ovládním, nebo použití techniky pneumatických brzd kolejových vozidel s okamžitým elektrickým ovládním. I elektricky ovládané pneumatické brzdy jsou bezpečné, samočinnost je u nich zajištěna nikoliv přerušením pneumatického obvodu, ale přerušením elektrického obvodu.

Fatální důsledky vlivu zpoždění účinku brzd na dobu zastavování vlaku lze demonstrovat jednoduchým numerickým řešením diferenciální rovnice brzdění vlaku. Na obr. 7 jsou znázorněny dráhové průběhy vybraných veličin pro vlaky se shodným statickým účinkem brzd, který jim poskytuje konstantní brzdné zpomalení $0,83 \text{ m/s}^2$. Tato hodnota vyplývá z použití konverzního modelu, který slouží při aplikaci metody lambda ke zpětnému přepočtu brzdících procent vlaku na předpokládanou hodnotu brzdného zpomalení (a pro daný režim brzdění také pro výpočet předpokládané ekvivalentní doby náběhu brzdy), a vychází z těchto vstupních parametrů:

- režim brzdění: „G“;
- brzdící procento vlaku: 100 %;
- maximální (počáteční) rychlost vlaku: 100 km/h;
- délka vlaku: 740 m.



Obr. 7: Průběh kinematických veličin v závislosti na ujeté dráze při brzdění vlaku k cíli pro tři modelové nákladní vlaky:

- černě: nákladní vlak délky 740 m brzděný zpomalením $0,83 \text{ m/s}^2$ s pneumatickou samočinnou brzdou UIC v režimu „G“ s ekvivalentní dobou náběhu brzdy 14,7 s ($\lambda = 100 \%$);
- červeně: nákladní vlak délky 740 m brzděný zpomalením $0,83 \text{ m/s}^2$ s pneumatickou samočinnou brzdou UIC v režimu „G“ s ekvivalentní dobou náběhu brzdy 14,7 s ($\lambda = 100 \%$), avšak pro nejistotu (nedůvěryhodnost) zpětného výpočtu parametrů brzdy z brzdícího procenta (metoda lambda) je použitím defaultních hodnot integrovaných korekčních faktorů uvažováno se zpomalením $0,52 \text{ m/s}^2$ a s dobou zpoždění účinku brzdy 16,2 s;
- modře: nákladní vlak délky 740 m brzděný zpomalením $0,83 \text{ m/s}^2$ s elektropneumatickou samočinnou brzdou s ekvivalentní dobou náběhu brzdy 1 s.

Pro demonstraci vlivu doby zpoždění účinku brzdy byly uvažovány dva případy – černě vlak brzděný v režimu „G“ s ekvivalentní dobou náběhu brzdy 14,7 s (hodnota vyplývající pro uvažované parametry z konverzního modelu metody lambda) a modře stejnou brzdou silou brzděný týž vlak, avšak s ekvivalentní dobou náběhu brzdy jen 1,0 s (v principu dosažitelnou právě aplikací přímočinné elektropneumatické brzdy). V horním grafu na obr. 7 je čárkovanou čarou znázorněn dráhový tachogram (brzdná křivka) pro pohyb takového vlaku brzděného uvedeným konstantním zpomalením – v daném případě je pro oba vlaky stejný. Plné čáry pak znázorňují zásahové (aktivační) křivky – ty jsou oproti brzdné křivce předsunuty o vzdálenost odpovídající součinu ekvivalentní doby náběhu brzdy a příslušné rychlosti; v terminologii ETCS jde o tzv. dohledový limit EBI (*Emergency Brake Intervention*), při jehož překročení dojde k aktivaci nouzového brzdění. Na první pohled se nemusí černá a modrá plná čára jevit až tak rozdílně. Avšak je potřeba si povšimnout, že u rychle (s malým zpožděním) působící brzdy je zásahová (aktivační) křivka v oblasti blízké zastavení strmá (prakticky má tvar obrácené paraboly), zatímco u pomalu (s velkým zpožděním) působící brzdy je příslušná křivka v oblasti blízké zastavení poměrně plochá (má téměř lineární tvar). To je demonstrováno v dolním grafu na obr. 7 příslušnými průběhy zpomalení, které odpovídají uvedeným zásahovým křivkám. Zpomalení vlaku, jenž se blíží ke konci oprávnění k jízdě, postupně klesá k nule, neboť vlakový zabezpečovač stále respektuje předpoklad, že po případné aktivaci bude brzda reagovat až za dobu zpoždění (a zároveň pesimisticky předpokládá, že po dobu zpoždění účinku brzdy se vlak bude nadále pohybovat konstantní rychlostí, při níž k aktivaci došlo).

K vyjádření časové náročnosti zastavování vlaku je vhodné k dráhovému tachogramu $v = f(x)$ doplnit také dráhový chronogram $t = f(x)$. Srovnání obou dráhových chronogramů (viz tečkované čáry v horním grafu na obr. 7) je velmi názorné, čím dál pomalejší plížení se vlaku k cíli ukazují docela zřetelně. Pro postřehnutí tohoto jevu je nanejvýš vhodné vždy doplňovat tachogramy i příslušnými chronogramy.

Skutečný průběh zastavování vlaku brzděného samočinnou pneumatickou je vůči grafům na obr. 7 ještě časově náročnější. To je dáno dvěma faktory. Prvním faktorem je obava strojvedoucího před aktivací nouzového brzdění v důsledku zásahu vlakového zabezpečovače (viz též téma poškozování kol zmíněné výše).

Správně fungující systémy automatického vedení vlaku (ATO) mohou být v této věci strojvedoucímu dobrým pomocníkem. Druhým faktorem je praktická nemožnost snižovat plynule v průběhu zastavování vlaku brzdné zpomalení (viz spodní červená křivka na obr. 7) snižováním účinku pneumatické samočinné brzdy. To v zásadě nejde, pneumatická samočinná brzda není plynule, ale stupňovitě odbrzditelná a doba odbrzdění trvá u rozvaděče v režimu „G“ podle vyhlášky UIC 540 velmi dlouho, 45 až 60 sekund.

K dvousložkovému vnímání a kontrolování brzdného procesu (vzdálenost ujetá za dobu časového zpoždění účinku brzdy plus vzdálenost ujetá při účinkování brzd) vlakovým zabezpečovačem je nutno podotknout, že z ní vyplývající plochá zásahová (aktivační) křivka je oprávněná v tom smyslu, že poskytuje rezervu na uvolnění a opětovné zadání požadavku na brzdnou sílu. To je manipulace, kterou má strojvedoucí možnost v průběhu zastavování kdykoliv provést.

Co však není fyzikálně zcela správné, je způsob, jakým systémové specifikace ETCS (včetně poslední verze Baseline 3 [17]) uvažují samotný náběh brzdy. Jak již bylo zmíněno, skutečný průběh náběhu brzdné síly je nahrazován skokovou funkcí (viz obr. 6), která předpokládá, že se po dobu trvání ekvivalentní doby náběhu brzdy nebrzdí vůbec a dále se pak uvažuje brzdění plným účinkem. Ekvivalentní doba náběhu brzdy přitom podle tradičního způsobu, převzatého z výpočtu zábrzdých drah, sestává z doby prodlevy (dané zejména průraznou dobou) a z poloviny doby plnění brzdového válce. Tento zjednodušený přístup poskytuje přijatelné výsledky při vyšších počátečních rychlostech, kdy se před zastavením vlaku účinek brzd naplno vyvine, a je tudíž aplikovatelný například pro výpočet předpokládaných výsledků brzdových zkoušek. Avšak čím je nižší počáteční rychlost (a čím je delší doba zpoždění účinku brzdy – tedy typicky v režimu brzdění „G“), tím je odchylka uvedeným způsobem stanoveného odhadu od reality větší. Není totiž pravda, že v první polovině doby plnění brzdových válců nepůsobí žádná brzdná síla. Brzdná síla již působí i po dobu náběhu a její velikost je po překonání síly vratné pružiny a pasivních odporů brzdového pákovi úměrná tlaku v brzdových válcích. V případě velmi nízkých počátečních rychlostí proto reálně může dojít k situaci, kdy vlak zastaví již v důsledku dílčího účinku brzdy dříve, než uplyne celá ekvivalentní doba náběhu brzdy. Zjednodušení výpočtového modelu v podobě náhrady postupného nárůstu brzdného účinku skokovou funkcí tak ještě více nepříjemně komplikuje přesné a rychlé zastavení vlaku před koncem vlakové cesty – kontrola vlakovým zabezpečovačem je příliš restriktivní.

Brzdné křivky ETCS lze stanovit dvěma způsoby:

- metodou gama: brzdné křivky jsou vypočteny na základě zkouškou potvrzených znalostí brzdných vlastností vlaku (velikost brzdného zpomalení v závislosti na rychlosti jízdy vlaku a ekvivalentní doba náběhu brzdy);
- metodou lambda: brzdné křivky jsou vypočteny na základě brzdných vlastností vlaku (velikost brzdného zpomalení v závislosti na rychlosti jízdy vlaku a ekvivalentní doba náběhu brzdy) dodatečně odvozených z jeho

skutečných brzdících procent samočinné brzdy (zjištěných podle nápisů na vozidlech).

Zásadní rozdíl mezi oběma metodami je v míře hodnověrnosti údajů o brzdných vlastnostech vlaku. Zatímco u metody gama jsou k dispozici výpočty a zkušební protokoly, v případě metody lambda jsou k dispozici jen nápisy na vozidlech (o jejich hmotnosti a o jejich brzdící váze) a informace o způsobu brzdění. Pro daný způsob brzdění je tak z jednoho parametru (brzdící procento λ , tedy podíl brzdící váhy vozidel a hmotnosti vozidel) nutno zpětně odvodit parametry dva (velikost brzdného zpomalení a ekvivalentní dobu náběhu brzdy). K této nejistotě přistupuje nejistota další, a tou je neurčitost reprodukovatelnosti brzdových vlastností vozidel. Účinek třecích brzd je dán součinem, respektive podílem, řady faktorů (tlak v brzdovém válci, účinnost pákového převodu, součinitel tření, hmotnost vozidla, ...), které všechny mají poměrně široký toleranční rozptyl.

Při stanovení brzdných křivek metodou lambda se vychází na základě bezpečnostní analýzy z dvojice pesimistických předpokladů:

- vzorová (zpravidla prototypová) vozidla, která byla kdysi zkoušena s cílem zjistit jejich brzdící procento, měla své technické parametry na toleranční mezi vedoucí k vysokému účinku brzd (tlak vzduchu na horní toleranci, vysoká účinnost pákovi, vyšší součinitel tření, ...), které vedly ke kratší zábrzdné dráze a k vyššímu brzdícímu procentu;
- vozidla, která v provozu tvoří vlak, mají své technické parametry na opačné toleranční mezi, vedoucí k nízkému účinku brzd (tlak vzduchu na spodní toleranci, nízká účinnost pákovi, nižší součinitel tření, ...), tedy k delší zábrzdné dráze.

Proto jsou ve výpočtu brzdných křivek ETCS zavedeny bezpečnostní přírážky, které jsou aplikovány při predikci chování vlaku v rámci procesu brzdění v případě, kdy je jeho brzdící účinek definován brzdícími procenty, tedy metodou lambda. Ve snaze pokrýt nejistoty, které vyplývají z výpočtu brzdných vlastností vlaku na základě jeho brzdících procent konverzním modelem, jsou získané hodnoty středního zpomalení a ekvivalentní doby náběhu brzdy dle specifikací [17] násobeny integrovanými korekčními faktory. Pokud se prokáže, že preventivní údržbou vozů a podobně jsou splněny standardní podmínky, lze použít defaultní hodnoty, případně jsou na základě prokázání odlišných podmínek použity národně specifické hodnoty integrovaných korekčních faktorů.

Otázka určení národních hodnot integrovaných korekčních faktorů si jistě rovněž zasluhuje svoji pozornost. Aplikace defaultně definovaných hodnot těchto faktorů vede:

- ke snížení střední hodnoty brzdného zpomalení o 37 % v porovnání s hodnotou získanou pro daný vlak konverzním modelem z jeho skutečných brzdících procent
- a k prodloužení ekvivalentní doby náběhu brzdy o 10 % v porovnání s hodnotou získanou pro daný vlak konverzním modelem na základě informace o jeho délce a použitém režimu brzdění.

Vliv těchto bezpečnostních přírážek na proces brzdění vlaku pod dohledem ETCS je v grafech na obr. 7 demonstrován sadou červených křivek. Tyto křivky odpovídají parametrům získaným konverzním modelem pro původně uvažovaný vlak metodou lambda, tedy z jeho skutečných brzdících procent (uvažováno 100 %), délky (uvažováno 740 m) a způsobu brzdění (uvažován režim „G“), avšak právě po zohlednění defaultních hodnot integrovaných korekčních faktorů.

Určité zlepšení v tomto ohledu přináší náhrada tradičně užívané definice brzdných schopností vlaku s využitím brzdících procent (metoda lambda) přímým způsobem (metoda gama), kdy je brzdný účinek vlaku určen na základě zkouškou zjištěné závislosti dosažitelného zpomalení vlaku na rychlosti jízdy a zkouškou zjištěného zpoždění účinku brzd (ekvivalentní doby náběhu brzdy). Tato vyšší jednoznačnost a hodnověrnost snižuje velikost potřebných bezpečnostních přírážek, a tím činí brzdě křivky strmějšími, tedy s kratší dobou kontrolovaného zastavování vlaku před koncem vlakové cesty.

Téma zastavování, respektive snižování rychlosti jízdy vlaků brzděných pneumatickými samočinnými brzdami pod dohledem ETCS je pro další provoz vlakové dopravy na železnicích v ČR velmi zásadní, zejména s přihlédnutím k blížícímu se termínu začátku výhradního provozu vlaků pod dohledem ETCS na vybraných traťových úsecích. Je nepříjemnou skutečností, že v roce 2020 připravený teoreticko-experimentální výzkumný úkol, zaměřený na optimalizaci brzdění vlaků pod dohledem ETCS, řešitelského týmu složeného z výzkumných pracovišť i partnerů z praxe, a s ministerstvem dopravy v roli aplikačního garanta využití výsledků, nedostal od Technologické agentury České republiky dostatečnou důvěru k tomu, aby byl spolufinancován ze státního rozpočtu České republiky, a tudíž nebylo zahájeno jeho řešení.

3. Automatické spřáhlo

Na všech kontinentech kromě Evropy je na železnici zavedeno spojování vozidel centrálním automatickým spřáhlem. Jen evropské železnice stále ještě setrvávají u dnes již archaického spojování vozidel pomocí postranních nárazníků a tažného háku se šroubovkou. Před půl stoletím učiněná snaha o zavedení centrálního automatického spřáhla i v Evropě se nezdařila. Západní polovina Evropy (reprezentovaná tehdejším EHS) velmi logicky požadovala, aby nové jednotné evropské centrální automatické spřáhlo bylo tuhé (vertikálně centrované). To proto, aby mohlo přenášet nejen podélné síly, ale aby také propojovalo pneumatické potrubí a přenášelo podélné elektrické informace (kabelovým vedením). Avšak východní polovina Evropy, politicky a hospodářsky orientovaná na bývalý Sovětský svaz (reprezentovaná tehdejším RVHP), požadovala kompatibilitu nového evropského centrálního automatického spřáhla se spřáhlem typu SA3 sovětských železnic, které je však netuhé. Chybí mu vertikální centrování, jeho hlavy jsou navzájem vertikálně posuvné, a tedy pneumatické potrubí a elektrická kabelová vedení z principu propojit neumí. Snaha o splnění požadavku na kompatibilitu moderního centrálního automatického spřáhla s hlavou spřáhla SA 3 vedla k velmi komplikovaným technickým řešením, což

bylo jednou z příčin nenaplnění cíle zavést v Evropě v sedmdesátých letech minulého století centrální automatické spřáhlo.

V důsledku toho v Evropě, na rozdíl od všech ostatních světadílů, zůstalo tradiční mezivozové rozhraní tvořené tažným hákem, šroubovkou a postranními nárazníky. Ale ne tak docela. Technický pokrok lze zdržet, nikoliv však zastavit. Myšlenka automatického spřáhla se v Evropě spontánně prosadila alespoň u trakčních jednotek pro dopravu osob (DMU, EMU), a to v podobě automatického spřáhla s hlavou typu 10 (Scharfenberg 10) – spřáhla tuhého s elektrickým i pneumatickým propojením, které umožňuje mj. i rychlé elektrické ovládní pneumatické přímočinné brzdy s elektrickou samočinností (brzdová smyčka).

3.1 Vývoj v osobní železniční dopravě

Pokud mají cestující jezdit regionálními osobními zastávkovými vlaky, je potřeba přepravovat je v nových, pohodlných a rychlých vozidlech. Proto postupně dochází při vozbě osobních zastávkových vlaků k náhradě elektrických lokomotiv bez rekuperace a se slabě účinkující jednostrannou špalíkovou brzdou, i osobních vozů bez klimatizace, moderními elektrickými trakčními jednotkami. Ty již automatické spřáhlo do provozu přirozeně přinášejí. Tato evoluce postupně úspěšně probíhá, lokomotivy z vozby osobních zastávkových vlaků po zásluze mizí. V zásadě neexistuje osobní zastávkový vlak, vhodný k dopravě elektrickou lokomotivou:

- buď je vlak krátký, pak má náležitou akceleraci, ale je to energeticky nevýhodné a drahé,
- nebo je vlak dlouhý, pak je to sice ekonomicky přijatelné, ale pomalé.

Paradoxně přitom v ČR mnoho elektrických lokomotiv postupem času sehrálo obě nedůstojné role:

- zpočátku při vozbě zvolna se krajinou pohybujících (i zcela mimo období přepravní poptávky) těžkých dálkových osobních zastávkových vlaků typu Praha–Přerov či Břeclav–Bohumín,
- později, po zkrácení taktu, při vozbě krátkých lehkých osobních zastávkových vlaků typu Kolín–Česká Třebová, u kterých je nevýhodný poměr mezi hmotností užitečné zátěže (vozy) a hmotností neužitečné zátěže (lokomotiva).

V souvislosti se zaváděním ETCS na tratích a vozidlech jsou přestárlé elektrické lokomotivy z provozu postupně vyřazovány a v dopravě osobních zastávkových vlaků je nahrazují elektrické trakční jednotky (vybavené vně centrálními automatickými spřáhly a uvnitř spojených centrálními semipermanentními spřáhly). Nově přichozím elektrickým lokomotivám náleží doprava dálkových vlaků (R, Ex, IC, EC), sestavených buď z jednotlivých osobních vozů s tradičním UIC mezivozovým rozhraním (tažný hák se šroubovkou a s postranními nárazníky), resp. tvořených netrakčními jednotkami, uvnitř spojenými centrálními semipermanentními spřáhly, ale vně opatřenými tradičním UIC mezivozovým rozhraním (tažný hák se šroubovkou a s postranními nárazníky).

3.2 Situace v nákladní železniční dopravě

V oboru nákladní dopravy je kompatibilita tažného a narážecího ústrojí železničních vozidel složitější téma. Ale již ne tak docela. Ve statistikách přepravních výkonů nákladní železniční dopravy již nedominují jednotlivé vozové zásilky, ale ucelené vlaky.

Stojí za povšimnutí, že v době mezi vznikem prvního dílu pojednání o provozu dlouhých nákladních vlaků (viz [1]) a finalizací tohoto pokračování došlo na evropské úrovni k výraznému posunu v oblasti vývoje automatického spřáhla pro nákladní železniční dopravu. Snahy o zavedení tohoto spřáhla jsou v posledním desetiletí patrné zejména ve Švýcarsku a v Německu a aktuálně je vývoj digitálního automatického spřáhla (DAC – *Digital Automatic Coupling*) podporován v rámci iniciativy Shift2Rail. Podrobnější pojednání o snahách o zavedení automatického spřáhla v Evropě v minulosti a zejména právě současný stav vývoje projektu DAC je možné najít v článku [18]. Výsledkem současných snah by přitom měla být definice specifikací evropského automatického spřáhla pro nákladní dopravu v rámci příští revize TSI.

V souvislosti s plánovaným zaváděním DAC do provozu se často objevují obavy týkající se finanční náročnosti přechodu na automatické spřáhlo. Tyto obavy jsou pochopitelné, neboť v liberalizovaném tržním prostředí nákladní dopravy může jakékoliv zvýšení nákladů, které musí železniční nákladní dopravci nést, znamenat v konečném důsledku pokles konkurenceschopnosti železnice vůči jiným druhům dopravy. Rovněž je zřejmé, že nákladním dopravcům bylo v době nedávno minulé ubližováno. Léta byli nákladní dopravci zatíženi účtováním měrné spotřeby elektrické energie paušálem 0,020 kWh/tkm, vůči realitě kolem cca 0,014 kWh/tkm. Nákladní dopravci byli v ČR zatíženi jednou z nejvyšších plateb za použití dráhy. V 21. století prakticky v ČR ustala elektrifikace dalších železničních tratí, velmi důležitá pro efektivní vozbu nákladních vlaků. V nemálo železničních stanicích byly odstraněny koleje, které zde sloužily veřejnosti k nakládce a vykládce zboží. To vše pochopitelně nákladní železniční dopravu v ČR silně poškodilo.

Po těchto zkušenostech se zcela logicky chovají nákladní železniční dopravci velmi obezřetně. Jejich obavy vzbuzují náklady spojené s přechodem na jednotné evropské automatické spřáhlo. Avšak nejde jen o náklady, jde i o výnosy. Proto je na místě znát a ohodnotit přínosy digitálního automatického spřáhla, aby bylo prioritně aplikováno tam, kde budou jeho přínosy největší a komplikace s jeho zavedením nejmenší.

Kromě podélného přenosu sil zajišťuje digitální automatické spřáhlo i podélný přenos dat. To otevírá nákladní dopravě cestu k tomu, aby mimo jiné též došlo k náhradě pomalu působící, a tím dopravní provoz komplikující, samočinné pneumatické brzdy prakticky okamžitě působící elektropneumatickou přímočinnou brzdou s elektricky zajištěnou samočinností. V principu je samozřejmě možné zavést elektropneumatickou brzdu i v kombinaci se standardním mezivozovým rozhraním UIC, ale zavádění DAC k současné inovaci v oblasti ovládání brzd nákladních vozů přímo vybízí.

3.3 Přes digitální automatické spřáhlo k elektropneumatické brzdě

Ve vztahu k problematice provozu dlouhých nákladních vlaků lze konstatovat, že právě automatické spřáhlo představuje (kromě zásadního zvýšení bezpečnosti, kultury práce a produktivity práce při vlakovorbě) potenciální řešení mnoha problémů, které při vozbě dlouhých nákladních vlaků vyvstávají. Z hlediska technického tak přináší automatické spřáhlo zejména tyto výhody:

- oproti standardnímu spřahovacímu a narážecímu ústrojí UIC vykazuje automatické spřáhlo vyšší pevnost v tahu i v tlaku. V souladu s EN 16019 [19] např. musí spřáhlo typu 10 odolávat zatížení minimálně 1 000 kN v tahu a 1 500 kN v tlaku. Specifikace digitálního automatického spřáhla pro nákladní dopravu by měla být součástí revize TSI plánované na letošní rok, avšak již nyní je známo, že půjde o spřáhlo typu Scharfenberg. Pokud by specifikace využívala uvedených limitů dle EN 16019, představuje pevnost v tahu 1 000 kN oproti standardnímu provedení šroubovky (pevnost v tahu 850 kN) nárůst „jen“ o necelých 20 %. To není mnoho, a proto je nanejvýš důležitá eliminace podélných rázů v soupravách, aby nebyl nutný tak velký poměr mezi pevností spřáhla a jeho dovoleným statickým zatížením (v případě šroubovky dnes činí v ČR dovolené statické zatížení pouze 350 kN). Z navýšení pevnosti spřáhla v tahu vyplývající schopnost přenášet vyšší podélné síly však každopádně otevírá cestu ke zvyšování technických normativů hmotnosti vlaků, resp. k efektivnějšímu využití trakčních schopností moderních hnacích vozidel, a to i ve vícenásobné trakci;
- absence tradičních nárazníků vede k eliminaci příčných (třecích) sil, jež vznikají mezi nárazníky sousedních vozidel především při průjezdu oblouky malých poloměrů a v protisměrných obloucích. To pak vede ke zvýšení bezpečnosti jízdy a snížení poškozujících účinků vozidel na kolej (důsledek redukce příčných sil při průjezdu vlaku obloukem koleje, zejména v případě jízdy vlaku s postrkem či při intenzivním brzdění EDB hnacího vozidla v čele vlaku – viz též odst. 2.4), resp. je možné v některých situacích, kde je dnes dovoleno využívat jen omezené hodnoty sil (tedy typicky právě na tratích s nepříznivými směrovými poměry), zvýšit limity bezpečně dosažitelných podélných tlakových sil (dovolená tažná síla hnacího vozidla na postrku, příp. maximální brzdná síla EDB hnacího vozidla v čele vlaku);
- sloučení mechanického, pneumatického i elektrického propojení vozidel do jednoho rozhraní otevírá cestu k aplikaci elektropneumatické přímočinné brzdy. Současná digitalizace automatických spřáhel a s ní spojená historická náhrada technicky zastaralé, pomalu účinkující pneumatické samočinné brzdy UIC moderní, rychle účinkující elektricky řízenou přímočinnou pneumatickou brzdou s elektrickou samočinností (povel k nouzovému brzdění negeneruje přetržená hadice, ale přetržený vodič)

znamenaají zejména pro nákladní železniční dopravu příležitost zásadního významu.

Jakkoliv se zdá u vlaků praktické délky do 1 000 m rozdíl ve vlivu rychlosti zvuku, respektive rychlosti průrazné (cca 300 m/s), a rychlosti světla (cca 300 000 000 m/s) nevelký (činí jen cca 3 s), tak jde v principu o cestu k odstranění léta prováděného záměrného snižování rychlosti nárůstu i poklesu brzdě síly (funkcí rozvaděčů samočinné pneumatické brzdy UIC, především v režimu „G“). Neboť právě to je prvotní příčinou záměrně velmi pomalého plnění, a ještě pomalejšího vyprazdňování brzdových válců. Význam náhrady tradiční samočinné ryze pneumatické brzdy UIC se záměrně pomalu působícími brzdovými rozvaděči rychle účinkující elektricky přímočinně ovládanou pneumatickou brzdou je zcela zásadní. Nejde jen o přesné a pohotové zastavování i velmi dlouhých a těžkých nákladních vlaků na požadovaném místě, ale též jde o bezpečnost. Rychlobrzda bude skutečnou rychlobrzdou, zábrzdě dráhy nákladních vlaků se zkrátí o stovky metrů. To je i z hlediska zvýšení pravděpodobnosti odvrácení tragických střetů s účastníky silničního provozu na železničních přejezdech přínos zásadního rázu. Technicky jde pochopitelně o náhradu jednoduššího čistě pneumatického zařízení složitějším zařízením elektropneumatickým, ale elektricky ovládaná zařízení jsou v současné dopravní technice běžným standardem. Manuálně ovládané vozové dveře jsou nahrazovány automatickými, plechové směrové tabulky byly vystřídány zobrazovacími panely, gravitační toaletu se spřaženým pohybem prkénka a uzavírací klapky na odpadní rouře nahradila počítačem řízená vakuová toaleta. I tak zásadní subsystém, jakým jsou brzdy, si zaslouží inovaci.

I bez podrobnějšího hodnocení dalších benefitů (viz dále) stojí za to všimnout si efektu, který bezprostředně souvisí s náhradou samočinné pneumatické brzdy UIC přímo účinkující elektropneumatickou brzdou, a to ve vazbě k ETCS. Jak vyplývá z odst. 2.5, problém pomalého dojíždění vlaků ke konci oprávnění k jízdě je především problémem pomalu účinkujících brzd. A právě tento problém dokáže elektropneumatická brzda efektivně řešit. Například:

- a) nákladní vlak používá pomalu působící pneumatickou samočinnou brzdou UIC. Potřebuje proto při zastavování vlaku před koncem vlakové cesty prokluzovou vzdálenost cca 100 m;
- b) nákladní vlak používá, díky propojení jednotlivých vozů digitálními automatickými spřáhly, rychle působící elektropneumatickou přímočinnou brzdou. Nepotřebuje proto při zastavování vlaku před koncem vlakové cesty prokluzovou vzdálenost cca 100 m. Proto je možno do vlaku, jehož délka je omezena délkou předjízděných kolejí, přidat další čtyři osmdesátistopé kontejnerové vozy, díky čemuž lze dopravit vlakem o 16 dvacetistopých (TEU) kontejnerů víc. Se stejnou lokomotivou, se stejným strojvedoucím a se skoro stejnou spotřebou energie, neboť aerodynamický odpor v zákrytu jedoucích vozů dalších 16 ISO kontejnerů o mnoho nezvýší.

Je zřejmé, že přechod od tradičního spřahovacího ústrojí k digitálnímu automatickému spřáhlu bude mnohaletým procesem. I v nákladní dopravě vedle

sebe budou, podobně jako v osobní dopravě, dlouhodobě koexistovat oba spřahovací standardy. Zcela logicky budou centrální automatická spřáhla dopravci zaváděna prioritně především tam, kde přinesou největší efekt, tedy u dlouhých dálkových ucelených nákladních vlaků.

K současné aplikaci elektropneumatické brzdy ve vazbě na digitální automatické spřáhlo je vhodné připojit ještě jednu poznámku. Z dosud provedených výzkumů (viz např. článek [20]) vyplývá, že tato kombinace (DAC + elektropneumatická brzda) je v podstatě nutností, má-li být optimálně navrženo vypružení spřáhla. To je způsobeno tím, že vypružení spřáhla může být optimalizováno buď za účelem minimalizace projevů podélné dynamiky vlaku, nebo pro maximalizaci ochrany vozidla při nárazu. Příslušné požadavky na charakteristiku vypružení spřáhla (předpětí, maximální zdvih a tvar charakteristiky) jsou přitom do značné míry protichůdné. A vzhledem ke skutečnosti, že nárazům vozidel se v podmínkách běžného provozu (při posunu) nelze zcela vyvarovat, cestou k optimalizaci se jeví právě eliminace projevů podélné dynamiky, k čemuž elektropneumatická brzda představuje velmi účinný nástroj. Minimalizuje totiž podélné rázy vzniklé nesynchronizovaným působením brzd jednotlivých vozů, které jsou vlivem nízké průrazné rychlosti charakteristickým průvodním jevem pneumatické samočinné brzdy a které elektropneumatická brzda odstraňuje. Díky eliminaci projevů podélné dynamiky je pak rovněž možné lépe využívat limitu pevnosti spřáhla (a zvýšit tak dovolené statické zatížení spřáhla, a tím i dovolenou mezní hodnotu tažné síly lokomotiv v čele vlaku), neboť není nutná tak velká rezerva pro pokrytí dynamických účinků, k nimž při jízdě vlaku dochází.

3.4 Digitální automatické spřáhlo v širších souvislostech

Centrální automatické spřáhlo je již dávno zavedeno ve všech světadílech s výjimkou Antarktidy a Evropy. Proto byly i v Evropě již před půl stoletím tak intenzivní snahy o jeho zavedení, byť nakonec z politických důvodů vyzněly naprázdno. Nyní se tedy pomalu otevírá nová příležitost k jeho zavedení, a to i v nákladní železniční dopravě. Pro docenění této příležitosti je však potřeba vnímat problematiku zavádění DAC v širších souvislostech. Kromě již zmíněného zvýšení bezpečnosti (zkrácení zábrzdňných drah, eliminace příčných sil ve směrově stísněných poměrech), přesnějšího zastavování či možnosti zvýšení normativů zátěže tak jde zejména o tyto faktory:

- jedním z hlavních důvodů, které vedly ke snahám o zavádění automatického spřáhla v hospodářsky vyspělých zemích (Švýcarsko, Německo, ...) je minimalizace nebezpečné lidské práce, navíc v náročných, fyzicky namáhavých, rizikových a odpovědných profesích (posunovač, vozmistr). Je nutné si uvědomit, že aktuální demografický vývoj v Evropě v kombinaci s nezájmem mladých lidí o tyto náročné profese může již v nedaleké budoucnosti představovat zásadní překážku rozvoje nákladní železniční dopravy. Jestliže jednou z příčin neúspěchu snah o přechod na automatické spřáhlo v Evropě v 70. letech 20. století byly vysoké náklady

na tento krok, vysoké náklady – tentokrát však personální – budou tentokrát naopak motivací pro přechod na automatické spřáhlo;

- kromě minimalizace lidské práce představuje DAC nástroj k eliminaci zdoluhavých procedur před odjezdem vlaku, konkrétně zejména možností provádět automatickou zkoušku brzdy. To může v konečném důsledku přinést nezanedbatelné zvýšení efektivity vozby díky zrychlení oběhu souprav. V této souvislosti je však potřeba zmínit, že otevřenou otázkou v oblasti úspor personálu i času zatím zůstává automatizace i dalších provozních procedur, zejména výchozí technické prohlídky vlaku (VTP);
- ve vztahu k ETCS může být digitální automatické spřáhlo, zajišťující mj. i elektrické propojení vozidel, rovněž prostředkem k zajištění průběžné kontroly celistvosti vlaku, jakožto nutné podmínky pro provoz ve třetí aplikační úrovni (ETCS L3);
- zavedení DAC, resp. elektrické (a datové) propojení vozidel, je také příležitostí pro on-line monitoring technického stavu jednotlivých nákladních vozů a jejich důležitých komponent, což představuje potenciál k optimalizaci jejich údržby;
- z hlediska energetického potom poskytuje DAC prostor pro lepší využití elektrodynamického rekuperačního brzdění díky možnosti využívat větší brzdné síly EDB, a tím též snížit tepelné namáhání a opotřebení součástí mechanických třecích brzd bez nadměrných negativních účinků na bezpečnost jízdy či intenzitu poškozujících účinků vozidla na kolej;
- v souvislosti s přechodem od standardního narážecího a táhlového ústrojí UIC k centrálnímu (automatickému) spřáhlu se též v principu otevírá určitý prostor ke zlepšení jízdních vlastností nákladních vozů, a tím i ke zvýšení rychlosti jízdy nákladních vlaků. Nutným předpokladem k tomuto kroku však je, aby specifikace DAC v oblasti dovolené výšky spřáhla byly oproti současným tolerancím výšky nárazníků benevolentnější. Využitím většího svislého průhybu vypružení lze totiž do jisté míry optimalizovat parametry vypružení nákladních vozů.

4. Závěr II. dílu

Je velice dobře, že vedení ministerstva dopravy přijalo rozhodnutí zavést v ČR postupnými kroky do roku 2040 kontrolu jízdy všech vlaků na všech tratích pod dohledem ETCS. V 21. století již není na místě, aby za bezpečnost dopravy odpovídal pouze člověk. Avšak je na místě doplnit tento trend o další dvě aktivity:

- urychlit a připravit v souladu s instalací ETCS kombinací rozvoje liniové elektrifikace 25 kV a bodové elektrifikace 25 kV podmínky pro bezemisní provoz, aby bylo možno plnohodnotně zapojit do plnění přepravních úloh železnice větší část železniční sítě;

- podpořit železniční nákladní dopravce při zavádění digitálního automatického spřáhla (DAC) a elektropneumatické brzdy jako jeho nedílné součásti.

Vedle budování vysokorychlostního železničního systému, zavádění ETCS a dekarbonizace železniční dopravy její elektrifikací je projekt DAC další velkou technickou inovací evropské železnice v 21. století. Jak ETCS, tak i elektrifikaci a DAC je potřeba aplikovat na železnici ku všeobecnému prospěchu. Potenciální přínosy plynoucí ze zavedení nových technologií jsou velké.

K tomu, aby projekt DAC splnil očekávání, je nutné před počátkem jeho hromadného zavádění znát cílový stav, který by měl být specifikován v příští revizi TSI WAG. Cílem všech subjektů, řešících nyní tento projekt v rámci iniciativy Shift2Rail, by proto měla být snaha o definování takových specifikací, jež umožní maximální využití potenciálu DAC, včetně aplikace přímočinné elektropneumatické brzdy. Snaha o plošné zavádění DAC i na starší vozy se přitom nejeví jako efektivní, a to zejména z důvodu vysokých nákladů na přestavbu těchto vozů při jejich omezené zbytkové životnosti. Určitou paralelu lze v tomto ohledu spatřovat v dodatečné instalaci OBU ETCS na přestárlých řadách hnacích vozidel, kde náklady na „retrofit“ mohou přesáhnout zbytkovou hodnotu samotného vozidla. Za povšimnutí přitom stojí fakt, že od 70. let 20. století vyhláškou UIC daná povinnost konstruovat nové nákladní vozy tak, aby umožňovaly zástavbu automatického spřáhla, byla paradoxně zrušena právě technickými specifikacemi pro interoperabilitu nákladních vozů (TSI WAG) v roce 2006. Aktuálně vyráběné nové nákladní vozy tak běžně přípravu na zabudování automatického spřáhla nemají. Je proto logické, aby úsilí (a finanční prostředky) směřované do zavádění DAC bylo primárně cíleno na projekty s jasným a rychlým efektem, tedy především nové vozy pro ucelené dlouhé dálkové nákladní vlaky, u kterých je limitem jejich délka a u kterých přinese elektropneumatická brzda možnost prodloužení soupravy vozů v důsledku rychlejšího a přesnějšího zastavování vlaku před koncem vlakové cesty.

Poděkování

Autoři článku děkují za cenné připomínky a náměty panu Ing. Janu Plomerovi z Českých drah, panu Ing. Zdeňku Malkovskému, Ph.D., ze společnosti VÚKV, pánům Ing. Karlu Skalickému a Ing. Aleši Doškovi z ČD Cargo, panu Petru Šimralovi ze společnosti METRANS Rail, pánům Ing. Jaroslavu Tylemu a Ing. Oldřichu Sládkovi ze sdružení ŽESNAD.CZ, panu Ing. Lukáši Soukupovi z Ministerstva dopravy ČR a pánům Ing. Martinu Trögelovi a Ing. Rudolfu Mrzenovi, Ph.D., ze Správy železnic. Poděkování patří též společnosti DAKO-CZ za poskytnutí zkušebního stavu za účelem provádění experimentů v rámci řešení závěrečných studentských prací na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice.

Literatura

- [1] POHL J., MICHÁLEK T.: *Provoz nákladních vlaků délky 740 m, díl I.* In: *Vědeckotechnický sborník ČD č. 46/2018.* Praha: GR ČD, 2018. ISSN 1214-9047. Dostupné z: https://vts.cd.cz/documents/168518/220448/4618_Pohl%2C+Michálek_Pr ovoz+nákladních+vlaků+délky+740+m%2C+díl+I. kor.pdf [cit. 2022-03-31]
- [2] *UIC Code 540. Brakes – Air brakes for freight trains and passenger trains.* 5th edition, November 2006. Paris: UIC, 2006.
- [3] *KVs3-B-2010. Provoz a obsluha brzdových zařízení železničních kolejových vozidel.* Praha: ČD Cargo, 2010.
- [4] *R P 20000817. Betriebsvorschrift SBB Verkehr [5.4a] – Bremsvorschriften.* Bern: SBB, 2013.
- [5] *R 300.14. Schweizerische Fahrdienstvorschriften FDV – Bremsen.* Bern: BAV, 2015.
- [6] JAROŠ P., MICHÁLEK T.: *K problematice podélné dynamiky souprav nákladních vlaků.* In: *XXIV. mezinár. konf. SúčasnÉ problémy v kolajových vozidlách – PRORAIL 2019, Zborník prednášok, Diel I, s. 259–266.* Žilina: VTS pri Žilinskej univerzite v Žiline. ISBN 978-80-89276-58-5.
- [7] MICHÁLEK T., ŠIMRAL P.: *Návrh úpravy metodiky výpočtu vozidlového odporu kontejnerových vlaků.* In: *Současné problémy v kolejových vozidlech 2017: XXIII. konference s mezinár. účastí, Sborník příspěvků, s. 283–290.* Pardubice: DFJP UPCE, 2017. ISBN 978-80-7560-085-1.
- [8] *Nařízení Komise (EU) č. 1304/2014 ze dne 26. listopadu 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému „kolejová vozidla – hluk“, kterou se mění rozhodnutí 2008/232/ES a zrušuje rozhodnutí 2011/229/EU.* Brusel: EK, 2014.
- [9] BING D., HECHT M.: *Der Einfluss von Grauguss- und Verbundstoffsohlen auf die Längsdynamik beim Bremsen im Schienengüterverkehr.* In: *ZEVrail Nr. 8/2014, s. 276–281.* ISSN 1618-8330.
- [10] *Metodický pokyn ke stanovení brzdícího účinku ruční brzdy – zajišťovací síla.* Č. j.: DUCR-60946/21/Pr. Praha: Drážní úřad, 2021. Dostupné z: https://www.ducr.cz/images/drurad/dokumenty/metodicke_pokyny/MP_D UCR_60946_21_Zajišťovací síla.pdf [cit. 2022-02-14]
- [11] MALKOVSKÝ Z.: *Zkušenosti VÚKV s nekovovými špalíky (teorie a praxe).* In: *Odborný seminář SPV – nekovové brzdové špalíky,* Pardubice, 10. 10. 2017.
- [12] *Entgleisung Zug 66505 am 20. Juni 2011.* Untersuchungsbericht Nr. BMVIT-795.250-IV/BAV/ UUB/SCH/2011. Wien: Bundesanstalt für Verkehr, 2011.
- [13] *Příručka pro používání kompozitních špalků (LL).* 10. vydání. Paris: UIC, 2013. Dostupné např. z: https://www.ducr.cz/images/drurad/dokumenty/technici/Prirucka_LL_spalku CZ1.pdf

- [cit. 2021-12-13]
- [14] ČSN EN 15313:2017. *Železniční aplikace – Požadavky na dvojkolí v provozu – Údržba dvojkolí v provozu na vozidlech a po demontáži*. Praha: ÚNMZ, 2017.
- [15] KOHOUT M., ZELENKA J., ŠIMRAL P.: *Změny parametrů dvojkolí lokomotiv v provozu s ohledem na vazbu dvojkolí-kolej*. In: *Současné problémy v kolejových vozidlech 2017: XXIII. konference s mezinárodní účastí, Sborník příspěvků*, s. 189–193. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2017. ISBN 978-80-7560-085-1.
- [16] ČSN EN 15839+A1:2016. *Železniční aplikace – Přejímací zkoušky jízdních charakteristik železničních vozidel – Nákladní vozy – Zkoušky jízdní bezpečnosti při působení podélných tlakových sil*. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [17] *SUBSET-026-3. ERTMS/ETCS – System Requirements Specification – Chapter 3 – Principles*. Iss. 3.6.0. ERA * UNISIG * EEIG ERTMS Users Group, 2016.
- [18] SOUKUP L.: *Digitální automatické spřáhlo pro evropskou železnici*. In: *Vědeckotechnický sborník Správy železnic č. 5/2021*. Praha: Správa železnic, státní organizace, 2021. ISSN 2694-9172.
- [19] ČSN EN 16019:2014. *Železniční aplikace – Automatické spřáhlo – Požadavky na provedení, specifická geometrie rozhraní a zkušební metoda*. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [20] SCHISCHKOFF M., JOBSTFINKE D., HECHT M., HAGENLOCHER S.: *Betriebsdaten und Simulations-ergebnisse zur dynamischen Auslegung der DAK – Teil 1: Längsdynamik und Auflaufstöße*. In: *ZEVrail Nr. 5/2021*, s. 164–171. ISSN 1618-8330.

Lektorovali:

Ing. Lukáš Soukup,

Ministerstvo dopravy ČR

Ing. Martin Trögel,

Správa železnic, státní organizace