

Vědeckotechnický sborník

Správy železnic, státní organizace

č. 11/2024

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. Implementace výkaznictví o udržitelnosti dle ESRS u Správy železnic, státní organizace Autor: Roman Štěrba	3
2. Průmyslová bezpečnost OT Autor: Přemysl Šrámek	18
3. Historie napájecího jednofázového systému 50 Hz v Československu a ve světě ve čtyřicátých a padesátých letech 20. století pohledem dobových odborných textů (druhý díl) Autor: Martin Boháč	29
4. Snížení energetické náročnosti a ekologické zátěže ze železniční dopravy prostřednictvím přípravy infrastruktury pro vlaky na alternativní pohon Autor: Jiří Cigánek	64
5. Co potřebuje železnice z pohledu SVOD Bohemia? Autor: Petr Moravec	77
6. Bezemisní a nízkoemisní vozidla pro železniční dopravu Autor: Jiří Pohl	83
7. Intermodální přepravy Autoři: Václav Cempírek, Michal Turek	103
8. O kontrolních činnostech Autoři: Karel Marek, Přemysl Šrámek, Endre Tóth	108
9. Automatic train control systems as a challenge for the capacity in the Czech Republic Autoři: Erik Tischer, Petr Nachtigall, Jaromír Široký	124

1. Implementace výkaznictví o udržitelnosti dle ESRS u Správy železnic, státní organizace

Roman Štěřba¹

Klíčová slova

Správa železnic, železnice, udržitelnost, ESG, ESRS

Keywords

Správa železnic, railway, sustainability, ESG, ESRS

Anotace

Správa železnic, státní organizace se od roku 2021 systematicky věnuje implementaci transparentního nefinančního výkaznictví o udržitelnosti v kritériích ESG. ESG znamená Environment (dopady na životní prostředí), Social (hodnotí sociální vztahy) a Governance (hodnotí správu a řízení organizace, především se zřetelem na správní radu a vedení organizace). Od roku 2023 probíhá příprava na výkaznictví o udržitelnosti dle Evropských standardů výkaznictví o udržitelnosti (ESRS). Transparentní informace dle ESRS v kritériích ESG se váží k budoucí schopnosti zdrojování financí pro rozvoj železnice.

Abstract

Since 2021, the Správa železnic, a state organization, (Czech State Rail Infrastructure Manager) has been systematically dedicated to the implementation of transparent non-financial reporting on sustainability in ESG criteria. ESG means Environment (impacts on the environment), Social (evaluates social relations) and Governance (evaluates an approach to the management and administration of the organization, especially with regards to the Supervisory Board and management of the organization). Since late 2023, preparation for sustainability reporting according to the European Sustainability Reporting Standards (ESRS) is underway. Transparent ESG information standardised by ESRS is about the future ability to source finance for railway development reflecting climate change.

1. GLOBÁLNÍ SNAHA O UDRŽITELNÝ ROZVOJ

¹ doc. Dr. Ing. Roman Štěřba, 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 Katedře chytrých měst a regionů, Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Po 38 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.

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]

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).[2]



Obrázek č. 1: Cíle udržitelného rozvoje OSN [2]

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.

2. SNAHA EVROPSKÉ KOMISE O UDRŽITELNOST

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.

Dne 30. ledna 2019 přijala Evropská komise diskusní dokument s názvem *Směrování k udržitelné Evropě do roku 2030*² [3] 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 i 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*“ [4], 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.

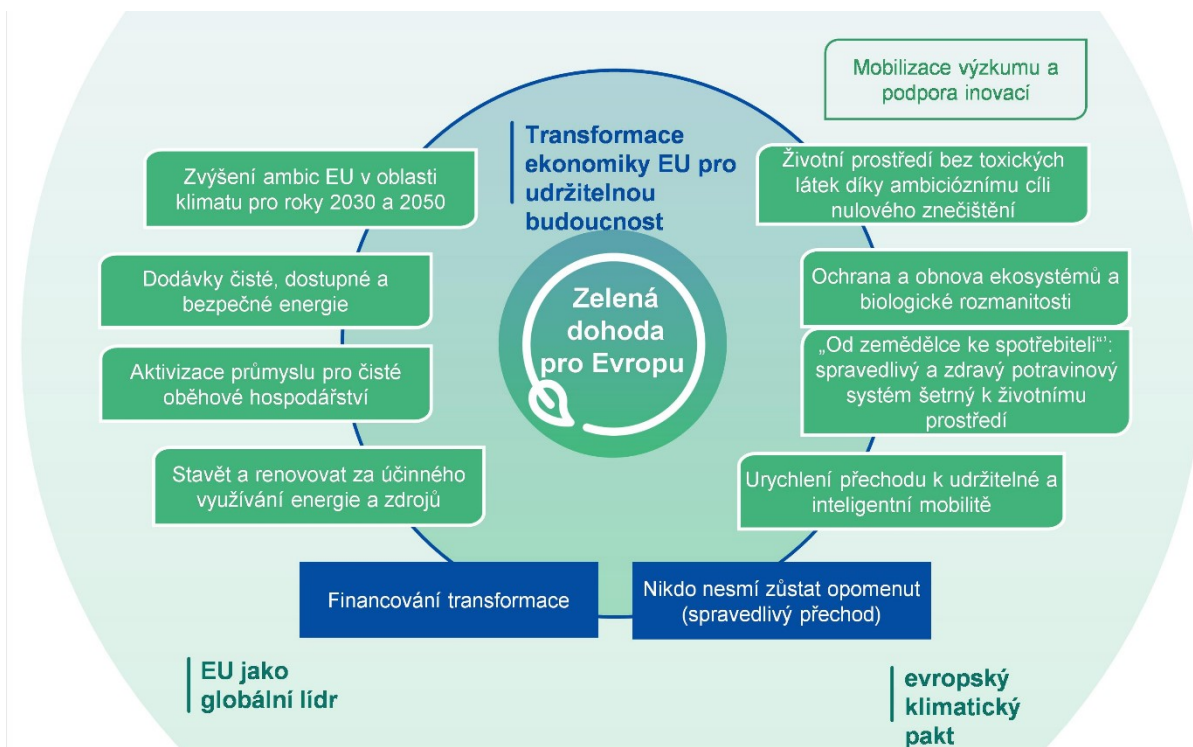
Prioritou jsou čisté a cenově dostupné alternativy, aby v EU jezdila pouze vozidla s nulovými emisemi a aby moderní společnost optimálně využila digitální technologie s cílem pomoci snížit spotřebu paliva. Snížit emise také pomáhají družicové navigační systémy EU. Prioritně musí přechod k udržitelné 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 na kole nebo služeb spolujízdy (car-sharing, car-pooling) jako doplněk k páteřním systémům veřejné mobility, které tvoří kolejová doprava.

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>

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.[5] 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. [5]

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 [6] 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 a evropské snahy a trendy reaguje Správa železnic modernizací infrastruktury s cílem vytvořit předpoklady pro železniční dopravu bezpečnější, zelenější, efektivnější, propojenější a inteligentnější.



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

3. PLNĚNÍ PROGRAMU VLÁDNÍ 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 hospodáří 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.

Jednou z klíčových priorit 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

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>

zmodernizovat 290 km tratí, dokončit přestavbu uzlů v Plzni, Pardubicích a 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

4. SMĚRNICE O VÝKAZNICTVÍ PODNIKŮ O UDRŽITELNOSTI (CSR)

Ve svém sdělení ze dne 11. prosince 2019 nazvaném „Zelená dohoda pro Evropu“ [5] se Evropská komise zavázala, že přezkoumá ustanovení týkající se vykazování nefinančních informací, která jsou obsažena ve směrnici Evropského parlamentu a Rady 2013/34/EU [7].

Směrnicí EP a Rady (EU) 2022/2464 ze dne 14. prosince 2022 (CSRD) [10] se upřesňují povinnosti podniků při podávání zpráv o udržitelnosti. Podniky zahrnou do zprávy vedení podniku informace potřebné k pochopení dopadů podniku na otázky udržitelnosti a informace potřebné k pochopení toho, jak otázky udržitelnosti ovlivňují vývoj podniku, jeho výkonnost a postavení. Informace o udržitelnosti obsahují:

- a) stručný popis obchodního modelu a strategie podniku, včetně:
 - i) odolnosti obchodního modelu a strategie podniku vůči rizikům spojeným s otázkami udržitelnosti;

- ii) příležitostí pro podnik spojených s otázkami udržitelnosti;
- iii) plánů podniku, včetně prováděcích opatření a souvisejících finančních a investičních plánů, které mají zajistit, aby byly jeho obchodní model a strategie slučitelné s přechodem na udržitelné hospodářství a s omezením globálního oteplování na 1,5 °C v souladu s Pařížskou dohodou v rámci Rámcové úmluvy Organizace spojených národů o změně klimatu přijatou dne 12. prosince 2015 (dále jen „Pařížská dohoda“) a s cílem dosáhnout klimatické neutrality do roku 2050, jak je stanoveno v nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2021/1119 (*8), a případně expozice podniku vůči činnostem souvisejícím s uhlím, ropou a plynem;
- iv) způsobu, jakým obchodní model a strategie podniku zohledňují zájmy zúčastněných stran podniku a dopady podniku na otázky udržitelnosti;
- v) způsobu, jakým byla prováděna strategie podniku s ohledem na otázky udržitelnosti;
- b) popis časově ohraničených cílů souvisejících s otázkami udržitelnosti, které si podnik vytyčil, případně i absolutních cílů snížení emisí skleníkových plynů alespoň pro roky 2030 a 2050, popis pokroku, jehož podnik při plnění těchto cílů dosáhl a prohlášení o tom, zda jsou cíle podniku týkající se environmentálních faktorů založeny na přesvědčivých vědeckých důkazech;
- c) popis úlohy správních, řídicích a dozorčích orgánů s ohledem na otázky udržitelnosti, jakož i jejich odborných znalostí a dovedností ve vztahu k plnění této úlohy či přístupu těchto orgánů k těmto odborným znalostem a dovednostem;
- d) popis politik podniku ve vztahu k otázkám udržitelnosti;
- e) informace o existenci systémů pobídek spojených s otázkami udržitelnosti, které jsou nabízeny členům správních, řídicích a dozorčích orgánů;
- f) popis:
 - i) postupu náležité péče, který podnik uplatňuje ve vztahu k otázkám udržitelnosti a případně v souladu s požadavky Unie, jimiž se podnikům ukládá povinnost uplatňovat postupy náležité péče;
 - ii) hlavních skutečných nebo potenciálních nepříznivých dopadů spojených s vlastní provozní činností podniku a s jeho hodnotovým řetězcem, včetně jeho produktů a služeb, obchodních vztahů a dodavatelského řetězce, opatření přijatých k identifikaci a sledování těchto dopadů a dalších nepříznivých dopadů, které musí podnik identifikovat podle jiných požadavků Unie, jimiž se podnikům ukládá povinnost uplatňovat postupy náležité péče;
 - iii) opatření přijatých podnikem, která mají skutečným nebo potenciálním nepříznivým dopadům předcházet, zmírnit je, napravit je nebo je dstranit, a výsledků těchto opatření;
- g) popis hlavních rizik pro podnik spojených s otázkami udržitelnosti, včetně popisu hlavních závislostí podniku na těchto otázkách a způsobu, jakým podnik tato rizika řídí;
- h) ukazatele relevantní pro uvádění informací uvedených v písmenech a) až g).

5. EVROPSKÉ STANDARDY VÝKAZNICTVÍ O UDRŽITELNOSTI (ESRS)

Nařízením Komise v přenesené pravomoci (EU) 2023/2772 ze dne 31. července 2023, [11] kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/34/EU, pokud jde o standardy pro podávání zpráv o udržitelnosti, se upřesňují informace, které mají podniky vykazovat s ohledem na otázky udržitelnosti při podávání zpráv. Závazné společné Evropské standardy pro podávání zpráv o udržitelnosti (ESRS) jsou nezbytné k dosažení situace, kdy mají informace o udržitelnosti srovnatelný status jako finanční informace. Přijetí standardů pro podávání zpráv o udržitelnosti formou aktů v přenesené pravomoci zajišťuje harmonizované podávání zpráv o udržitelnosti v celé Unii. Podnik tak požadavky na podávání zpráv o udržitelnosti podle směrnice 2013/34/EU plní tím, že podává zprávy v souladu se standardy pro podávání zpráv o udržitelnosti.



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

Cílem ESRS je specifikovat informace o udržitelnosti, které podnik zveřejňuje v souladu se směrnicí EP a Rady 2013/34/EU, ve znění směrnice (CSRD). ESRS konkrétně specifikují informace, které podnik zveřejňuje o svých **významných**

dopadech, rizicích a příležitostech v souvislosti s environmentálními, sociálními a správními otázkami udržitelnosti. ESRS nevyžadují, aby podniky zveřejňovaly informace o environmentálních, sociálních a správních tématech, na něž se vztahují ESRS, když podnik vyhodnotil předmětné téma jako **nevýznamné**. Informace zveřejňované v souladu s ESRS umožňují uživatelům prohlášení o udržitelnosti pochopit **významné dopady podniku na lidi a životní prostředí a významné dopady otázek udržitelnosti na rozvoj, výkonnost a postavení podniku**.

Evropské standardy výkaznictví o udržitelnosti (ESRS):

- ESRS 1 Obecné požadavky
- ESRS 2 Obecné informace
- ESRS E1 Změna klimatu
- ESRS E2 Znečištění
- ESRS E3 Vodní a mořské zdroje
- ESRS E4 Biologická rozmanitost a ekosystémy
- ESRS E5 Využívání zdrojů a oběhové hospodářství
- ESRS S1 Vlastní pracovní síla
- ESRS S2 Pracovníci v hodnotovém řetězci
- ESRS S3 Dotčené komunity
- ESRS S4 Spotřebitelé a koncoví uživatelé
- ESRS G1 Chování podniků

Cílem standardu ESRS 1 je umožnit porozumět struktuře ESRS, používaným pravidlům pro vypracování a základním pojmům a obecným požadavkům na přípravu a prezentaci informací o udržitelnosti v souladu se směrnicí 2013/34/EU, ve znění směrnice CSRD.

Existují tři kategorie standardů ESRS:

- a) průřezové standardy;
- b) tematické standardy v oblasti životního prostředí (E), sociálních vztahů (S) a správy a řízení (G) a
- c) odvětvové standardy (aktuálně se projednávají).

Průřezové a tematické standardy jsou odvětvově agnostické, což znamená, že se vztahují na všechny podniky bez ohledu na to, v jakém odvětví nebo odvětvích podnik působí.

Průřezové standardy ESRS 1 (Obecné požadavky) a **ESRS 2** (Obecné informace) se vztahují na otázky udržitelnosti, které jsou předmětem tematických standardů a odvětvových standardů. ESRS 1 popisuje strukturu standardů ESRS, vysvětluje pravidla pro vypracování a základní pojmy a stanovuje obecné požadavky na přípravu a prezentaci informací týkajících se udržitelnosti. ESRS 2 stanoví požadavky na zveřejňování informací, které má podnik poskytovat na obecné úrovni o všech významných záležitostech udržitelnosti v oblastech podávání zpráv o řízení, strategii, dopadu, řízení rizik a příležitostech a o ukazatelích a cílech.

Tematické standardy ESRS se zabývají tématem udržitelnosti a jsou strukturovány do témat a dílčích témat, případně do podtémat. Tematické ESRS obsahují specifické požadavky, které doplňují obecné požadavky na zveřejňování v ESRS 2.

Odvětvové standardy ESRS se vztahují na všechny podniky v daném odvětví. Zabývají se dopady, riziky a příležitostmi, které jsou pravděpodobně významné pro všechny podniky v určitém odvětví a které nejsou zahrnuty nebo nejsou dostatečně

zahrnuty v tematických standardech. Odvětvové standardy mají více témat a zabývají se tématy, která jsou pro dané odvětví nejdůležitější. Odvětvové standardy dosahují vysoké míry srovnatelnosti.

Pokud podnik dospěje k závěru, že dopad, riziko nebo příležitost nejsou zahrnuty nebo nejsou zahrnuty s dostatečnou podrobností v ESRS, ale jsou významné vzhledem k jeho specifickým skutečnostem a okolnostem, musí kromě požadavků na zveřejňování informací stanovených ve třech kategoriích standardů ESRS poskytnout další informace specifické pro daný podnik, aby uživatelé mohli **porozumět dopadům, rizikům nebo příležitostem podniku souvisejícím s udržitelností**.

Požadavky na zveřejňování informací ve standardu ESRS 2, v tematických ESRS a v odvětvových ESRS jsou strukturovány do následujících oblastí podávání zpráv:

- a) **správa a řízení (GOV)**: řídicí procesy, kontroly a postupy používané k monitorování a řízení dopadů, rizik a příležitostí a dohledu nad nimi (viz standard ESRS 2 kapitola 2 Správa a řízení);
- b) **strategie (SBM)**: způsob, jakým se strategie a obchodní model podniku vzájemně ovlivňují s jeho významnými dopady, riziky a příležitostmi, včetně toho, jak podnik tyto dopady, rizika a příležitosti řeší;
- c) **řízení dopadů, rizik a příležitostí (IRO)**: postupy, kterými podnik:
 - i. identifikuje dopady, rizika a příležitosti a posuzuje jejich významnost (viz IRO-1 v oddíle 4.1 ESRS 2),
 - ii. řídí významné otázky udržitelnosti prostřednictvím politik a opatření (viz oddíl 4.2 ESRS 2);
- d) **ukazatele a cíle (MT)**: výkonnost podniku, včetně stanovených cílů a pokroku při jejich plnění.

Standard ESRS 2 obsahuje:

- a) Minimální požadavky na zveřejňování informací o politikách (MDR-P) a opatřeních (MDR-A);
- b) Minimální požadavky na zveřejňování informací o ukazatelích (MDR-M) a cílech (MDR-T).

Podnik uplatňuje minimální požadavky na zveřejňování informací o politikách, opatřeních, ukazatelích a cílech spolu s odpovídajícími požadavky na zveřejňování informací v tematických a odvětvových evropských standardech pro podávání zpráv o udržitelnosti.

6. 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* [8], 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 přeměrování kapitálových toků k udržitelnějším činnostem opírá o společné komplexní chápání environmentální udržitelnosti činností a investic. Jasně 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 [9] 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

7. POSTUP IMPLEMENTACE U SPRÁVY ŽELEZNIC

V návaznosti na ustanovení

- 1) Nařízení EP a Rady (EU) 2020/852 o zřízení rámce pro usnadnění udržitelných investic (vytvoření klasifikačního systému environmentálně udržitelných hospodářských činností za účelem zvýšení udržitelných investic a boje proti klamavé ekologické reklamě, tzv. greenwashingu, finančních produktů, jež neoprávněně tvrdí, že jsou udržitelné),

- 2) Směrnice EP a Rady (EU) 2022/2464 ze dne 14. prosince 2022, o podávání zpráv podniků o udržitelnosti pro účetní období začínající dne 1. ledna 2025 (CSRD) a
- 3) Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2023/2772 ze dne 31. července 2023 (ESRS)

připravuje Správa železnic implementaci v organizaci s termínem uveřejnění Zprávy o udržitelnosti 2024 na jaře 2025. Závazně bude Správa železnic reportovat dle ESRS za období roku 2025.

Výchozím počinem bylo vytvoření **interní matice odpovědnosti** za jednotlivá témata. Dalším krokem bylo **posouzení významnosti** témat principem **dvojí materiality**. V rámci tohoto principu organizace bude zveřejňovat nejen to, jak aktivity z oblasti udržitelnosti ovlivňují její vlastní výkon a postavení, ale také informace o tom, jaký má její činnost celospolečenský dopad. S ohledem na **hodnotový řetězec** se informace v prohlášení o udržitelnosti rozšíří o informace o významných dopadech, rizicích a příležitostech spojených s organizací prostřednictvím jejích přímých a nepřímých obchodních vztahů v předcházejících nebo navazujících částech hodnotového řetězce. Zároveň organizace klasifikuje své činnosti podle **EU taxonomie**, tzn. reportuje o environmentálních cílech, ke kterým svými investicemi přispívá, a o podílu investic, které jsou s taxonomií v souladu. Taxonomie pracuje s 6 hlavními cíli:

- Zmírňování změny klimatu (mitigace)
- Přizpůsobování se změně klimatu (adaptace)
- Ochrana a obnova biodiverzity a ekosystémů
- Udržitelné využívání a ochrana vodních a mořských zdrojů
- Prevence a omezování znečištění
- Přechod na oběhové hospodářství

Podmínkou pro naplnění taxonomie je přispívat alespoň k jednomu z environmentálních cílů a zároveň významně nepoškozovat cíle ostatní. Investice by měla také splňovat minimální záruky (safeguards) v ostatních oblastech podnikání (S, G).

První zprávu připraví organizace za období roku 2024 s ověřením externím auditorem.

8. 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. Rozhodnutím generálního

ředitele se Správa železnic strategickému přístupu k udržitelnosti v rámci organizace věnuje od roku 2021, což je i předpokladem pro lepší zdrojování finančních prostředků. Zjednodušeně řečeno, organizace získá výhodu udržitelného financování. S kodifikací ESRS se organizace zařadila mezi velké obchodní korporace, které se systematicky věnují výkaznictví ve vztahu k ochraně životního prostředí, sociálním vztahům a správě a řízení organizace. V souvislosti s vydáním ESRS dostává zkratka ESG jednoznačný rámeček. 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) – 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 hodnotovém řetězci. 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] Štěrbá R. Implementace nefinančního výkaznictví o odpovědnosti a udržitelnosti ESG u Správy železnic, státní organizace. Vědeckotechnický sborník Správy železnic. No. 6. p. 14-26. Praha. 2022. ISSN 2694-9172 [4773bfbb-910a-4fb6-82ae-2f394cfb02f0 \(spravazeleznic.cz\)](https://www.spravazeleznic.cz/4773bfbb-910a-4fb6-82ae-2f394cfb02f0)
- [2] United Nations, Information Centre Prague. <https://www.osn.cz/osn/hlavni-temata/sdgs/>
- [3] 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_web.pdf
- [4] 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
- [5] Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Evropské radě, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů: Zelená dohoda pro Evropu, COM/2019/640 final
- [6] 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
- [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] 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

- [9] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/852 ze dne 18. června 2020 o zřízení rámce pro usnadnění udržitelných investic.
- [10] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2022/2464 ze dne 14. prosince 2022, kterou se mění nařízení (EU) č. 537/2014, směrnice 2004/109/ES, směrnice 2006/43/ES a směrnice 2013/34/EU, pokud jde o podávání zpráv podniků o udržitelnosti (CSRD).
- [11] Nařízení Evropské komise v přenesené pravomoci (EU) 2023/2772 ze dne 31. července 2023, kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/34/EU, pokud jde o standardy pro podávání zpráv o udržitelnosti (ESRS).

Lektorovali:

Ing. Jan Sechter,

předseda dopravní sekce, Hospodářská komora ČR

Prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D., DBA,

rektor Vysoké školy logistiky

2. Průmyslová bezpečnost OT

Přemysl Šrámek⁶

Anotace

Předmětem článku je nastínění základů průmyslové bezpečnosti OT vč. legislativního ukotvení a uvedení vybraných metodik. Článek dále konkretizuje jednotlivé typy OT zařízení a používaných protokolů.

Abstract

The aim of this article is to find the base of industrial OT security, including legislative anchoring and introduction of selected methodologies. The article further specifies the different types of OT devices and protocols used.

Klíčová slova

Kybernetická bezpečnost, OT (operational technology), primární referenční architektura, průmyslová bezpečnost.

Keywords

Cyber security, OT (operational technology), PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture), industrial security.

Úvod

Jedním ze základních pilířů provozování dráhy a drážní dopravy je bezpečnost systému provozování dráhy a drážní dopravy jako celku. Jednotlivé aspekty tohoto celku jsou velmi často komplexními procesy, které vyžadují multikriteriální způsob hodnocení. Jedním z těchto aspektů je i kybernetická bezpečnost, která v drážním prostředí velmi úzce souvisí s průmyslovou bezpečností, resp. zabezpečením tzv. OT (operational technology).

1. Legislativa

Mezi hlavní poznávací znaky OT prvků patří, že řídí, resp. jsou zapojeny do řídicího procesu spojeného s fyzickým světem (např. senzory v kolejišti). Takto mohou být řízeny všechny typy procesů, tedy procesy kontinuální, diskrétní, dávkové, ale i jejich kombinace představující procesy hybridní. Základní legislativou pro kybernetickou bezpečnost OT prvků v ČR je vyhláška č.82/2018 Sb., o bezpečnostních opatřeních, kybernetických bezpečnostních incidentech, reaktivních opatřeních, náležitostech podání v oblasti kybernetické bezpečnosti a likvidaci dat (vyhláška o kybernetické bezpečnosti), konkrétně její § 28 Průmyslové, řídicí a obdobné specifické systémy, která požaduje po povinné osobě následující:

⁶ Ing. Přemysl Šrámek, Ph.D., CISA, odbor interního auditu, Správa železnic, státní organizace

- a) použití technických a programových prostředků, které jsou určeny do specifického prostředí,
- b) omezení fyzického přístupu k zařízením těchto systémů a ke komunikační síti,
- c) vyčlenění komunikační sítě určené pro tyto systémy od ostatní infrastruktury,
- d) omezení a řízení vzdáleného přístupu k těmto systémům,
- e) ochranu jednotlivých technických aktiv těchto systémů před využitím známých zranitelností a
- f) obnovení chodu těchto systémů po kybernetickém bezpečnostním incidentu (1).

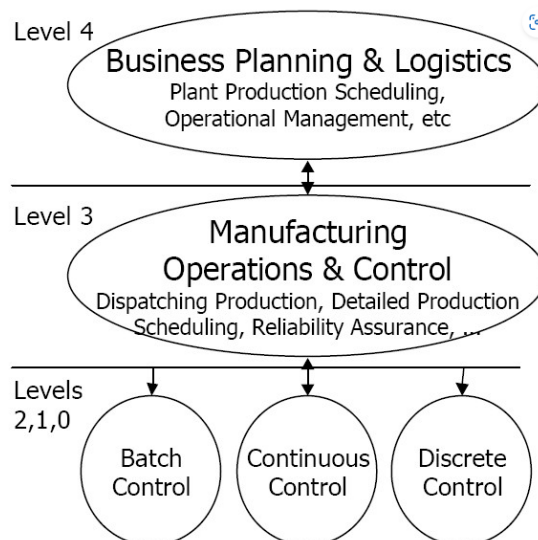
Pro implementaci výše uvedených ustanovení je dále vhodné blíže stanovit, resp. konkretizovat tzv. primární referenční architekturu.

2. Primární referenční architektura

Primární referenční architektura používaná pro OT systémy je např. Purdue Enterprise Reference Architecture (PERA). Tato architektura rozděluje systémy a prvky do celkem 5 vrstev – viz Tabulka 1 (1) a Obr. 2. Větší detail k problematice PERA rozvádějí standardy uvedené v rámci PERA Enterprise Integration Web Site (2).

Tabulka 1: Jednotlivé vrstvy PERA architektury (1)

Vrstva	Přiřazené systémy / prvky
L4	IT síť organizace
L3	OT síť, systémy celkového dohledu a řízení
L2	Ovládací a dohledové systémy pro dílčí procesy
L1	Řídící systémy dílčích procesů
L0	Akční prvky a senzory dílčích procesů



Obr. 1: Purdue Enterprise Reference Architecture (3)

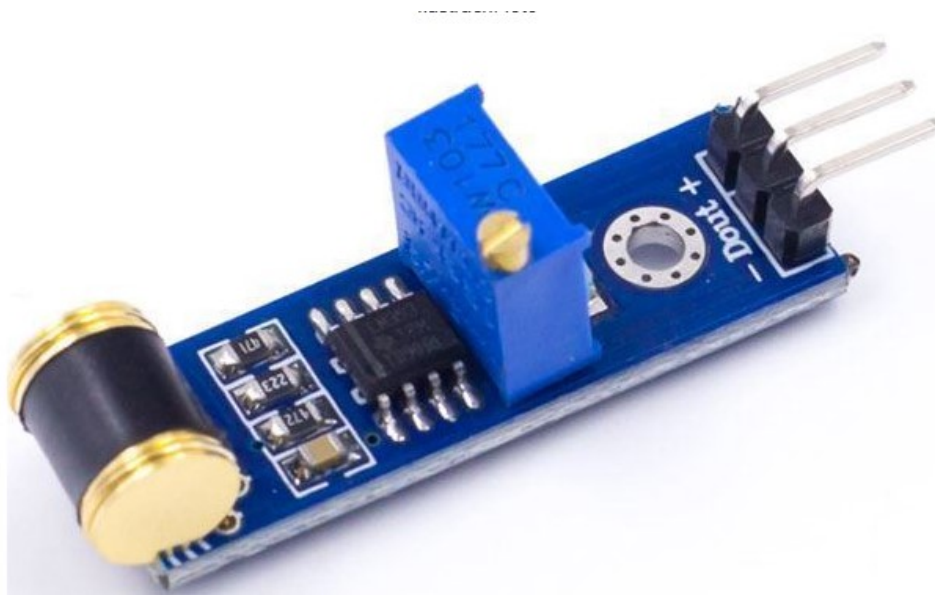
V tabulce 2 jsou dále uvedeny vybrané OT systémy a jejich prvky s jejich obvyklým umístěním v rámci PERA (OT je obecně zařazeno do vrstev L0-L3 PERA). Některé z prvků mohou být zařazeny i do více vrstev této architektury (mohou v konkrétních případech sloužit lehce k rozdílným účelům). (1)

Tabulka 2: Vybrané OT systémy a jejich umístění v rámci PERA (1)

Vrstva	OT systém
L3	SCADA, Data historians, Operátorské a inženýrské stanice
L2	DCS, HMI, Operátorské a inženýrské stanice
L1	Chytré akční prvky a senzory, DCS, PLC, RTU, SIS
L0	Akční prvky a senzory (vč. chytrých)

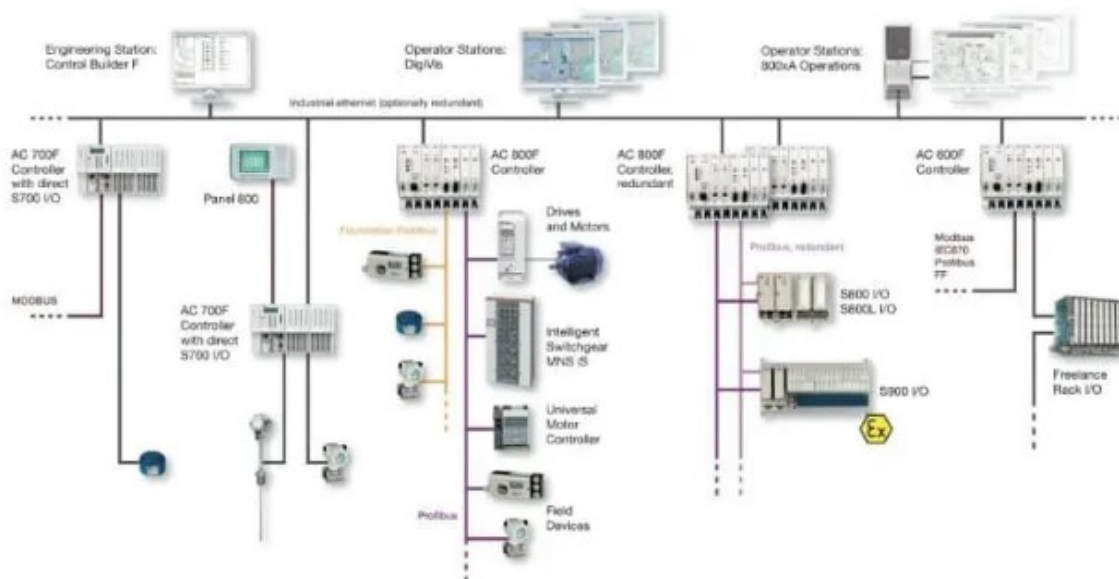
Jednotlivé OT systémy z tabulky 2 jsou dále stručně popsány níže (1), a to vč. vyobrazení:

- PLC – programovatelný logický kontrolér – programovatelný čip, řídící průmyslové a specifické procesy, komunikující prostřednictvím specifických (průmyslových) protokolů,



Obr. 2: PLC – snímač vibrací / otřesů (4)

- DCS (Distributed Control System) – průmyslový řídicí systém s distribuovanou architekturou, integrovaným řízením a monitoringem, určený pro kompletní řízení kontinuálních procesů prostřednictvím proprietárních komunikačních protokolů. Je orientován na řízení procesů (rozdíl oproti SCADA, který je orientován především datově – sběr a řízení dat),



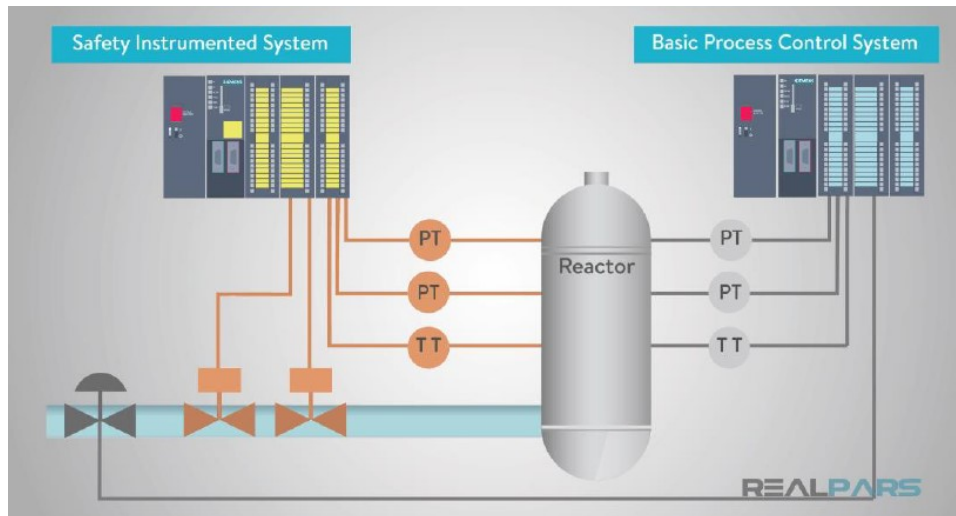
Obr. 3: DCS (5)

- RTU (Remote Terminal Unit) – průmyslový PC, instalovaný v geograficky oddělených lokalitách (od centrálního řídicího systému) za účelem monitoringu a ovládání lokálních akčních prvků a senzorů, komunikující prostřednictvím specifických (průmyslových) protokolů, připojený vzdáleně (optickým či metalickým vedením, rádiovým signálem),



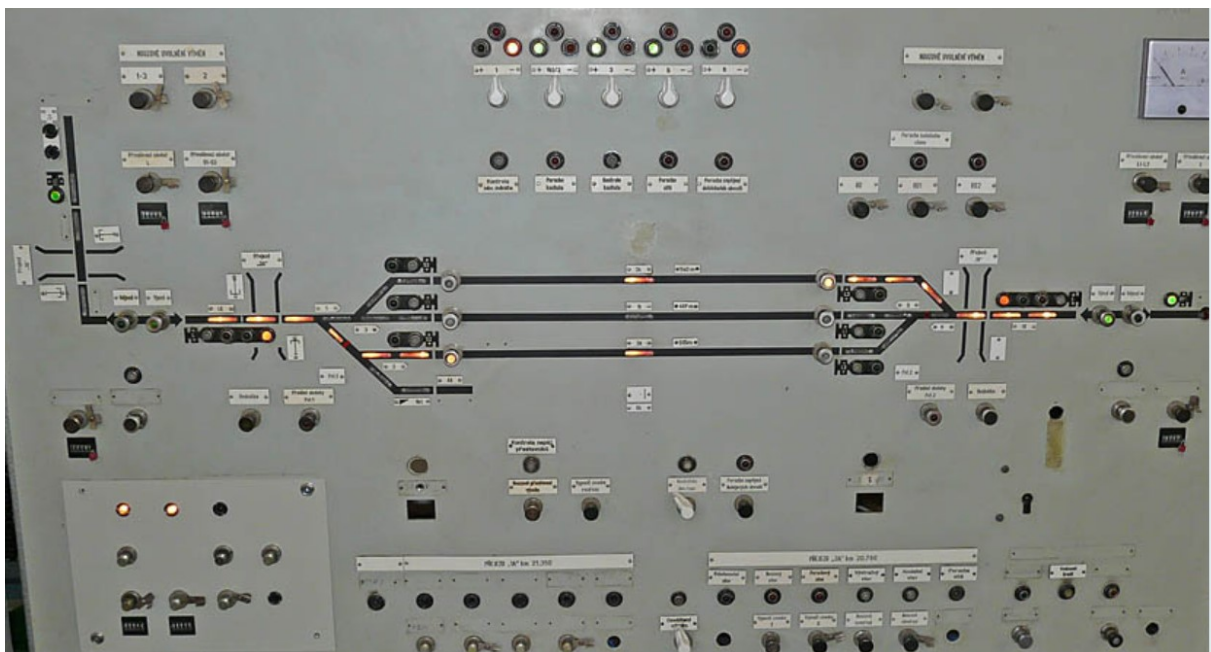
Obr. 4: RTU (6)

- SIS (Safety Instrumented System) – nezávislý bezpečnostní systém specifických (průmyslových) prostředí, chrání vysoce kritické procesy prostřednictvím jejich dodatečné kontroly s možností automatického zastavení při výskytu nebezpečných stavů (např. systém pro měření lomu kolejí, systém kontrolující postavení vlakové cesty a stav výhybkových přestavníků),



Obr. 5: SIS (1)

- HMI (Human Machine Interface) – interakční rozhraní pro ovládání a monitoring jednotlivých dílčích procesů (např. ovládací pulty zabezpečovacího zařízení, přenosný tablet pro diagnostiku tratě),



Obr. 6: HMI (7)

- SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – systém sběru a vyhodnocování dat vč. grafického interakčního rozhraní pro ovládání a monitoring komplexních lokálních i geograficky distribuovaných procesů (např. sběr meteorologických jevů od meteostanic, servery, které zpracovávají data a linky a přenosové části, měření otřesů náprav a celkový systém pro vyhodnocení – technické zařízení i SW),



Obr. 7: SCADA (8)

- Data Historian – centralizovaný log management nástroj (sběr, uchovávání a práce s daty specifických (průmyslových) systémů),



Obr. 8: Data historian (9)

- Operátorské a inženýrské stanice – pro řízení a monitoring procesů (operátorské), pro konfiguraci a správu (inženýrské) – především inženýrské stanice jsou z pohledu zabezpečení extrémně citlivé (1).



Obr. 9: Operátorská (inženýrská) stanice (9)

OT systémy a prvky, uvedené v kapitole výše, mezi sebou komunikují prostřednictvím velmi specifických (průmyslových) protokolů – ty nejčastěji využívané jsou uvedeny níže:

- MODBUS (bez bezpečnostních mechanismů, možnost rozšíření MODBUS/TCP Security),
- OPC DA (nativně suboptimální úroveň bezpečnosti díky DCOM, problematický z pohledu nutnosti konfigurací ACL na FW),
- OPC UA (nativně využívá autentizovaná a šifrovaná spojení),
- IEC 60870-5_104 (IEC 104) – bez bezpečnostních mechanismů, možnost bezpečnostního rozšíření dle standardu IEC 62351,
- EIBnet/IP, KNXnet/IP (bezpečnostní rozšíření EIBsec),
- Lantronix Discovery Protocol (defaultně slabý, ale s podporou bezpečnostních mechanismů),
- S7comm (protokol firmy Siemens pro PLC),
- BACnet/IP (bezpečnostní rozšíření BACnet/SC),
- DNP3 (bezpečnostní mechanismy a rozšíření různého rozsahu dle standardu IEC 62351). (1)

3. Zabezpečení specifických (průmyslových) systémů

Specifická (průmyslová) prostředí se často potýkají s následujícími problémy:

- dlouhé životní cykly použitých zařízení a technologií s omezenou možností skenování zranitelností a omezeným patchováním,
- proprietární uzamčení od dodavatele příslušných systémů (vendor lock-in), vedoucí k nehospodárnosti jejich provozování,
- zastaralé operační systémy i na přilehlých IT prvcích (z důvodu zajištění kompatibility),
- velmi omezená možnost zásahu do stávající OT infrastruktury (nutnost přezkoušení, akceptačních testů),
- komunikace na bázi specifických protokolů (často bez bezpečnostních mechanismů, proprietární protokoly či sériové protokoly přenášené přes Ethernet/TCP IP).

Pro zajištění průmyslové bezpečnosti a určitou mitigaci problémů, uvedených výše, lze využít např. následující přístupy:

- CIA triáda – jedná se o klasické zajišťování důvěrnosti (C), integrity (I) a dostupnosti (A), pro zabezpečení OT není ale dostačující,
- Parkerovská hexáda – jedná se o rozšíření CIA přístupu o možnost kontroly, autenticitu systému a jeho „užitečnost“ (utility),
- RAMS – jedná se o kombinaci spolehlivosti (R), dostupnosti (A), udržovatelnosti (M) a bezpečnosti (S – zde ale Safety). Je možná např. i kombinace s CIA triádou výše,
- IEC 62443 – obsahuje nad rámec CIA triády 7 základních požadavků – řízení identifikace a autentizace, kontrolu používání, systémovou a datovou integritu, důvěrnost dat, omezení toku dat, včasnou odpověď na událost, dostupnost zdrojů.

Současně je možné pro zajištění průmyslové bezpečnosti v OT definovat 5 esenciálních bezpečnostních oblastí:

- obranyschopná architektura – podporuje viditelnost v síti, identifikaci jednotlivých zařízení, sběr logů a segmentaci vč. využívání demilitarizovaných zón,
- zvládání bezpečnostních incidentů – na základě jednotlivých operací a procesů vytvořený plán zvládání incidentů vč. plánů obnovy (a pravidelných cvičení),
- monitoring sítí – kontinuální bezpečnostní monitoring (vč. monitoringu viditelnosti sítě),
- zabezpečený vzdálený přístup – využití maximální použitelné míry zabezpečení (vícefaktorové autentizace, jump servery apod.),
- řízení zranitelností na bázi rizik – nastavení odpovídajících kontrol zabezpečení vč. procesu patchování a mitigace případného dopadu zranitelnosti (10).

Výše uvedené bezpečnostní oblasti technického charakteru je dále vhodné doplnit organizačními opatřeními vč. zvyšování bezpečnostního povědomí zaměstnanců.

4. Řízení kybernetické bezpečnosti v OT

Řídit kybernetickou bezpečnost, a to nejen v OT, je nezbytné vždy systematicky, a to na základě dokumentu, který schválilo a vzalo za své vrcholové vedení organizace. Tímto dokumentem může být např. strategie kybernetické bezpečnosti organizace či koncepce zabezpečení OT prostředí. Tyto dokumenty mohou být sepsány na základě různých bezpečnostních metodik, vždy by měly ale obsahovat obdobná elementární ustanovení, resp. harmonogram jednotlivých procesů. Níže jsou uvedeny jednotlivé prvky programu kybernetické bezpečnosti dle rámce NIST, konkrétně NIST SP 800-82 (11) – program kybernetické bezpečnosti OT by měl zahrnovat:

- stanovení governance pro kybernetickou bezpečnost OT,
- ustanovení a vycvičení (školení a potřebná praxe) multioborového týmu pro implementaci kybernetické bezpečnosti OT,
- definici strategie / koncepce kybernetické bezpečnosti OT,
- definici specifických politik a procedur pro kybernetickou bezpečnost OT,
- zvyšování bezpečnostního povědomí jednotlivých bezpečnostních rolí vč. uživatelů v oblasti zabezpečení OT (opakovaná aktualizovaná školení),
- implementaci rámce řízení rizik specifického pro OT (vč. hrozeb a zranitelností),
- vytvoření kontinuální schopnosti organizace kontrolovat údržbu a provozování OT, reagovat adekvátně na bezpečnostní incidenty vč. schopnosti zajištění obnovy.

Dalším ze základních předpokladů řízení kybernetické bezpečnosti OT je nutnost kontinuálního zlepšování, pro které je nejčastěji používán Demingův (PDCA) cyklus – jedna z jeho modifikací je na Obr. 10.



Obr.: 10: Bezpečnostní rámec a kontinuální zlepšování (1)

Pro zabezpečení OT prostředí platí také pravidlo security vs. safety, kdy ochrana zdraví a života osob (safety) má vždy přednost před kybernetickou bezpečností (security). V rámci implementace zabezpečení OT to např. znamená aplikaci kompenzačních bezpečnostních opatření pro procesy, u kterých z objektivních důvodů nebylo možné použít předepsané bezpečnostní opatření (vždy ale musí být zdokumentováno). Pro vytvoření obranyschopné architektury OT a zmenšení případného rizikového interakčního povrchu platí také (stejně jako pro kybernetickou bezpečnost obecně) nutnost k nastaveným procesům a technickým opatřením vždy disponovat proškoleným, kompetentním a loajálním personálem (1).

Závěr

Průmyslová bezpečnost OT je jedním ze základních prvků kybernetické bezpečnosti, umožňujícím manažerovi železniční infrastruktury bezpečné provozování dráhy. Specifická prostředí a systémy je více než kdy dříve potřeba systematicky bránit a chránit, neboť útočníci vyvíjejí stále větší snahu tato prostředí kompromitovat. Především v případě útočníků podporovaných státem je cílem kompromitace OT prostředí ochromení běžného života občanů napadeného státu.

Zabezpečení OT prostředí jako takové je velmi komplexní disciplínou, na které musí mít zájem celá organizace vč. jejího vrcholového vedení. Náklady na zabezpečení OT se mohou sice jevit jako vysoké, ale odůvodnitelné, protože vedou k ochraně základních procesů provozovatele dráhy.

Literatura

- [1] Nettles Consulting. Bezpečnost průmyslových a specifických systémů a prostředí. Školení pro Správu železnic, 06/2024.
- [2] PERA Enterprise Integration Web Site [online]. 2024 [cit. 2024-10-08]. Dostupné z: <https://www.pera.net/>
- [3] PERA Decision-making and control hierarchy [online]. 2024 [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Purdue_Enterprise_Reference_Architecture#/media/File:PERA_Decision-making_and_control_hierarchy.jpg
- [4] Snímač vibrací / otřesů – modul 801S [online]. 2024 [cit. 2024-10-08]. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/m478a-snimac-vibraciotresu---modul-801s/>
- [5] What is distributed control system? [online]. 2024 [cit. 2024-10-08]. Dostupné z: <https://www.electricaltechnology.org/2016/08/distributed-control-system-dcs.html>
- [6] RTU: Řešení WAGO v energetické automatizaci [online]. 2024 [cit. 2024-10-08]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/rtu-reseni-wago-v-energeticke-automatizaci>
- [7] Ovládací pult [online]. 2024 [cit. 2024-10-08]. Dostupné z: <http://diskuze.modely.biz/viewtopic.php?t=10411&p=207513>
- [8] CDP Přerov řídí dopravu již 17 let [online]. 2024 [cit. 2024-10-08]. Dostupné z: <https://sirdo.eu/cdp-prerov-ridi-dopravu-jiz-17-let/>
- [9] MS Copilot v Bingů na základě promptů autora [online]. 2024 [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://www.bing.com/chat?form=NTPCHB>

[10] The Five ICS Cybersecurity Critical Controls (sans.org) [online]. 2022 [cit. 2024-08-24]. Dostupné z: <https://www.sans.org/white-papers/five-ics-cybersecurity-critical-controls/>

[11] SP 800-82 Rev. 3, Guide to Operational Technology (OT) Security | CSRC (nist.gov) [online]. 2023 [cit. 2024-08-24]. Dostupné z: <https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/82/r3/final>

Lektorovali:

Ing. Radek Kánský,

CIA – České dráhy, a.s.

Pavel Kříž,

ČD Informační Systémy, a.s.

3. Historie napájecího jednofázového systému 50 Hz v Československu a ve světě ve čtyřicátých a padesátých letech 20. století pohledem dobových odborných textů (druhý díl)

Martin Boháč⁷

Klíčová slova

elektrizace železnic, vývoj proudových systémů, jednofázový proud průmyslového kmitočtu, turbínová lokomotiva TL 659.0, konsorcium 50 c/s Group, SÚDOP

Keywords

electrification of railways, development of current systems, single-phase current of industrial frequency, turbine locomotive, consortium 50 c/s Group, SÚDOP

Anotace

Po druhé světové válce se jednofázový proud průmyslového kmitočtu stal celosvětově nejvíce rozvíjeným napájecím systémem na železnici na celém světě, počínaje Novým Zélandem přes Asii, Evropu až po Spojené státy. Nechybělo mnoho, a i v Československu se stal dominujícím systémem. K tomu však jak známo z různých důvodů nedošlo.

Abstract

After World War II, industrial frequency single-phase current became the most developed power system for railways worldwide, from New Zealand through Asia, Europe to the United States. There wasn't much missing, and it became the dominant system in Czechoslovakia as well. However, as is known, this did not happen for various reasons.

⁷ Martin Boháč. Absolvent Střední průmyslové školy dopravní v Praze, obor elektrická trakce. Po praxi v různých dopravních a logistických firmách (HOPI, DHL a další) pracuje od roku 2005 v Odboru podpory prodeje ČD Cargo. Ve volném čase se věnuje historii elektrické trakce na železnici v Československu

Úvod

V první díle tohoto textu jsme popsali určitou prehistorii jednofázového systému 50 Hz na evropské a světové železnici. Po druhé světové válce bylo v odborné veřejnosti již jasné, že další elektrizace železniční dopravy půjde touto cestou – mimo jiné z důvodů svázání železnice se stále kapacitnějšími a robustnějšími veřejnými elektroenergetickými zdroji a sítěmi – přičemž ale stále zbývalo vyřešit několik zásadních problémů, v první řadě pohon hnacích vozidel. Jak byla tato úloha zvládnuta a jak byl systém 50 Hz postupně rozvíjen na světové a československé železnici v prvních zhruba patnácti poválečných letech se podíváme v následující, druhé a zároveň závěrečné části našeho textu.

Další odborné texty, uveřejňované v československých tiskovinách

První díl jsme zakončili ukázkou článku z 3. čísla časopisu *Elektrotechnický obzor* z roku 1949, pojednávajícího o lokomotivě pro systém 50 Hz Co 'Co ' švýcarské firmy *Oerlikon* pro francouzské *SNCF*. Následně v čísle 13 stejného roku vyšla rozsáhlá práce, věnovaná systému 50 Hz v Maďarsku, s názvem **ELEKTRISACE DRAH PADESÁTIPERIODOVÝM PROUDEM JEDNOFÁZOVÝM**.

„Práce se skládá ze tří článků. Prvý jedná o theoretických základech elektrisačního systému Ganz-Kandó. Popsána jsou zařízení lokomotiv maďarských státních drah, hlavně měnič fází (jednofázový-trojfázový) a měnič kmitočtu. Jsou shrnuty technické důvody pro uvedený systém. Druhý článek obsahuje hospodářské úvahy o systému Ganz-Kandó. Srovnány jsou hlavně investiční náklady padesátiperiodového systému jednofázového a systému stejnosměrného s napětím 3000 V. Třetí článek navazuje informativně na předchozí dva články. Je podán krátce vývoj elektrické trakce s padesátiperiodovým proudem. Připojena je bibliografie o této trakci a o měničových lokomotivách.

Prof. L. VEREBÉLY, Budapešť:

Základy padesátiperiodového elektrisačního systému Ganz-Kandó

(Překlad z německého textu.)

Technická tvorba je dnes ovládána směrnicí o plánovaném a racionálním hospodářství s energií, v němž je elektrisace v nejširším slova smyslu nejvhodnějším a nepostradatelným prostředkem k systematické výstavbě velkorysého zásobování země energií. Jak technická, tak i finanční hospodárnost vyžaduje jednak dalekosáhlou centralisaci výroby proudu ve velkých elektrárnách, pracujících ekonomicky a plánovitě do společné zemské sítě vysokého napětí za účelem lepšího využití a vzájemné výpomoci, jednak shrnutí pokud možno mnohých heterogenních kategorií spotřebitelů k utvoření příznivých poměrů zátěžových.

S tohoto hlediska nabývá systémová otázka dráhové elektrisace významu velmi podstatného a ne dosti oceněného, ač jde o charakteristický příznak velkého konsumenta. Nestačí dnes již zkoumati elektrisační systém pouze jednostranně se stanoviska čistě železničně technického. Naopak je nutné přihlížeti s náležitou

závažností k zájmům jak systematického hospodářství energií, tak i všeobecného národního hospodářství vůbec.

Tyto zájmy vyžadují, aby elektrisované dráhy se vzdaly svého dosud zvláštního stanoviska ve věci druhu proudu a zařadily se jako velcí odběratelé, obdaření co nejžádoucnějšími vlastnostmi, bezvýhradně do všeobecného hospodářství s elektrickou energií.

Z této úvahy vychází logicky, že za nejsprávnější řešení systému lze považovati takový systém, který nejen odpovídá všem železničně technickým požadavkům, ale který nevyžaduje výrobu, případně změnu, a přenos dráhového proudu, nýbrž umožňuje přímé napájení traťových vedení střídavým proudem o normální, t. j. padesátiperiodové frekvenci ze všeobecné národní energetické sítě.

Na velké výhody plynoucí z tohoto systematického zařazení elektrického dráhového provozu do všeobecného hospodářství elektřinou, poukázal podle mé paměti nejprve v roce 1912 známý americký odborník S. Insull a o čtyři roky později velmi důrazně Dr W. Boveri při diskusi o elektrisaci švýcarských spolkových drah. Posléze uvedený konstatoval, že výlučná výroba jen jednoho druhu proudu v elektrárnách, zásobujících i dráhy, je kardinální podmínkou pro hospodárnost elektrického dráhového provozu. Tehdy však, a ještě po dlouhou dobu potom, nebyl vyřešen takový systém, který by umožnil elektrisaci drah v tomto smyslu. Vyslovený názor byl však od té doby sdílen mnohými energetickými hospodáři. Na první konferenci o světové energii v roce 1924 v Londýně, prohlásili vynikající angličtí a američtí odborníci, jako C. H. Merz a W. S. Murray, bezprostřední přípoj elektrické dráhy na všeobecnou energetickou síť za podstatný požadavek k racionálnímu vytvoření velkorysého elektrického rozvodního systému, t. zv. Super-power systém.

Též na posledním dílčím zasedání světové konference o energii v Haagu v roce 1947 byl velký zájem o padesátiperiodový systém dráhový, a to pozoruhodně od země, v které dráhový systém stejnosměrného proudu vysokého napětí je v rozsáhlé míře použit. Podle Bulletin de l'Association internat, du Congrès des chemins de fer z prvního září 1947, přichází A. Gache k závěru, že jediný systém, kterému lze dáti přednost před systémem se stejnosměrným proudem 1500 V, jak je ve Francii používán, je padesátiperiodový systém jednofázový. Zdá se, že sen, který inženýři dříve nedovedli uskutečnit, lze nyní realizovati díky pokusům Kandó-ovým v Maďarsku a pokusům na dráze Höllenthalbahn. Máme-li v budoucnosti elektrisovati trati se střední dopravou, avšak s obtížnými poměry trakčními, měli bychom uvažovati o padesátiperiodovém systému jednofázovém. Že zájem francouzských odborníků nezůstal jen theoretickým, dovídáme se z článku šéf-inženýra elektrisačního oddělení M. Garreau v Revue Générale de l'Electricité, Juillet 1948, str. 271, podle kterého objednaly francouzské dráhy tři padesátiperiodové jednofázové zkušební lokomotivy. Toto rozhodnutí Francouzů, průkopníků stejnosměrné trakce v Evropě, dokazuje zřetelně, že stejnosměrný systém, jinak způsobilý pro silně zatížené hlavní tratě, omezuje ekonomicky jednotnou elektrisaci, o kterou se bezesporu má usilovati. Z tohoto přesvědčení, vyplývajícího z vlastní zkušenosti, začínají nyní ve Francii zkoušet to, což jsme v Maďarsku učinili již před čtvrtstoletím a umožnili vyvinouti systém, který nejen všem technickým požadavkům plně odpovídá, ale který

dokázal, že je jediným, který v naší zemi (v Maďarsku) umožňuje elektrisaci drah s hlediska hospodárnosti. Že odpovídá plně všem technickým požadavkům, plyne z toho, že je použit již 16 let na nejdůležitější hlavní trati maďarských státních drah v rychlíkové dopravě s vlaky o váze 600 t a rychlostí 100 km/hod. a v nákladní dopravě s uhelnými vlaky o váze 1400 t a rychlosti 50 km/hod. Základy použitého padesátiperiodového systému s fázovým měničem, jak jej Dr h. c. Kandó v roce 1917 vytvořil, opírají se o požadavky, které klade jednak hospodárnost dráhového provozu, jednak bez- poruchové zásobení země energií, na které je elektrisovaná dráha přímo připojena jako velký odběratel proudu.

Pohlíží-li se na lokomotivy s hlediska dráhového provozu, je třeba snažiti se o to, dosáhnouti maximálního výkonu, který je ještě hospodářsky a provozně bezpečně dosažitelný, při dané váze a daných rozměrech. V tomto vztahu je velmi důležitá účinnost, a to ne snad pro několik málo procent, jichž možno ušetřiti v specifické spotřebě energie, jako hlavně proto, že lze tím výkonnost motoru podstatně zvýšiti. Výkon, jež lze umístiti do určitého prostoru, závisí v první řadě od množství tepla, které nutno odvésti, aby nebyla překročena ještě přípustná teplota. Množství tepla je úměrné elektrickým a magnetickým ztrátám, které samy o sobě určují účinnost. Proto lze zvýšením účinnosti o několik málo procent přispěti dosti podstatně k větší specifické výkonnosti, t. j. k menší váze motoru."

Zde následoval rozsáhlý a velmi detailní popis lokomotivy Kandó řady V 40 MÁV, který vynecháváme, a dále pak:

„Obsluha lokomotivy je velmi jednoduchá. Na každém stanovišti jsou dvě páčky, jedna k nastavování žádoucího stupně rychlosti, druhá k urychlování, případně k nastavování žádoucího stupně příkonu. K rozjezdu dá strojvůdce rychlostní páčku na první stupeň, zatáhne za urychlovací páčku, až je dosažen žádoucí příkon a vše ostatní ponechá pak automatickému řízení. Lokomotiva se rozjede, urychluje vlak a dosáhne rychlost prvního stupně, aniž by byl nastavený příkon překročen. Pak postaví strojvůdce rychlostní páčku na druhý stupeň a zatáhne znovu za páčku urychlovací. Lokomotiva urychluje dále, až dosáhne rychlost druhého stupně. Takto se pokračuje, až k dosažení nejvyšší dovolené nebo potřebné rychlosti, potom se ponechá lokomotiva sama sobě. Jede-li vlak po spádu, započne automaticky rekuperace energie při rychlosti prakticky stálé aniž by strojvůdce potřeboval co podnikati, tak jak je tomu všeobecně u všech trojfázových lokomotiv. Vlak se opírá o lokomotivu. Lze též odbrzditi vlak od dosaženého stupně rychlosti na nejbližší nižší tím, že se rychlostní páčka po- staví na tento nižší stupeň, a že se zatáhne za urychlovací páčku jako při rozjezdu. Při rekuperaci udržuje automatické řízení účinník zrovna tak na konstantní hodnotě, jako při jízdě proudem.

Je zde třeba zdůrazniti, že charakteristická vlastnost společná všem lokomotivám s trojfázovými motory, že se jezdí na tvrdých rychlostních stupních, vlastnost, která při diskusích se často vytýká jako nevýhoda, je naopak od provozních odborníků považována za podstatnou výhodu. Zajišťuje totiž, že jízdní časy jsou podle jízdního řádu přesně dodržovány docela nezávisle na pozornosti a zručnosti strojvůdce, na povětrnostních poměrech a na zátěži vlaků. Poněvadž každý jízdní řád je sestaven s určitými časovými rezervami, mohou býti dohnána případná zpoždění

ve stanicích. Stává se často, že mezinárodní vlaky, přijíždějící na maďarské hranice zpožděně, dojíždějí, díky elektrickým lokomotivám, včas do Budapešti. Spolehlivá rychlost, nerušená náhodami, ulehčuje provoz a zvyšuje bezpečnost.

Nové lokomotivy, které se připravují, budou proti nynějším poněkud pozměněny, což lze ocenit jako další vývoj původního systému. Státní dráhy požadují výkon vyšší o 28% a rychlost větší o 25%, a při tom váhu zmenšenou o 10%. Tomu odpovídá:

hodinový výkon... 3200 ks oproti 2500 ks,
max. rychlost 125 km/h oproti 100 km/h,
váha v provozu ... 85 t oproti 94 t.

Kromě toho má nová lokomotiva býti zrovna tak universální jako lokomotiva 1D1. Tyto úkoly mohou býti zvládnuty jen náhradou těžkého hlavního rámu podvozkovou konstrukcí Bo'Co'. Výkon musí pak býti rozdělen na menší jednotky, místo, aby byl soustředěn ve velkém hlavním motoru. Tím se dochází k individuálnímu pohonu os, jak je ho použito výlučně u všech nejnovějších lokomotiv jiných systémů.

U menších motorů není však dosti místa na přepínání počtu pólů a žádoucích rychlostních stupňů je třeba dosáhnouti jiným způsobem. Řešení se našlo v měniči period, spojeném s měničem fází a schopném dodávat trakčním motorům trojfázový proud o 25, 50, 75, 100 a 125 periodách.

V podstatě je měnič period trojfázový indukční stroj kroužkový, obvyklé stavby, jenž je napájen měničem fází padesátiperiodovým trojfázovým proudem, a který sám dodává trakčním motorům trojfázový proud o proměnných periodách. Trakční motory mohou býti řazeny stále paralelně. Uvedených pěti stupňů se dosáhne změnou řazení a změnou počtu pólů měniče period takto:

Čtyřpólový měnič fází pohání rotor měniče period – rotory obou strojů jsou spojeny spojkou – se synchronními otáčkami 1500. K docílení 25 period je statorové vinutí měniče period připojeno na trojfázové vinutí měniče fází. Statorové vinutí je dvoupólové a řaděno tak, že se magnetické pole točí ve stejném směru jako rotor. Padesátiperiodový trojfázový proud vyvolává magnetické pole, točící se 3000 ot/min. Kdyby rotor byl v klidu, byl by v něm indukován padesátiperiodový proud. Jelikož se však rotor točí ve stejném směru jako magnetické pole s 1500 ot/min, činí relativní jeho otáčky oproti poli jen

$$\Delta = 3000 - 1500 = 1500,$$

proto má proud indukovaný v rotoru počet period:

$$f = 1.1500/60 = 25.$$

Pro napájení trakčních motorů s 50 periodami je měnič period vypnut a proud je odebírán přímo z měniče fází. Pro vyšší počet period je připojeno vinutí, rotoru měniče period na trojfázové vinutí měniče fází. Vinutí je řaděno tak, že magnetické pole se točí ve stejném směru, jak se točí rotor. K docílení 75 period je řaděno měnič period dvoupólově. Kdyby rotor byl v klidu, pak by jeho pole, otáčející se 3000

ot/min, indukovalo v statorovém vinutí proud o 50 periodách. Poněvadž se však rotor sám točí ve stejném směru 1500 ot/min, je relativní počet otáček točivého magnetického pole k statoru: $\Delta = 3000 + 1500 = 4500$.

Z toho vyplývá počet period v dvoupólovém statoru: $f = 1.4500/60 = 75$.

K docílení 100 period je měnič period řaden čtyřpólově. Magnetické pole se točí oproti rotoru 1500 ot/min, rotor sám se točí v stejném směru též 1500 ot/min, je proto vzájemný počet otáček mezi magnetickým polem a státorem:

$$\Delta = 1500 + 1500 = 3000.$$

Počet period indukovaného proudu je tedy:

$$f = 2.3000/60 = 100.$$

Konečně pro 125 period je měnič period řazen šestipólově. Magnetické pole se točí relativně k rotoru 1000 otáčkami za minutu a k statoru otáčkami:

$$\Delta = 1000 + 1500 = 2500.$$

Počet period indukovaného proudu je:

$$f = 3.2500/60 = 125.$$

Trakční motory jsou šestipólové, trojfázové, kroužkové motory obvyklé stavby pro svorkové napětí asi 1000 V; rotory jsou připojeny na desky vodního spouštěče. Pět různým počtům period a průměru hnacích kol odpovídá pět rychlostních stupňů 25, 50, 75, 100 a 125 km/hod. Motory mají jednoduchý převod ozubenými koly na nápravy a jsou zavěšeny tlakovými ložisky, což umožňuje jejich lehká váha 1,9 t. To zjednodušuje mechanickou konstrukci a nevzbuzuje obavu, že by neodpírovaná váha působila nepříznivě na železniční svršek.

V ostatním jsou nové lokomotivy řešeny stejně jako nynější, ovšem s několika zjednodušeními a doplňky. Tak na příklad byl vypuštěn spouštěcí motor měniče fází, poněvadž tuto práci lze přenést na měnič period. V řízení bylo pero nahrazeno elektromagnetem. Mechanický pohon stykačů byl změněn na elektropneumatický, aby bylo možno spojit dvě lokomotivy v mnohonásobném řízení.

Aby se lépe mohl srovnati Kandó-ův systém s měničem fází s jinými systémy elektrisačními, jsou v závěru shrnuty všechny charakteristické znaky tohoto systému, a připomíná se, že uvedené vlastnosti nejsou jen theoretické, ale byly skutečně v šestnáctiletém provozu prokázány:

1. Automatickou regulací svorkového napětí trakčních motorů pracují tyto v široké mezi zátěže s přibližně konstantní a theoreticky největší účinností. Proto je i celková účinnost lokomotivní – až na první stupeň – prakticky konstantní a od využití výkonnosti lokomotivy nezávislá. Tato vlastnost je velmi pozoruhodná, nejen proto, že zvyšuje hospodárnost jednotlivé lokomotivy, ale i proto, že lze použít jen jeden druh lokomotivy se stejně dobrým výsledkem pro nejrůznější provozní účely, což je velmi výhodné z provozně technického hlediska. Kandó-ův systém je pro vývoj universálních typů lokomotiv zvláště způsobilý.

2. Poněvadž proudový obvod trakčních motorů je od primárního proudového odvodu dalekosáhle nezávislý, lze stavěti motory s velkým využitím aktivního materiálu. To vede při dané výkonnosti k lehkým motorům nebo při dané váze, k větší výkonnosti. Tato vlastnost se ukáže velmi příznivě zejména u nových lokomotiv s větším počtem motorů. Lze tím též alespoň částečně vyrovnati váhu měničového agregátu. Specifická výkonnost i dnešních lokomotiv se vyrovnává výkonnosti nejlepších lokomotiv jiných systémů ze stejné doby. Činí při trvalém výkonu 25,5 až 26,7 ks/t, případně 42,6-37,6 kg/ks. Nové lokomotivy jsou svou mechanickou konstrukcí a svými lehkými motory v tomto ohledu ještě příznivější a dosáhnou specifické výkonnosti 37,7 ks/t, případně 26,6 kg/ks, při rychlosti 100 km/hod a hodinovém výkonu.
3. Napětí dodávané trakčním motorům od měniče fází je v širokých mezích nezávislé na napětí traťového vedení. Příslušným dimensováním měniče fází lze dokonce docílití toho, že od určitého výkonu měnič fází překompensuje automaticky primární úbytek napětí, což znamená, že pokles traťového napětí zvýší svorkové napětí trakčních motorů. Lokomotiva nereaguje proto na úbytky napětí traťového vedení.
4. Poněvadž je primární proud odebírán z traťového vedení s žádným nebo jen trochu předbíhajícím posunutím fází, má induktivní složka napětí jen poměrně malý vliv, ač jde o padesát period. Rozhodně je za jinak stejných podmínek úbytek napětí při maďarském padesátiperiodovém systému s měničem fází podstatně nižší nežli u obvyklých drah s 16 periodami a u stejnosměrných drah s napětím 1500 – 3000 V.
5. Z obou posléze uvedených důvodů a se zřetelem na okolnost, že mírný pokles napětí neovlivňuje prakticky počet otáček trojfázových motorů, lze vzájemnou vzdálenost podružných stanic zvětšiti. Vyžaduje proto zdolání určitého dopravního programu menší počet měníren, čímž se sníží investiční náklady a provozní výlohy.
6. Rekuperace proudu působí u systému s měničem fází samočinně, t. j. bez přídavného zařízení a bez zásahu strojvůdce, jako u trojfázového systému; proto jsou všechny jedoucí lokomotivy vzájemně mezi sebou a s elektrárnou spojeny elasticky. Vzájemnou pomocí vlaků jedoucích současně na stoupání a spádu se vyrovnávají zátěžové hroty a zmenšuje se spotřeba energie.
7. Rekuperace nezmenšuje provozní výdaje jen výziskem energie, ale více tím, že šetří brzdová zařízení, obruče, špalky a kolejnice. V tomto ohledu docílily italské dráhy dosti pozoruhodných výsledků na svých horských tratích v severní Itálii. Tak se na příklad na trati Giovi zvýšila trvanlivost brzdících špalků a kolejnic na trojnásobnou dobu, což odpovídalo úspoře asi 200 000 zlatých lir ročně.
8. Nelze zapomenouti, že šetření brzdové výzbroje se neprojevuje jen v úspoře materiálu, ale též ve vzestupu bezpečnosti jízdy na spádu. Vlak jede dolů odbrzděný a používá mechanickou brzdu jen z nouze, případně k zastavení vlaku. Rychlost na spádu lze proto zvýšiti a to proto, že nárazy a nepravidelnosti se nevyskytují, jak je tomu při dlouho trvajícím mechanickém brzdění.
9. Dráhové zatížení není jen velmi vítaným velkoodběratelem proudu, ale přispívá i k zlepšení účinníku celého přenosu energie proto, že automatické řízení lokomotiv

udrůže nulové nebo předbíhající posunutí fází. Tato vlastnost je velmi důležitá, když dráhu je nutno napájet ze sítě všeobecně prospěšných elektráren.

10. Ze všech uvedených vlastností, ke kterým se přidružuje i základní vlastnost, že elektrizovanou trať možno připojit na každé dálkové vedení všeobecné zemské sítě a v každém bodě jednoduchou transformátorovou podružnou stanicí, resultuje, že celková účinnost přenosu energie je vysoká a že lze docílití oproti všem ostatním systémům jak v investicích, tak i v provozu podstatných úspor.

ČERVENEC 1949

Ing. P. SZTOKAY, Budapešť:

Hospodářské úvahy o elektrizaci hlavních drah padesátiperiodovým systémem Ganz-Kandó

Podle přednášky ve Varšavě dne 18. října 1948. (Překlad z německého textu.)

Podstatnou výhodou padesátiperiodového elektrizačního systému dráhového jsou jeho jedinečně nízké investiční náklady. Maďarské státní dráhy započaly proto před dvaceti lety svoje elektrizační práce s padesátiperiodovým systémem a hodlají též ve svých právě plánovaných rozšiřovacích pracích pokračovati s tímto systémem, poněvadž všechny ostatní systémy vyžadují značně vyšších investičních nákladů. Když v roce 1928 bylo v Maďarsku rozhodnuto o první etapě elektrizace hlavních drah, nebylo by bývalo možno elektrizovati jiným systémem se zřetelem na kapitál, který tehdy byl k dispozici. Při dnešních rozšiřovacích plánech bylo by třeba upustiti od elektrizace celé řady méně zatížených tratí, poněvadž by při jiném systému nežli padesátiperiodovém se neprokázala rentabilita elektrizace.

Tytéž základní skutečnosti jsou uznávány i v jiných zemích. Ve Francii bylo konstatováno, že lze pokračovati v elektrizaci stejnosměrným proudem jen na nejméně zatížených tratích, ačkoliv je Francie známa jako nejstarší průkopník stejnosměrné trakce v Evropě. Jakmile se však uvažuje o elektrizaci méně zatížených tratí, dokonce i o méně zatížených tratích hlavních, je nutno najíti hospodárnější systém, kterým může býti jen trakce s padesátiperiodovým střídavým proudem. Podle nejnovějších zpráv hodlá i Holandsko sledovati francouzský příklad a chce přejíti při další elektrizaci na padesátiperiodový systém.

Pokusíme se nyní srovnati investiční náklady při stejnosměrném a při střídavém proudu padesátiperiodovém. U stejnosměrného proudu předpokládáme stavbu podružných stanic na napětí 3000 V a u padesátiperiodového proudu maďarský systém s lokomotivami Ganz-Kandó s napětím 16 kV. Srovnání lze provéstí jen v hrubých rysech, jelikož přesnější výpočet vyžaduje konkrétní údaje a k výpočtu rentability je třeba znáti místní kalkulační předpoklady.

Vzdálenost podružných stanic se určuje jak při stejnosměrném proudu, tak při střídavém, podle rentabilních výpočtů. Menší počet stanic zmenší sice investiční náklady, ztráty však jsou vyšší. Při příliš malé vzdálenosti stanic zvýší se investiční náklady do té míry, že zmenšené ztráty je nemohou kompenzovat. Optimální vzdálenost je při stejnosměrném proudu 3000 V asi 20 – 35 km a při střídavém

proudu o 16 kV asi 35 – 60 km. Při tom údaje menších vzdáleností platí pro silně zatížené tratě horské a větší vzdálenosti pro slabě zatížené tratě. Křivky celkových nákladů probíhají však kolem optimálního místa velmi ploše a hospodárnost se proto při větších vzdálenostech zmenšuje jen málo. Přesto není účelné zvětšovat vzdálenost podružných stanic nad udané hodnoty k vůli snížení investičních nákladů. Dodržení optimálních vzdáleností je výhodné z toho důvodu, že vypadne-li výjimečně některá z podružných stanic z provozu a napájí-li úsek sousední podružné stanice, nevzrostou úbytky napětí neúměrně. Na elektrisované trati maďarské je vzdálenost podružných stanic 45 – 50 km; často se stává, že jednotlivé podružné stanice jsou vypnuty a příslušný traťový úsek je napájen proudem ze sousední podružné stanice. Tatáž zásada se uplatňuje nově i u francouzských státních drah pod názvem „Sous-stations répartis“. Na trati Paříž – Lyon jsou podružné stanice tak husté, že vypnutí některé podružné stanice nemá na provoz znatelný účinek. I při elektrisaci polských drah v okolí Varšavy při systému 3000 V stejnosměrného proudu byla zvolena poměrně malá vzdálenost stanic; pro elektrisaci sítě o délce tratí asi 200 km bylo objednáno 12 měníren.

Se zřetelem na tyto úvahy je plně odůvodněn nákladový poměr 8: 16. Skutečné poměry budou pro stejnosměrný proud spíše nepříznivější. Uvedené údaje jsou počítány pro střídavé napětí 16 kV. Na dráze Höllenthalbahn bylo zvoleno, jak známo, napětí 20 kV a rovněž francouzské dráhy zamýšlejí použití napětí 20 kV pro svou padesátiperiodovou elektrisaci. Při tomto napětí možno voliti ještě větší vzdálenost podružných stanic, což opět sníží náklady na podružné stanice. Úspory nejsou však vzhledem k celkovým nákladům elektrisačním příliš významné, běží-li o tratě silně zatížené; jejich význam vzroste při tratích se slabou dopravou. Zamýšlí-li se elektrisace i těchto tratí, možno uvážiti použití vyššího napětí. Při velkých vzdálenostech podružných stanic u systému padesátiperiodového střídavého proudu jsou náklady na přípoj napětí velmi nízké, jelikož lze umístiti jednotlivé podružné stanice v blízkosti některého vhodného přípojového bodu. Při elektrisaci trati Budapest – Hegyeshalom bylo na příklad třeba postavit pro čtyři podružné stanice pouze přípojová vedení v celkové délce 2 – 3 km. Poměry nejsou ovšem vždy tak příznivé, lze však všeobecně tvrditi, že přípoj podružných stanic na elektrických drahách s padesátiperiodovým střídavým proudem možno řešiti vždy velmi levně. Na stejnosměrných drahách je však prakticky vždy třeba počítati s tím, že je nutno stavěti podél elektrisované dráhy vlastní železniční vedení o vysokém napětí k napájení podružných stanic. Bez stavby tohoto železničního vedení o vysokém napětí neobešla se na příklad ani elektrisace trati Paříž – Lyon, ani polská elektrisace trati v okolí Varšavy.

Při střídavém proudě je třeba traťového vedení o průřezu 100, příp. 200 mm² mědi, podle toho, jde-li o dvojkolejnou nebo jednokolejnou trať. S těmito průřezy se vystačí až do největších zátěží, Při stejnosměrném proudě 3000 V je naproti tomu třeba průřezu 200 – 300 mm², případně 400 – 600 mm². U stejnosměrného proudu nelze opomenouti ani náklady na kolejové spojky. Střídavý proud nevyžaduje, jak známo, kolejnicových spojek a při jeho použití nevyskytují se korozní zjevy. U stejnosměrného proudu je třeba konečně předvídati řadovny mezi jednotlivými stanicemi podružnými, aby mohly býti jednotlivé traťové úseky napájeny oboustranně a přitom bylo umožněno vypnutí dvou sousedních podružných stanic.

Při padesátiperiodovém střídavém proudu není oboustranné napájení jednotlivých traťových úseků třeba a nebylo při uvedených výpočtech samozřejmě uvažováno.

Všeobecně lze se domnívati, že kabelisace slaboproudých vedení je nutná jen u drah na střídavý proud a že proto náklady s tím spojené jdou k tíži elektrisace střídavým proudem. Novější zkušenosti však ukázaly, že i na stejnosměrných drahách je kabelisace velmi žádoucí, poněvadž jen jí lze bezvadně zameziti poruchy vyvolané usměrněným proudem, jakož i zkratovými proudy. Při elektrisaci vedení tratí Paříž – Lyon jsou ukládána veškerá slaboproudá vedení do země. Náklady na kabelisaci jsou obsaženy jako část přídavných nákladů, které se vyskytují u každého systému skoro v stejné výši (na příklad remisy lokomotiv atd.).

Pokud se týče lokomotiv možno vzíti za základ srovnání obou systémů, jednak italské lokomotivy, jednak nejnovější lokomotiva systému Ganz-Kandó. Ze srovnání vyplývá, že lokomotiva Ganz-Kandó je při nejmenším rovnocenná v nákladní službě s lokomotivou řady E 636 a v rychlíkové službě s lokomotivou řady E 428 a může proto v službě jako universální lokomotiva nahraditi obě tyto stejnosměrné lokomotivy. Tato výhodná vlastnost lokomotivy Ganz-Kandó spočívá jednak na tom, že bylo možno vybaviti lokomotivu, přes její malou váhu, značným výkonem, jednak na tom, že může na rozdíl od stejnosměrných lokomotiv využití svého jmenovitého výkonu nejen do nejvyšší rychlosti, ale může i nad to být značně přetížena rovněž až do nejvyšší rychlosti. Z tabulky je také zjevné, že tažná síla stejnosměrné nákladní lokomotivy silně klesá od rychlosti 58 km/h, totéž se jeví u rychlíkové lokomotivy od 77 km/h. Tažná síla lokomotivy Ganz-Kandó klesá naproti tomu při vysokých rychlostech jen v takové míře, že rozjezdový a hodinový výkon zůstává konstantní až do nejvyšší rychlosti. Použitím kompenzovaných motorů a silného shuntování pole dá se sice využití jmenovitý výkon u nejnovější italské lokomotivy (lehký typ o váze 72 t řady 424 1900 ks) i při vyšších rychlostech; při nejvyšší rychlosti je použitelný výkon u těchto lokomotiv zdatelně omezen.

Použití lokomotivy Ganz-Kandó jako universální lokomotivy má celou řadu výhod. Z hospodářského hlediska universálnost lokomotivy způsobuje, že může býti lépe využita, a že k zvládnutí týchž provozních úkolů je třeba menšího počtu lokomotiv. K tomu se přidružuje okolnost, že také váhy lokomotiv Ganz-Kandó jsou menší, na př. ve srovnání s italskými rychlíkovými lokomotivami, skoro o 35%. Předpokládáme-li, že při stejnosměrném systému je třeba 75% nákladních lokomotiv a 25% rychlíkových lokomotiv, uspořilo by se na váze nutného parku lokomotiv př systému Ganz-Kandó přibližně 20%. Je otázkou, jak toto zmenšení váhy působí na výrobní cenu. Drahé součástky stejnosměrné lokomotivy jsou trakční stejnosměrné motory na vysoké napětí, motory vysokého napětí pro pomocné pohony a řadicí přístroje na vysoké napětí. Ostatní součástky, zvláště rozjezdové odpory, jsou poměrně levné. Jedinou drahou součástkou lokomotiv systému Ganz-Kandó je měnič fází. Měnič period, trakční a také pomocné motory jsou indukčními stroji obvyklé konstrukce, jejichž výroba je velmi levná. Náklady na kg při řadicích přístrojích jsou sice vyšší než u indukčních motorů, jejich výroba není však přece tak choulostivá jako výroba stejnosměrných řadicích přístrojů na vysoké napětí. Velmi levnou součástí je spouštěč, zvláště proto, že převážnou část jeho váhy tvoří vodní náplň. Rovněž mechanická část u lokomotiv Ganz-Kandó je velmi jednoduchá a levná,

jelikož malá váha motoru umožňuje použití tlapového závěsu a velmi jednoduché konstrukce podvozku. Z předchozích úvah vyplývá, že specifické výrobní náklady (na jednotku váhy) lokomotivy Ganz-Kandó jsou maximálně tak vysoké jako u lokomotiv stejnosměrných a výrobní náklady nutného parku lokomotiv jsou proto v přímém poměru k vahám.

Použili jsme v předchozích úvahách úmyslně slova „výrobní náklady“ místo „pořizovací cena“. Za stávajících poměrů hrají totiž technické rozdíly při trhovách cenách, zvláště při zahraničních cenách, jen velmi podřízenou úlohu a cenové niveau je spíše určováno devisovou situací jednotlivých dodavatelských zemí. Srovnání různých lokomotiv na základě nabídek z různých zemí může proto vykazati hodnoty, lišící se značně od naší tabulky. Chce-li však nějaká země vyráběti své lokomotivy v tuzemsku, nejsou směrodatnými zahraniční ceny, nýbrž výrobní náklady kalkulované na stejné základně. Ostatně jsme měli příležitost srovnati cenu zahraničních lokomotiv stejnosměrných s cenami našich lokomotiv. Také toto srovnání ukázalo, že specifická cena za jednotku váhy je u stejnosměrných lokomotiv a u lokomotiv systému Ganz-Kandó přibližně téměř stejná.

Zabývali jsme se ve výše uvedených úvahách lokomotivami systému Ganz-Kandó. I když firma Ganz má nejstarší zkušenosti v oboru padesátiperiodové trakce, existuje již dnes celá řada jiných firem, které na této otázce pracují. Firmy Siemens, AEG, BBC a Krupp dodaly po jedné lokomotivě na významný pokus dráhy Höllenthalbahn, a nyní jsou ve výrobě mimo Maďarsko tři padesátiperiodové lokomotivy pro franc. státní dráhy u firem Oerlikon, Alsthom a Schneider-Westinghouse. Rovněž jedna lokomotiva s usměrňovačem je prý ve stavbě. Z toho vidno, že se širší okruh zájemců již zabývá padesátiperiodovou trakcí a možno proto očekávati, že mezinárodní soutěž přinese nová zajímavá řešení. Pro vyšší výkony považujeme dnes lokomotivy Ganz-Kandó za nejvýhodnější řešení. Pro méně výkonná vozidla, na příklad motorové vozy, navrhujeme také jiná řešení; buď vozidla se stupňovým transformátorem a jednofázovými kolektorovými motory, nebo vozidla s usměrňovacím agregátem a se stejnosměrnými motory. Pro menší výkony lze považovati obě alternativy za vyřešené. Hospodářské výhody padesátiperiodového systému stávají se již všeobecně známými. I když dnes již mnohé firmy se pokoušejí vyráběti vhodné typy lokomotiv tohoto systému, je Maďarsko přece jen jedinou zemí a Ganz jedinou firmou, jež má praktické zkušenosti spočívající na patnáctiletém elektrickém provozu hlavní trati, dlouhé 190 km. Zájmoví odborníci mají možnost kdykoliv si prohlédnouti tuto dráhu a přesvědčiti se tak, že otázka padesátiperiodového trakčního systému je vyřešena tímto maďarským způsobem.

Země, které teprve dnes počínají elektrisovati své hlavní dráhy, mohou již dnes bez rizika použití padesátiperiodový elektrisační systém a nebudou muset později přejíti na tento systém, až budou mít vystavěno několik set kilometrů traťového vedení jiného systému.

Krátký vývoj padesátiperiodového elektrisačního systému

Předchozí dva články maďarských odborníků jsou psány za účelem vzbuditi u nás v Československu zájem o systém Ganz-Kandó, kterého používají Maďaři na elektrisované trati z Budapešti do Hegyeshalom (na rakouských hranicích). Prvý článek prof. Verebély-ho z Budapeštské vysoké školy technické obsahuje přednášku, kterou autor proslovil 4. ledna t. r. v ministerstvu dopravy v Praze; druhý článek, jehož autorem je Ing. Sztrókay, ředitel maďarské továrny Ganz, obsahuje přednášku, proslovenou ve Varšavě dne 18. října 1948, jejíž překlad byl rozdán posluchačům přednášky ze 4. ledna t. r.

System Ganz-Kandó je jedním z řešení, jak vybavit vozidla pro dráhu, která je jednopólovým traťovým vedením napájena střídavým proudem padesátiperiodovým. Podle šestnáctiletých provozních zkušeností na trati Budapešť Hegyeshalom se řešení Ganz-Kandó pro lokomotivy osvědčilo. Nutno připomenouti, že při systému Ganz-Kandó jde o trojfázovou trakci na jednofázové dráze padesátiperiodové (Système monotriphasé). Firma Ganz je průkopníkem v trojfázové trakci, vždyť elektrisovala již v letech 1898 – 1902 italskou dráhu Valtellina trojfázovým systémem dráhovým a trakčním, jako jednu z prvních hlavních drah na světě. Bylo při tom použito napětí 3000 V při nízkém počtu period 15. Padesáti period bylo v dráhovém provozu použito ponejprv na jednofázové dráze Seebach – Wettingen ve Švýcarsku v letech 1904-05. Na této dráze jezdila krátkou dobu měničová lokomotiva se stejnosměrnými trakčními motory. Použito bylo napětí 15 000 V; dráha byla přestavěna v roce 1905 na 15 period. S poněkud menším počtem period než padesát, a to 40 – 42, byly provozovány na počátku našeho století dráhy: v roce 1899 trojfázová dráha švýcarská Burgdorf – Thun na napětí 750 V a 40 period, v roce 1904 jednofázová dráha rakouská St. bairnbahn s napětím 2500 V a 42 period, asi v stejné době byla postavena belgická dráha Borinage, jednofázová, ale s dvoupólovým vedením o napětí 6600 V, 40 period, a dále trojfázová dráha rakouská ve Wöllersdorfu na 3000 V.

V roce 1910 lze zaznamenati první pouliční jednofázovou dráhu na plných 50 period v lotrinském městečku St. Avold (750 V). Oproti uvedenému sporadickému použití stojí ovšem velmi rozšířené zavedení padesátiperiodové trakce jednofázové a trojfázové na důlních, průmyslových a jeřábových drahách, jakož i na posuvnách a pod. Zmíniti se lze o důlní lokomotivě Kruppově o výkonu 225 ks na 3000 V a 50 period, která je vlastně též měničovou lokomotivou jedno-trojfázovou (viz ETZ 1926, seš. 30, str. 878). Ve všech případech jde o poměrně malý výkon trakčních motorů.

První padesátiperiodovou lokomotivou velkého výkonu 2700 ks byla pokusná lokomotiva maďarských drah z roku 1923. Byla zkoušena na pokusné trati Budapešť – Alag s jednofázovým proudem 15 000 V. Na základě těchto zkoušek elektrisovalo Maďarsko v roce 1932 trať Budapešť – Hegyeshalom a dalo na této trati do roku 1944 do provozu 32 lokomotiv. Je to největší použití padesátiperiodového systému. O bližších podrobnostech pojednávají předchozí články.

Pokus většího rozsahu učinily německé dráhy v r. 1936 na tratích v jižním Německu (Höllenthalbahn a Dreiseenbahn). Na tratích o napětí 20 000 V byly dány do provozu čtyři druhy lokomotiv (po jedné lokomotivě). Dnes jsou uvedené trati v

okupační zóně francouzské, a zdá se, podle zpráv z Francie, že francouzské dráhy navazují na německé pokusy. Lokomotivy mají být ale řešeny úplně odlišně od německých. Objednány jsou lokomotivy s kolektorovými motory u švýcarské firmy Oerlikon a u francouzské firmy Alsthom. Lokomotivy jsou typu Co'Co' s výkonem motoru až 465 kW. U fy Le matériel électrique (Schneider-Westinghouse) je objednána ještě třetí lokomotiva, a to měničová (jednofázová stejnosměrná). Tyto lokomotivy budou moci jezdit též na tratích stejnosměrných s napětím 1500 V. Na ukončení přehledu o vývoji padesátiperiodové trakce je nutno se zmínit ještě o elektrisaci italské trati Řím – Sulmona trojfázovým proudem o 45 periodách. Trať byla dána do provozu v roce 1928. Bylo použito napětí 10 000 V. Na trati jezdilo 18 lokomotiv o výkonu 2200 až 2700 ks. Dráha byla přestavěna na stejnosměrný proud o napětí 3000 V, a to na základě srovnávacích zkoušek na trati Foggia – Benevento.

Z obou výše uvedených statí (o lokomotivě Oerlikon, uveřejněné v našem 1. dílu a této z Maďarska) z časopisu *Elektrotechnický obzor* celkem jednoznačně plyne, že tehdejší československá odborná veřejnost byla o soudobém dění v oboru napájení železnice jednofázovým proudem o průmyslové frekvenci 50 Hz velmi podrobně a fundovaně informována. A to jak o přeci jen trochu problematickém systému Kandó, který se nikde jinde mimo domovské Maďarsko neprosadil (ač se firma Ganz evidentně velmi aktivně snažila o jeho propagaci), tak o aktuálních modernějších řešeních, vznikajících ve Francii a Švýcarsku na bázi německého předválečného výzkumu na *Höllentalbahn*.

UIC 1952

Dále bylo v roce 1952 přijato UIC, *Komisi pro elektrickou trakci* několik dokumentů týkajících se elektrické trakce, které byly v listopadu toho roku přijaty i československým ministerstvem železnic. Mimo jiné to byl *Návrh normálového listu UIC pro elektrickou trakci jednofázovým proudem 50 c/sec.*⁸ Což znamená, že již v té době se systém 50 Hz stával všeobecně uznávaným a rychle se blížil běžnému využití na železnicích celého světa.

Belgické Kongo

Primát trati, uvedené do běžného elektrického provozu jednofázovým systémem 25 kV 50 Hz ale nakonec nezískalo ani Maďarsko, ani Francie, ale země úplně jiná, značně exotická a z dnešního pohledu poněkud těžko představitelná – Belgické Kongo. Na přelomu čtyřicátých a padesátých let 20. století zde totiž byla systémem 25 kV 50 Hz elektrizována trať Jadotville (dnes Likasi v Demokratické republice Kongo) – Tenke, na které byl elektrický provoz zahájen 20. října 1952.⁹ Zdejší *Společnost železnic v Kongu (Compagnie du Chemin de fer du Bas-Congo au Katanga*¹⁰) vybrala tento tehdy velmi progresivní a prakticky nevyzkoušený systém z důvodu, že pro něj tehdy vycházely dle jejích propočtů nejnižší náklady na pevná

⁸ Národní archiv Praha-Chodovec, Fond Ministerstvo železnic, karton 63, spis č.j. 10281/52

⁹ Pokud není uvedeno jinak, byl použit článek *Elektrisace železnice jednofázovou soustavou 50 c/s ve Střední Africe*, uveřejněný na stranách 546 – 549 v čísle 10 časopisu *Elektrotechnický obzor* 1955/ročník 44

¹⁰ Viz např. https://fr.wikipedia.org/wiki/Compagnie_du_chemin_de_fer_du_bas-Congo_au_Katanga, vyhledáno 2.2.2020

trakční zařízení, a naopak poměrně vysoké náklady na hnací vozidla. Tato kombinace byla dle takovéto úvahy vhodná právě pro takovouto méně zatíženou trať vyžadující jen malý počet hnacích vozidel, jako byla tato v jihovýchodním Kongu. Trať o rozchodu 1067 mm byla dlouhá 105 kilometrů s maximální rychlostí 70 km/h. Průměrná hmotnost osobních vlaků byla 400 tun a nákladních 500 až 1000 tun a její tehdejší roční dopravní výkon byl udáván na 160 mil. hrtkm a 1,52 mil. hrubých tun.¹¹

Před rozhodnutím o elektrizaci se společnost údajně rozhodovala mezi systémem 3 kV ss (v té době již běžným v mateřské Belgii) a střídavým 25 kV (někdy je v literatuře udáváno 22 kV) 50 Hz; tyto dva systémy byly vybrány proto, že umožňovaly připojení na veřejnou energetickou síť.¹² Následně byly provedeny porovnávací výpočty, ve kterých vyšly u střídavého systému o 35 % nižší pořizovací náklady na energetická zařízení a o 20 % vyšší náklady na lokomotivy.¹³ U provozních nákladů výpočty ukázaly, že náklady na energetická zařízení by měly být u střídavého systému nižší o 46,5 % než u stejnosměrného a o 15 % vyšší u lokomotiv.¹⁴

Největším tehdejším problémem systému 50 Hz byl jak známo prakticky použitelný pohon lokomotivy. Ten byl u prvního zde používaného typu, dvanácti lokomotiv řady 21, 2101 – 2112 vyřešen zároveň jednoduše, a zároveň velmi pozoruhodně. Lokomotivy, vyrobené belgickou firmou *A.C.E.C.* a pravděpodobně využívající některá licenční řešení americké firmy *Westinghouse*, byly konstruovány jako čtyřnápravové podvozkové s pohonem unikátními komutátorovými dvojmotory na každé nápravě, napájené sníženým napětím ze sekundární strany transformátoru. Toto řešení je unikátní hlavně v tom, že dvojmotory musely být „vtěsnány“ do rozkolí odpovídajícímu rozchodu kolejí 1067 mm. A dále také ukazuje, že v poválečné době již byla zvládnuta konstrukce a výroba komutátorových trakčních motorů pro frekvenci 50 Hz natolik, že umožňovala jejich běžné využití v pravidelné železniční dopravě. O výběru konstrukce lokomotivy nás přesně informuje text, uveřejněný v 10. čísle časopisu *Elektrotechnický obzor* roku 1955:

„a) Měničová lokomotiva se synchronním motorgenerátorem a stejnosměrnými trakčními motory, jejíž trakční charakteristiky jsou velmi přizpůsobivé a umožňují rozjezd těžkých vlaků s nejmenším urychlením. Strojní zařízení je složité a těžké, neboť musí být stavěno na trojnásobnou elektromechanickou transformaci energie; rozběh a udržování v synchronním chodu klade zvláštní požadavky a celková účinnost je malá.

b) Měničová lokomotiva se synchronním měničem počtu fází a frekvence s trojfázovými trakčními motory může být provedena s plynulou nebo stupňovitou

¹¹ Podle citovaného článku byly tehdejší výkony na hlavních tratích ČSD zhruba 10x – 20x vyšší

¹² Což je ve druhé polovině čtyřicátých let v nitru kolonizované *černé Afriky* nepochybně velmi zajímavý argument... V té době v oblasti již existovala síť vedení 110 kV a dokonce i 220 kV

¹³ Otázkou samozřejmě je, zda takto vysoké náklady na lokomotivy byly skutečně dány jejich napájecím systémem či tím, že se jednalo o zcela novou, v podstatě prototypovou a nevyzkoušenou konstrukci a malým počtem objednaných strojů, tedy v podstatě kusovou výrobou

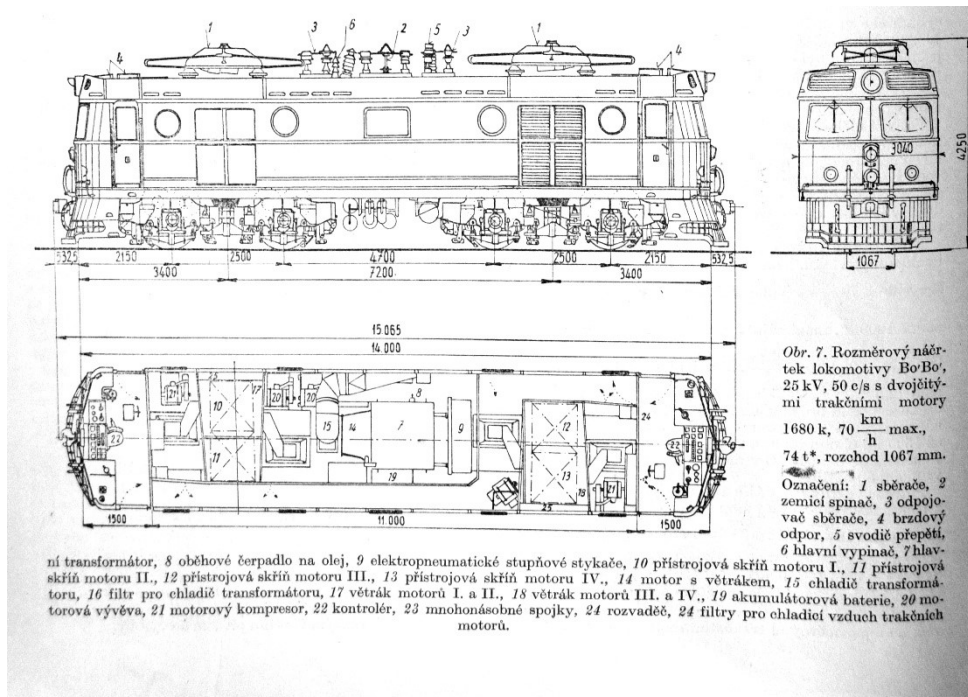
¹⁴ Opět je zde otázka, z čeho byly náklady na úplně nový typ lokomotivy stanoveny

regulací frekvence a rychlosti jízdy. Plynulá regulace vyžaduje dvojí přeměnu celého nebo skluzového výkonu stejnosměrnou kaskádou; stupňovitá regulace se provádí přepínáním počtu kombinací se stupňovitou změnou frekvence trojfázového proudu, kterým se napájejí trakční motory. Maďarské lokomotivy Ganz-Kandó a německé lokomotivy Krupp jsou stroje tohoto druhu.

c) Lokomotivy s usměrňovači mající stejnosměrné motory napájené usměrněným tepavým proudem, jehož napětí lze měnit odbočkami transformátorů nebo mřížkovým řízením. Tato zařízení způsobují nežádoucí vyšší harmonické proudy v napájecí síti, k jejichž omezení musí být lokomotivy vybaveny těžkými a objemnými filtry jakož i tlumivkami k vyhlazení tepavého stejnosměrného proudu. Novější zkoušené ignitrony bez čerpání značně zjednodušují pomocné zařízení usměrňovačů.

d) Lokomotivy přímo napájené s jednofázovými komutátorovými trakčními motory, obsahující regulační odbočkový transformátor. Zařízení je nejjednodušší, má dobrou účinnost, jeho provedení je však závislé na úspěšném vyřešení spolehlivého trakčního motoru. Z těchto důvodů bylo toto řešení sledováno nejdříve a byly dány tři prototypy trakčních motorů s různým vinutím předem do výroby.

Trakční motory jsou normální seriové s pomocnými póly a s kompenzačním vinutím. K omezení jiskření kartáčů při rozjezdu byl výkon potřebný pro pohon jedné nápravy rozdělen do dvou motorů, t. j. každá kotva je vinuta na 210 k; bylo použito normálního paralelního vinutí se zkráceným krokem a s odporovými spojkami, které omezují transformační napětím mezi lamelami při rozjezdu z klidu na hodnotu menší než 3 V (obr. 1 a 2); indukční shuntování vinutí pomocných pólů bylo provedeno pomocí transformátorové vazby; napětí na komutátoru bylo voleno nízké, 240 V max.; byl volen velký počet pólů (10) a tím sníženo transformační i reaktanční napětí při komutaci, takže elektrické namáhání a pracovní podmínky komutátoru jsou přibližně stejné jako u osvědčených jednofázových trakčních motorů pro nízký kmitočet 16 c/s."



Obrázek č. 1:

Schematický
náčrt
lokomotivy
Bo-Bo A.C.E.C
pro Belgické
Kon-go,
uveřejněný
v roce 1955
v časopise
Elektrotech-
nický obzor

Zdroj: Elektro-
technický obzor
10/1955

Na tyto lokomotivy navázala v roce 1956 dodávka deseti lokomotiv řady 22, 2201 – 2210, podobné konstrukce, a v roce 1958 dalších jedenácti řady 23, 2301 – 2311. Tyto lokomotivy již byly poháněny stejnosměrnými motory, napájenými přes ingnitronové usměrňovače. Jako úplně poslední sem byly v roce 1960, krátce před koncem belgické nadvlády nad Kongem, dodány ještě dvě lokomotivy 2401 a 2402, vybavené již křemíkovými usměrňovači.

Další problém jednofázového systému 50 Hz, tedy nerovnoměrné zatěžování třífázové sítě 110 kV, zde byl vyřešen taktéž jednoduše, a to rozdělením celé tratě na tři zhruba stejně dlouhé napájecí úseky po 35 km, každým napojeným na jednu fázi stejně, podél trati vedené veřejné linky 110 kV. Tím byla třífázová síť při zhruba stejné intenzitě dopravy na celé trati zatížena v rámci možností co nejrovnoměrněji. Bez zajímavosti není ani použité trakční vedení, v přímé trati svislé řetězovkové dle tehdejších běžných belgických sestav, v obloucích o poloměrech menších než 3000 m přecházející do vedení šikmého.

Elektrizace tímto systémem se v Belgickém Kongu rychle rozvíjela, a v roce 1959 dosáhla délka zdejších elektrizovaných (jednokolejných) tratí 862 km.¹⁵ Bohužel ale další osudy elektrizovaných tratí po odchodu Belgičanů z Konga v roce 1960 nejsou známy, resp. se je nepodařilo vypátrat.

Francie

Na normálním rozchodu ale každopádně získala prvenství při zavádění systému 25 kV 50 Hz Francie. A to jak její železniční správa *SNCF* tak i průmysl, který z tohoto úspěchu dokázal velmi dobře těžit. Samotnou Francií se zde ale zabývat nebudeme,

¹⁵ *Le Rail au Congo Belge, Tome III, 1945 – 1960*, strana 156, Le Monde de Kamélia, Bruxelles, Belgique, 1998

a to jednak z důvodu že historie je dostatečně známa a popsána, a též z důvodu udržení rozsahu tohoto textu. Podíváme se ale na první francouzské exportní úspěchy, které byly pro další světový rozvoj tohoto systému velmi důležité.

Turecko 1955

Druhou evropskou zemí, ve které byl systém 25 kV/50 Hz zaveden, bylo (opět možná trochu překvapivě) Turecko. Jedná se o celkem známou a dohledatelnou věc, a proto se o zde zmíníme jen stručně: v roce 1955 byla tímto systémem elektrizována 28 km dlouhá trať Sirkeci – Halkali v evropské části Istanbulu. Použity byly především francouzské technologie a konsorciem francouzských a dalších západoevropských firem, které stalo jádrem budoucího konsorcia *50 c/s Group*¹⁶, sem byla dodána i vozidla, konkrétně tři lokomotivy řady E 4000 a osmadvacet jednotek řady E 8000, přičemž lokomotivy zde byly používány k vedení dálkových vlaků do a z nádraží Sirkeci, ležícího v centru města nedaleko Zlatého rohu. A důležitým detailem též je, že dominujícími vozidly zde byly příměstské jednotky, což poněkud vyvrací tehdejší



hlavní výhradu k systému 50 Hz, totiž jeho nevhodnost pro motorové vozy.

Obrázek č. 2: Nová jednotka řady E 8000 TCDD ve stanici Yedikule v roce 1956.

Zdroj: web <http://www.trainsofturkey.com/index.php/MUs/E8000>, foto A. Swale

Portugalsko 1956

Podobná situace nastala o rok později v Portugalsku, kde byl 28. dubna 1956 zahájen elektrický provoz systémem 25 kV/50 Hz na předměstské trati Lisabon – Sintra a následně na trati Lisabon – Carregado. Bylo tak navázáno na předválečnou

¹⁶ Viz např. <https://de.wikipedia.org/wiki/50-Hz-Arbeitsgemeinschaft>, vyhledáno 12.5.2024

elektrizaci stejnosměrným systémem 1500 V a odehrál se zde tedy stejný příběh jako ve Francii, Indii nebo později Novém Zélandu a jaký se mohl odehrát i v Československu.

Nasazeny zde byly velice moderní jednotky řady 2000, vyrobené opět konsorciem *50 c/s Group*.



Obrázek č. 3:

Jednotka řady 2000 CP v roce 2004.

Zdroj: Jean-Pierre Vergez-Larrouy -

<http://www.ferropedia.es/wiki/Imagen:CP2004Guar0808JPVL.JPG>, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3950922>

Sovětský svaz

Důležitou událostí, a to již přímo ve vztahu k Československu, byla sovětská objednávka a následná dodávka padesáti francouzských lokomotiv řady Φ („ Φ “ neboli „F“ znamená prostě Francie nebo francouzská) pro střídavý systém. Lokomotivy byly objednány v roce 1957 u firmy *Alstom* a dodány byly v letech 1958 – 1960. Z důvodu rozsahu našeho textu a dostatečně dostupným zdrojům¹⁷ se zde těmito lokomotivami opět nebudeme podrobněji zabývat, jen uvedeme, že se stále ještě jednalo o lokomotivy se rtuťovými usměrňovači.

¹⁷ Viz např. zde: <https://rollingstockworld.com/locomotives/history-alstom-in-the-ussr-as-an-impulse-for-the-national-electric-locomotives-development/>, vyhledáno 19.5.2024



Obrázek č. 4:

Úplně nová lokomotiva Φ01 při prvních zkouškách v Sovětském svazu 30. listopadu 1958.

Zdroj: <https://railgallery.ru>

Indie

Ale rozhodně největším úspěchem francouzského průmyslu byl export lokomotiv a technologií pro systém 25 kV 50 Hz do Indie. Ani zde se pro rozsah a dostatek jiných zdrojů nebudeme tímto tématem podrobněji zabývat, uveďme jen, že první univerzální lokomotivy řady WAM-1 sem byly z Francie dodány v roce 1959. Na ně pak v letech 1963 – 1966 navázaly nákladní lokomotivy WAG-1. Poté již střídavé lokomotivy začal vyrábět indický průmysl, doplňovaný importy z Japonska. Každopádně Indie se postupem doby stala skutečnou velmocí jednofázového systému 25 kV 50 Hz, a je jím dokonce elektrizován i celý systém metra v hlavním městě Dillí, včetně tunelových úseků.



Obrázek č. 5:

Lokomotiva WAG-1 20710 jako historický exponát v Národním železničním muzeu v Novém Dillí 6. ledna 2012.

Foto autor

Velká Británie 1957

Ve druhé polovině padesátých let již bylo jasné, že systém 25 kV/50 Hz se stane v Evropě i ve světě široce rozvíjeným a že bude zaváděn na železnicích dalších a dalších zemí. Jednou ze zemí, která se tehdy rozhodla na tento systém přejít byla

i Velká Británie, o čemž nás dvojicí článků z roku 1957 informuje evidentně stále velmi dobře informovaný časopis *Elektrotechnický obzor*. Oba texty se týkají aktuálního rozhodnutí britských autorit opustit cestu elektrizace železnice stejnosměrným systémem 1500 V a přejít na střídavý systém 25 kV 50 Hz. Nejprve to byl na straně 92 článek *Elektrizace britských železnic 25 kV, 50 Hz*:

„British Transport Commission (správa britské státní dopravy) sdělila veřejnosti rozhodnutí použít k velkorysé elektrizaci železnic soustavy jednofázového napětí 25 kV, 50 Hz. Změnila tím své rozhodnutí z r. 1950, potvrzené ještě v roce 1954, elektrizovat stejnosměrným napětím 1500 V. Toto rozhodnutí má dalekosáhlý význam a je tím pozoruhodnější, že rozhodující pokroky ve stavbě tohoto systému, o které se rozhodnutí opírá, jsou zcela nového data. Kromě toho opírá se rozhodnutí o zkušenosti cizí, protože vlastní zkušenosti ve Velké Británii jsou zatím jen malé. Rozhodnutí bere na sebe risiko samozřejmě spojené so zaváděním něčeho nového. Činí tak pro velké výhody, které nová soustava slibuje pro budoucnost v možnosti elektrizovat též velké úseky, jejichž elektrizace stejnosměrným proudem by byla neekonomická. Rozhodnutí bylo usnadněno tím, že britský průmysl má velké zkušenosti s výrobou elektrických lokomotiv stejnosměrných, s výrobou usměrňovačů, transformátorů, spínačů, i jiných součástí lokomotivy pro 50 Hz. Britský průmysl má též velké a vedoucí zkušenosti ve výrobě usměrňovačů polovodičových. Lze proto očekávat, že stavba lokomotiv pro 50 Hz s usměrňovači na lokomotivě nenarazí na obtíže. Plán elektrizace 50 Hz týká se tratí o délce asi 2200 km, zejména magistraly z Londýna na severozápadní pobřeží do Liverpoolu přes hlavní průmyslová střediska Northampton, Rugby, Birmingham, Stafford a Crewe do Manchesteru. Poslední odbočka má být uvedena do provozu první v roce 1959. Dále se plán týká magistraly na sever do Skotska z Londýna přes Doncaster s odbočkou do Yorku, kromě toho kratších úseků z Londýna na východní a severovýchodní pobřeží (Ipswich, Harwich atd.) a na sever s podzemními úseky v Londýně a konečně elektrizace okolí hlavního města Skotska Glasgowa včetně podzemní dráhy. Pozoruhodné je, že nové úseky 25 kV budou se stýkat a proplétat se starými úseky 660 V stejnosměrného napětí v okolí Londýna. Výhody nové soustavy 25 kV proti soustavě 1500 V stejnosměrného napětí v Anglii používané jsou:

u napájení:

- 1. nižší náklady napájecích stanic a napájecích kabelů;*
- 2. nižší náklady na energii a údržbu napájecích zařízení;*
- 3. napájení je bezpečnější;*
- 4. trolejové vedení a ocelové nosné konstrukce jsou lehčí a levnější;*
- 5. stavba trolejového vedení a sloupů je snazší; bude sice nutné přestavět tunely a mosty pro získání potřebných isolačních vzdáleností, ale tyto výlohy jsou menší než předem uvedené výhody.*

u lokomotiv:

- 1. lepší adheze (umožňuje použití lehčích lokomotiv);*
- 2. snadnější regulace;*
- 3. menší počet lokomotiv;*

4. odpadají ztráty ve spouštěcích odporech pro regulaci rychlosti; veškeré jízdní stupně jsou hospodárné;
5. elektrické topení a osvětlení je velmi snadné a hospodárné.

Nejvíce překvapující je zkušenost získaná ve Francii, že lokomotivy na 50 Hz jsou v protikladu k původnímu očekávání lehčí a levnější než stejnosměrné lokomotivy schopné vykonávat stejné služby. Britské železnice se rozhodly pro dva typy lokomotiv (s usměrňovači, regulačními transformátory a stejnosměrnými motory), jedna bude pro expresní vlaky 3000/3500 k, 2250/2600 kW, druhá univerzální 2500/3000 k, 1860/2240 kW. Výhoda střídavé lokomotivy, u které stejnosměrné motory jsou trvale paralelně spojeny a regulují se změnou napětí, je její podstatně větší adheze než u stejnosměrné lokomotivy s motory v serii regulovanými předřazenými odpory. Další výhodou je, že veškeré stupně jsou hospodárné. To je velká výhoda soustavy zejména u univerzální lokomotivy a je jedním z hlavních důvodů, proč se tohoto systému používá.

Zatím se lokomotivy předpokládají s osvědčenými stejnosměrnými motory a s usměrňovači rtuťovými. Je ovšem možné, že budoucnost ukáže další možnosti usměrňovačů polovodičových (germanium, křemík) resp. transistorových. Jako výsledek studií a zkušenosti se ukázalo, že tam, kde rozjezdové vlastnosti nutily ke stavbě stejnosměrných lokomotiv CoCo, vystačí systém 50 Hz s lokomotivou BoBo, t. j. lehčí a levnější. Tento poznatek je nový a v roce 1951 neznámý a vedl komisi v onom roce k odmítnutí soustavy 50 Hz, protože se cena lokomotiv jevila u 50 Hz vyšší. Nyní se na př. pro trat Londýn – Manchester resp. Liverpool počítá so 150 lokomotivami BoBo pro expresní službu jak pro 50 Hz tak pro stejnosměrný proud. Pro smíšenou službu stačí pro 50 Hz lokomotiva BoBo pro dopravu 1250 t do stoupání 10 ‰, zatím co pro stejnosměrný proud by bylo zapotřebí buď lokomotivy CoCo anebo dvou lokomotiv BoBo. Je proto zapotřebí proti 510 univerzálním lokomotivám při 50 Hz buď 510 lokomotiv CoCo anebo 570 lokomotiv BoBo u stejnosměrného proudu. Stojí tedy proti sobě celkem 660 lokomotiv na 50 Hz proti 720 lokomotivám BoBo na stejnosměrný proud (což je levnější alternativa u stejnosměrného proudu). Podle nynějšího stavu výroby v Anglii je sice cena 720 stejnosměrných lokomotiv stále ještě o 5% menší než cena 660 lokomotiv na 50 Hz, avšak předpokládá se, že během času, až závody získají zkušenosti se stavbou lokomotiv na 50 Hz, tento poměr se změní, a že lokomotivy 50 Hz nebudou alespoň dražší než ony na stejnosměrný proud (!!). Tim padl poslední argument proti soustavě 50 Hz při elektrisaci železničních magistrál, t. j. že proti nesporně menším nákladům za pevné instalace u 50 Hz stály vyšší náklady za lokomotivní park, který v elektrisaci magistrálních tratí s hustým provozem mohl uvedenou výhodu anulovat, případně zvrátit. Podle posledních zkušeností tento případ již nemůže nastat, takže výhoda elektrisace 50 Hz je již nesporná. Tyto úvahy vedly anglické železnice k na začátku uvedené změně rozhodnutí z r. 1951 elektrisovat stejnosměrným proudem. Pro zajímavost uvádím, že změnu stanoviska ohlásil hlavní inženýr BTC S. B. Warder, který ještě na mezinárodním železničním kongresu v Londýně v r. 1954 měl referát, ve kterém jeho závěr zněl, že neexistuje nejvýhodnější elektrisační soustava železnic. Tohoto jeho názoru se i nyní ještě nepřiznivci elektrisace 50 Hz dovolávají. Vidíme, že tak činí neprávem, neboť S. B. Warder svůj názor již změnil. Doufáme, že si vezmeme poučení ze závěrů,

učiněných ve Francii i Anglii, vždyť poměry (průmyslově vyspělé země s hustou sítí) jsou našim jistě podobné.

Březen 1956, resp. Bull. IRCA 7 (1956), čís. 9, str. 437-442. Dr V. Klima The Locomotive Railway Carriage and Wagon Review"

Na ten pak na straně 436 navázal další článek *Elektrisace anglických železnic jednofázovým proudem*:

„Elektrisaci železnic se věnuje v Anglii veliká pozornost. Podle projektu rekonstrukce má být elektrisováno 2370 km tratí. Elektrická stejnosměrná trakce s napětím 650 V a napájením třetí kolejí, dříve používaná, vyžaduje velikých investic. Aby se dosáhlo snížení investic, bylo v r. 1951 navrhováno provést elektrisaci stejnosměrným napětím 1500 V. Ani tento návrh neobstál dlouho. Úspěšné pokusy, konané ve Francii a Anglii s použitím jednofázového proudu 50 Hz potvrdily, že je mnohem výhodnější pro elektrisaci drah než stejnosměrný proud 1500 V. Na základě toho bylo v r. 1956 rozhodnuto, že většina tratí, podléhajících elektrisaci (82%) se uskuteční střídavým proudem průmyslového kmitočtu a napětím 25 000 V. Zbytek, hlavně tratě ve východní a střední části jižní oblasti Anglie o celkové délce 420 km, budou elektrisovány stejnosměrným proudem.

V jižní části Anglie je hustá síť stejnosměrných železnic na 660 V, napájených třetí kolejí. Jejich rekonstrukce na střídavý proud by si vyžádala značných dodatečných investic, proto v této oblasti zůstane stejnosměrný systém zachován a bude elektrisováno ještě dalších 400 km tratí. Stávající stejnosměrné tratě na 1500 V Londýn – Southend a Londýn – Chelmsford budou převedeny na střídavý proud. Taktéž trať Manchester – Bury, provozovaná stejnosměrným proudem 1200 V, bude převedena na střídavý proud, který je pro tuto trať podle výpočtů a porovnání s jinými tratěmi výhodnější. Rekonstrukce na střídavý proud si vyžádá náklad 117,8 milionů lib. šterlinků, kdežto k rekonstrukci na 1500 V stejnosměrného proudu by bylo třeba 123,6 milionů lib. šterlinků. Mimo to roční provozní náklady se sníží o 1 milion lib. šterlinků v důsledku menšího počtu transformoven s jednodušším vybavením, lehčí konstrukce trolejové sítě a menšího lokomotivního parku. Na trať Londýn – Manchester – Liverpool při elektrisaci střídavým proudem je třeba 12 trakčních transformoven, při stejnosměrném proudu by jich bylo třeba 70. Většina těchto transformoven může být sloučena se snižovacími transformovkami pro veřejný konsum. Při střídavém proudu je třeba 27,4 km napájecích vedení, kdežto při stejnosměrném 403 km kabelu 33 kV.

Podle anglických odborníků je střídavé napětí 25 000 V ekonomické, zaručuje minimální stavební náklady. Celkový podélný průřez vodičů vrchní sítě se ve srovnání se stejnosměrným proudem značně sníží. Při 1500 V stejnosměrného proudu je potřebný průřez 500 mm², při střídavém proudu stačí 150 mm². Konstrukce střídavé vrchní sítě je jednodušší, stačí prostý řetězovkový závěs, kdežto stejnosměrná síť vyžaduje závěs sdružený. Průřezy vodičů vrchního vedení jsou menší a tedy i lehčí, je proto možno použít lehčích stožárů, konsol i základů, je snazší montáž a lepší přehled trati a viditelnost signálů. Počítá se, že použitím st. proudu se zvýší životnost vrchní sítě a dotekových ploch proudových sběračů (je menší proud a tlak sběrače na trolej). Střídavý proud 25 kV předpokládá minimální isolační vzdálenost 280 mm.

Tam, kde to nelze zaručit a bylo třeba mnoho práce na úpravu, bude se snižovat z 25 na 6,6 kV¹⁸. Potřebná isolační vzdálenost pak klesne na 100 mm. Tohoto opatření bude nutno použít sítě pod 97 mosty a nadjezdy (z celkového počtu 904 které jsou na trati Londýn Euston – Manchester – Liverpool).

Pro střídavý proud bude použito dvou druhů lokomotiv. První o výkonu 3000 až 3500 k pro rychlíky a výkonu 2500 až 3000 k pro osobní a nákladní vlaky. Lokomotivy budou čtyřosé s uspořádáním náprav BoBo. Pro Londýn – Manchester – Liverpool jich bude třeba 150. Nákladní vlaky s elektrickou lokomotivou mohou mít zátěž až 1250 t na úsecích s 10 ‰ stoupáním. Stejnoseměrné elektrické lokomotivy by musely být k témuž účelu šestiosé s uspořádáním náprav CoCo nebo čtyřosé s dvojí trakcí. Celkem bude třeba v Anglii k elektrisaci tratí střídavým proudem 510 čtyřosých lokomotiv pro osobní a nákladní dopravu a 570 lokomotiv pro tratě, elektrizované stejnosměrným proudem 1500 V. Toho času je ještě lokomotiva střídavý na dražší než na stejnosměrný, avšak po zavedení seriové výroby se ceny vzájemně vyrovnají.

K řadě výhod vozového parku na jednofázový proud náleží ještě lepší spřažení, takže je možno použít lehčích lokomotiv, lehčí řízení, menší potřeba lokomotivního parku, menší specifická spotřeba elektřiny vlivem lepší účinnosti lokomotiv a odstranění ztrát v reostatech, jednodušší a levnější topení a osvětlení vlaků (odpadnou dosud v počtu používané generátory pod vagony). Použitím lehčích lokomotiv s menším tlakem na koleje se sníží opotřebení tratí. Někteří odborníci jsou toho názoru, že největší budoucnost mají lokomotivy a motorové vozy s jednofázovým kolektorovým trakčním motorem, napájeným regulačními transformátory vn. V poslední době se soustřeďuje veškerá pozornost na použití stejnosměrných trakčních motorů, napájených usměrňovači. Přispěly k tomu úspěchy, dosažené v oblasti kovových usměrňovačů a usměrňovačů polovodičových, které pravděpodobně co nejdříve vytlačí rtuťové usměrňovače. Provedené pokusy s použitím prvního motorového vozu na střídavý proud, vybaveného germaniovým usměrňovačem o výkonu 750 kW v Anglii na trati Lancaster – Morecambe – Heysham přinesly kladné výsledky. Germaniové usměrňovače jsou jednoduché, mechanicky velmi pevné, chlazené vzduchem, není je třeba bezprostředně před zatížením zahřát.

Elektrisací železnic se zvýší dopravní rychlost, u rychlíků o 10 % a u některých nákladních vlaků až o 100 %.

[Električestvo (1957), čís. 2, str. 88-90]

Z. Hadrouk

Autor pan Hadrouk tedy dokonce čerpal ze sovětských zdrojů, zveřejňujících v té době nejnovější odborné poznatky ze západního světa.

¹⁸ Zajímavé řešení, bezpochyby vyvolané malým britským železničním průjezdným profilem. Není ale známo, že by bylo někdy použito

Zpět do Československa – série vládních usnesení na téma 50 Hz na železnic z druhé poloviny padesátých let, 723/1956, 1762/1956, 2716/1956 a 127/1957

Po tomto dobovém exkursu na několik světových kontinentů se vraťme zpět domů. Vzhledem k neustálému zpoždování elektrizace systémem 3000 V ss přijala československá vláda dne 21. března 1956 usnesení č. **723/1956** o *elektrifikaci železničních tratí v letech 1956 – 1960*. Tento – v té době pochopitelně tajný – materiál obsahuje řadu skutečně pozoruhodných informací, a to například, že „až do roku 1953 nebylo státnímu úřadu plánovacímu ani zúčastněným ministerstvům jasno, zda vzhledem k situaci v energetice se může k elektrifikaci železnice přistoupit.“ A součástí tohoto usnesení je taktéž Zpráva o elektrifikaci železničních tratí ministerstva dopravy ze dne 12. března 1956, kde se mimo jiné píše, že dosud „nebyla technicky a ekonomicky dokumentována volba soustavy, přestože vláda 23.12.1952 uložila porovnat maďarský systém elektrifikace střídavým proudem 50 c/s s naším systémem stejnosměrným.“ Proto bylo v této Zprávě navrženo, aby vláda uložila ministru dopravy „zjistit do 6 měsíců nejnovější poznatky SSSR a Maďarska z elektrifikace železnic střídavým proudem průmyslového kmitočtu, podle možností a z titulu členství v Mezinárodní unii železniční opatřit tyto údaje i od železničních správ západních a do konce roku 1956 podat vládě zprávu, jak bude poznatků využito v elektrifikaci tratí ČSD.“

V usnesení se dále mimo jiné píše, že „volba soustavy není v náhradní dokumentaci za úvodní projekt elektrifikace trati Praha – Č. Třebová, schválené ministrem dopravy 31.12.1954 č. 02096/54, zdůvodněna s tím, že je odůvodněna v generálních projektech. V generálních projektech elektrifikace tratí Žilina – Spišská Nová Ves a Praha – Č. Třebová, vypracovaných v letech 1946 – 1948 býv. ústřední projekční kanceláří těžkého strojírenství, jichž se úvodní projekt dovolává, však není volba soustavy 3 kV ss rovněž zdůvodněna.“ A dále pak, že „vláda usnesením z 23.12.1952 uložila býv. ministrům železnic a těžkého strojírenství, aby podle usnesení V. zasedání čl. -maďarské komise pro vědecko technickou spolupráci vyslali do Maďarska pracovníky k porovnání maďarského systému elektrifikace střídavým proudem 50 c/s se systémem stejnosměrným a o výsledku podali zprávu vládám obou států. Úkol daný vládním usnesením dosud splněn nebyl, neboť 2 členové delegace určení býv. ministerstvem těžkého strojírenství (prof. Ing. Dr. Jansa a Ing. Ibl) dosud cestu nevykonali.“

Tedy jinými slovy československá vláda na jaře roku 1956 konstatovala, že volba systému 3000 V ss, provedená po roce 1945 československým průmyslem, ČSD a Ministerstvem dopravy nebyla nikdy a nijak zdůvodněna, a především že stejnosměrný systém nebyl v té době porovnán se systémem střídavým 50 Hz, který byl již přitom v té době dostatečně teoreticky a částečně i prakticky znám a experimentálně prověřován.

Na toto vládní usnesení navázalo dne 30. června téhož roku usnesení další číslo č. **1762/1956**, kterým vláda rozhodla o **vyslání odborníků do Francie k získání zkušeností v oboru elektrifikace železnic**. Do Francie měly být vyslány dvě

skupiny, první ve složení *Ing. Karel Novák, hlavní inženýr hlavní správy pro elektrizaci železnic, Ing. Jiří Němec, náčelník odboru elektrizace v projekčním ústavu, Ing. Karel Novotný inženýr-expert ústředního odboru pro přezkušování projektů, Ing. Jiří Lízler, hlavní inženýr podniku Elektrizace železnic, Ladislav Lidmila, zaměstnanec elektrického depa Praha – hlavní nádraží¹⁹ a Dr. Antonín Patočka, vedoucí odboru dopravy a spojů státního úřadu plánovacího. Studijní cesta této skupiny měla trvat čtrnáct dní, měla být uskutečněna koncem června a počátkem července 1956 a měla se zaměřit zejména na otázky projekce a stavby trakčních sítí. Druhá skupina měla mít složení *Ing. Ferdinand Gottmann²⁰, náčelník hlavní správy pro elektrizaci železnic, Ing. Dr. František Jansa, prorektor vysoké školy železniční, Ing. Václav Klíma, technický odborný referent ministra dopravy, Ing. Jaroslav Hanyk, náčelník odboru pro elektrizaci vědecko-výzkumného ústavu dopravního a Ing. Jiří Fejt, náčelník technického odboru hlavní správy elektrizace železnic. Studijní cesta této skupiny měla trvat čtyři týdny a měla se uskutečnit v září 1956. Její náplní mělo být studium „provozního zajištění měníren a vozidel, otázek energetického napájení a spotřeby a otázky provozních vlastností lokomotiv různého provedení a jejich vzájemného srovnání, a to jak u systému stejnosměrného, tak i u systému jednofázového průmyslového kmitočtu.“ V odůvodnění těchto studijních cest mimo jiné stojí, že je podle předběžné dohody měla organizovat *Národní společnost francouzských drah, tedy SNCF.***

Obě cesty se nakonec opravdu uskutečnily, jak nás 17. září 1956 informuje Ing. Gottmann:²¹ *„Vládním usnesením č. 1762 ze dne 30.6.1956 bylo povoleno vypravit do Francie k SNCF studijní delegaci za účelem seznámení se s tamními zkušenostmi s výstavbou a provozem elektrifikace železnic. Delegace byla rozdělena na dvě skupiny, z nichž první skupina absolvovala své studium v červenci t.r. Druhá skupina odjíždí 24.9. t.r. Jelikož výsledky studia první skupiny zaměřené na organizaci a pracovní postupy při výstavbě vedení byly díky neobyčejné ochotě zástupců SNCF velmi bohaté lze čekat, že i druhá skupina přiveze cenné informace a zkušenosti.*

Považujeme proto za vhodné, aby jako výraz úcty a díky odevzdala naše delegace představiteli SNCF generálnímu řediteli Luis Armandovi²² i určenému

¹⁹ Toto depo provozovalo v roce 1956 pouze předválečné lokomotivy na 1500 V ss a epizodně též několik prvních lokomotiv E 499.0

²⁰ Ing Ferdinand Gottmann byl velmi zajímavou osobností československé železniční historie poloviny 20. století a v námi sledované době především byl velkým propagátorem zavedení střídavé soustavy 25 kV/50 Hz na tratích ČSD. V letech 1956 až 1958 byl náčelníkem Ústřední (někdy též *Hlavní*) správy pro elektrifikaci železnic, HS010, na ministerstvu dopravy

O jeho životě viz např. zde

http://biography.hiu.cas.cz/Personal/index.php/GOTTMANN_Ferdinand_27.5.1906-6.10.1980 nebo zde <https://www.horosvaz.cz/historie-horolezectvi/osobnosti/27-kucera-oktabec-eichler-gottmann/>, vyhledáno 7.12.2020

²¹ Národní archiv Praha-Chodovec, Fond Ministerstvo dopravy II, karton 478, spis č.j. 47719/56

²² Luis Armand viz např. https://en.wikipedia.org/wiki/Louis_Armand, vyhledáno 10.7.2023

průvodci naší delegace vhodné upomínkové dárky a žádám proto o poskytnutí obnosu 400,- Kčs na jejich zakoupení.²³

Vládní usnesení **2716/1956** ze 4. prosince 1956 nese název *O technickém rozvoji v dopravě a systému 50 Hz se dotýká jen velmi okrajově obecnou formulací „rozšiřovat elektrifikaci železničních tratí tak, aby podíl elektrické trakce činil v roce 1960 nejméně 24 % a v roce 1965 nejméně 42 % počtu hrtkm všech trakcí, a zaměřit se na postupné použití elektrického proudu průmyslového kmitočtu“.*

Zásadnější je vládní usnesení **127/1957** z 30. ledna 1957 s názvem *Ke zprávě ministra dopravy o využití poznatků z elektrifikace železnic jednofázovým proudem průmyslového kmitočtu. Toto usnesení uložilo „ministru dopravy projednat*

a/ s ministrem těžkého strojírenství vývoj elektrických lokomotiv a napájecích stanic pro střídavou jednofázovou trakci průmyslového kmitočtu,

b/ do konce roku 1957 s ministrem energetiky způsob napájení střídavé jednofázové trakce z rozvodného energetického systému.“

Podkladový materiál k tomuto usnesení je velice rozsáhlý a proto si z něj ocitujeme jen některé vybrané části, jako např, že *„je jednofázovým proudem průmyslového kmitočtu elektrifikováno v Maďarsku 180 km, v Německu 56 km, ve Francii 348 km, v Belgickém Kongu 105 km²⁴, v Anglii 6 km a SSSR 140 km železničních tratí. Mimo to se tímto systémem provádí elektrifikace kratších tratí předměstské dopravy v Portugalsku a Turecku.“*

A dále pak *Stanovisko úřadu předsednictva vlády: „Hlavním problémem střídavé trakce jsou vyhovující lokomotivy, jejichž usměrňovače jsou dosud předmětem vývoje. Na francouzských železnicích se střídavý proud transformuje z 25.000 V na 600 V a pak se rtuťovými usměrňovači (ignitrony) namontovanými na lokomotivách usměrňuje pro napájení stejnosměrných trakčních motorů. Tyto ignitrony jsou však velmi těžké a vyžadují mimo to speciálních zapalovacích zařízení. Technicky daleko dokonalejší jsou proto usměrňovače polovodičové (použití germania nebo silicia), jichž se používá v SSSR, Anglii a USA, a které jsou podstatně jednodušší, mají větší účinnost a nepotřebují další obsluhu a údržbu. Také Československé akademii věd se podařilo sestavit prototyp germaniového usměrňovače, který má být sériově vyráběn v závodě ČKD Stalingrad v Praze.“*

²³ Tyto vhodné upomínkové dárky zakoupeny byly. Suma 400 Kčs byla rozdělena na 250 Kčs pro pana Louise Armanda a 150 Kčs určenému průvodci. V obchodním domě Bílá labuť byly zakoupeny automatické tužky a tuhy za 51,50 Kčs, 2 dosy, košíček a 1 váza za celkem 193,50 Kčs a 2x pravá slivovice se zálohou za 151,60 Kčs; celkem tedy bylo na vhodné upomínkové dárky vynaloženo 396,60 Kčs. U položky 2x pravá slivovice se zálohou je navíc ještě uvedeno, že lahve nemohou být vráceny, protože byly vzaty jako dárek při služ. cestě do Francie.

²⁴ Trať Jadotville – Tenke, viz výše

Další vývoj v Československu, usnesení 279/1959 a pokus o stavbu a provozování turbínové lokomotivy

Dnes je bohužel známo, že ani po výše popsaných pokusech o změnu situace – a to až z nejvyšších míst – k žádným změnám nedošlo a vývoj se na československé železnici i ve druhé polovině padesátých let ubíral cestou stejnosměrného systému a pokusy s turbínovou lokomotivou. Na téma zavedení systému 50 Hz u ČSD bylo proto 8. dubna 1959 přijato další vládní usnesení č. 279/1959 „o dalším postupu při elektrizaci železnic a o průběhu dosavadní přípravy přechodu na elektrizaci střídavým proudem průmyslového kmitočtu.“ V usnesení vláda v části I nejprve vzala na vědomí, že „1. elektrizace železnic střídavým proudem průmyslového kmitočtu je systém progresivnější a výhodnější než systém stejnosměrný a že proto elektrizace druhého, tzv. jižního tahu s přilehlými úseky o celkové délce 1.355 km bude provedena střídavým systémem. Prokáže-li se v souvislosti se sestavou třetího pětiletého plánu a zkouškami s turbínovou lokomotivou motorizace zbývajících tratí ČSD jako efektivnější a účelnější, navrhne ministr dopravy vládě případné změny programu elektrizace v návrhu třetího pětiletého plánu; 2. že ministr dopravy ve spolupráci s ministrem státní kontroly a ministrem-předsedou Státního úřadu plánovacího za účelem zvýšení efektivity elektrizace vydá do jednoho měsíce opatření k odstranění technických nedostatků na elektrifikovaných úsecích a tak rázně skoncuje s dosavadním nepřipustně dlouhým řešením.“ A dále pak v části II uložila ministru dopravy „1. v předstihu elektrizovat střídavým proudovým systémem trať Plzeň – České Budějovice tak, aby na úseku Plzeň – Babín²⁵ mohly být zahájeny provozní zkoušky tohoto systému v roce 1962, 2. nejpozději do konce dubna 1959 uplatnit u ministra těžkého strojírenství podle nových poznatků požadavky na výrobu lokomotiv střídavého proudového systému a na napájecí zařízení, 3. o opatřeních provedených podle části I bodu 2. tohoto usnesení a o celé problematice přípravy na přechod na elektrizaci střídavým proudem průmyslového kmitočtu, spolu s návrhy potřebných кадровých opatření, informovat do 15. května 1959 politické byro ústředního výboru Komunistické strany Československa.“

Toto vládní usnesení z 8. dubna 1959 tak lze konečně považovat za skutečný počátek rozvoje střídavého systému 25 kV/50 Hz v Československu. Jeho přijetí ale předcházela tvrdá polemika na nejvyšších místech, a to především mezi ministrem dopravy a ministrem státní kontroly. Zejména reakce *ministerstva státní kontroly*, které reprezentoval ministr Josef Krosnář²⁶, na argumentaci *ministerstva dopravy* je velmi zajímavá a dnes překvapí vysokou mírou otevřenosti a nepochybné odborné fundovanosti jejích autorů. Tato zpráva²⁷ byla sepsána někdy v březnu 1959 a píše se v ní toto:

„1. Vedoucí pracovníci ministerstva dopravy bývalý náměstek ministra inž. Volf, bývalý I. náměstek Kalina a náměstek inž. Vošahlík, jakož i někteří o věci blíže neinformovaní pracovníci provozních útvarů ministerstva po špatných

²⁵ Dnes stanice Horažďovice předměstí

²⁶ Josef Krosnář byl dost významný, ale dnes již poněkud pozapomenutý, komunista. Viz např. https://cs.wikipedia.org/wiki/Josef_Krosn%C3%A1%C5%99, vyhledáno 6.7.2023

²⁷ Národní archiv Praha-Chodovec, Fond Ministerstvo dopravy II, nezpracovaná část, spis č.j. 584/59

zkušenostech z počátků elektrizace vůbec zaujímali k elektrizaci železnic jednofázovým systémem průmyslového kmitočtu od počátku odmítavý postoj, ač všechny technicky vyspělé státy se na použití tohoto nejvýhodnějšího trakčního systému zaměřily. Zavádí ho i Anglie, jako třetí systém elektrizace své železniční sítě.²⁸

Ministerstvo dopravy proti zavedení druhého systému uvádělo,

a/ že elektrizace střídavým proudem je kapitalistická reklama, k níž nemá SSSR důvěru. Ukázalo se však, že přímo v SSSR byly prokázány velké přednosti tohoto systému, který se zde stává systémem převládajícím.²⁹

b/ že jsme malý stát, takže si nemůžeme dovolit dva proudové systémy podobně jako Belgie, která se také rozhodla pokračovat v elektrizaci jen starým stejnosměrným systémem. Nesprávnost tohoto tvrzení byla vyvrácena vlastní zprávou z cesty pracovníků ministerstva dopravy do Belgie, podle níž v této zemi velké asi jako Morava, byla již dříve zavedena elektrizace stejnosměrným systémem na třinácti úsecích, takže zbývalo jen na třech místech tyto propojit, po případě prodloužit v celkové délce 80 km.

c/ že zavedení střídavého proudu by bylo v rozporu se zájmy obrany státu. Tento názor vyvrátil na dotaz ministra státní kontroly ministr národní obrany dopisem ze dne 17.6.1958 č. 06537, podle něhož je i z hlediska obrany státu systém střídavého proudu výhodnější pro svou jednoduchost, provozní spolehlivost a menší zranitelnost.

d/ že přechodové stanice mezi oběma systémy by znamenaly ohrožení plynulosti dopravy. Ukázalo se, že v SSSR byl tento problém hladce vyřešen synchronizací přepínání proudu v troleji se stavěním jízdních cest, takže nedochází k potížím.³⁰

e/ že systém střídavého proudu je levnější než stejnosměrný jen na papíře, ve skutečnosti že je podle sovětských zkušeností dražší. To uvedl při jednání 30.10.1958 u náměstka předsedy vlády s. Poláčka náměstek ministra dopravy inž. Vošahlík. Na písemný dotaz ministerstva státní kontroly pak uvedl, že pro toto tvrzení nemá podkladů.

Po vyvrácení všech uvedených námitek odjela skupina odborníků koncem roku 1958 do SSSR, kde byly přednosti elektrizace střídavým proudem potvrzeny a zvláštní komise odborníků ministerstva dopravy ustavená náměstkem ministra s. Pospíšilem po podrobném prostudování problému jednoznačně doporučila zavedení tohoto systému u ČSD. Ministr dopravy proto teprve nyní přiznává výhodnost použití střídavého proudu, realizaci však opět váže na podmínku, že nebudou úspěšné zkoušky s turbinovou lokomotivou.

2. Plynové turbíny jsou nesporně novým tepelným motorem a je nutné podpořit a urychlit jejich vývoj. Těžko však mohou být uváděny jako trakce nahrazující

²⁸ Viz i výše uveřejněné texty z časopisu Elektrotechnický obzor

²⁹ Argument velmi silného kalibru. V tehdejších podmínkách prakticky nerozporovatelný. A mimo jiné potvrzený výše popsanou dodávkou francouzských lokomotiv řady Φ do SSSR

³⁰ Takto komplikované řešení ale nebylo v budoucnu ani potřeba, viz stanice Kutná Hora hn.

elektrizaci. I když o československé turbině nejsou ještě k dispozici potřebné údaje, klesá podle sovětské i ostatní světové literatury účinnost turbinové lokomotivy (asi 16 %) v podmínkách jaké jsou např. u ČSD (hustý provoz s častějším zastavováním) na úroveň účinnosti parních lokomotiv (pod 10 %). Pro turbinové lokomotivy je vhodný jen dálkový provoz, jaký se vyskytuje např. v řídce osídlených oblastech se zastavováním vlaků asi po 500 km.

Turbinová trakce je v provozu o 15 % dražší než stejnosměrná a o 25 % než střídavá elektrická. Náklady na palivo se nemění ani použitím oleje místo dvakrát dražší nafty, poněvadž oleje se spotřebuje dvojnásobné množství. Použití odpadových tuhých olejů zase předpokládá jejich předehřívání na asi 80°, což opět provoz značně zdražuje. To bylo konstatováno i na zasedání technickoekonomické rady ministra dopravy dne 20.2.1959.

3. Ministr dopravy ve zprávě neuvádí, že zavedení elektrizace střídavým proudem by železnice dostaly techniku, která by vyhovovala i perspektivně nové technologii dopravy, zejména z hlediska těžkotonážního hnutí. Tomu stejnosměrný bez nákladných dodatečných investic nevyhovuje.

4. Zpráva je sestavena jen z úzkého resortního hlediska dopravy, neuvažuje, že výroba elektrických lokomotiv byla v RVHP určena Československu, které se také na tento výhodný vývozní artikl výrobně zařídilo. Počítá-li se s tím, že po roce 1963 nebude už ve světě zájem o elektrické lokomotivy stejnosměrného systému³¹, pak musí strojírenství ihned vytvářet podmínky k tomu, aby veškerá zařízení pro systém střídavého proudu, včetně lokomotiv, mohla být u nás vyzkoušena, jinak bychom zůstali stranou a nikdo by s námi jako výrobci nepočítal.

5. Zpráva vůbec neuvažuje ani výhledově přeměnu tratí dnes elektrizovaných stejnosměrným systémem na progresivní systém střídavého proudu, ač na úsecích dnes rozestavěných neb připravovaných by mohlo být bez zvýšení nákladů s touto možností počítáno např. při úpravě izolačních vzdáleností, čímž by se ušetřily později zbytečné náklady (např. nové zvyšování nadjezdů). Možnost použití polovodičů v nejbližších letech a značné provozní úspory systému střídavého proudu tuto přeměnu plně odůvodňují.

6. Ve zprávě ministr dopravy uvádí, že bude případné použití střídavého proudového systému konsultováno se sovětskými odborníky. K tomu je třeba poznamenat, že tyto konsultace již byly provedeny v prosinci 1958, neboť náčelník technického odboru ministerstva dopravy inž. Jungman a ostatní odborníci ve zprávě o cestě do SSSR uvádějí:

‘Podle našeho názoru získaného z konzultací se sovětskými odborníky není třeba budovat v ČSR zkušební úsek jen pro zkoušení jednotlivých zařízení střídavé trakce, je však účelné zelektrizovat jednofázovým systémem 50 Hz traťový úsek 80 – 100 km asi s dvouročním předstihem, aby bylo možno na něm ověřit provozní otázky této trakce, po případě přechodu a hlavně aby bylo možno včas provést řádnou přípravu pracovníků jak technických, tak dopravních.’

³¹ Toto je na druhou stranu až extrémní představa, který se též nenaplnila

Proto k zahájení výstavby střídavého proudového systému již není třeba dalších konzultací, neboť by to vedlo jen k zbytečným průtahům.

7. Z návrhu usnesení není zřejmé, zda ministr dopravy se zprávou o výsledcích zkoušek turbinové lokomotivy také předloží také celkový technickoekonomický rozbor jejího použití, tj. zejména porovnání provozních nákladů, nákladů na sesílení tratí a objektů, na úpravy v depech, na postavení dílen pro opravy turbin ap. Bez takového rozboru by nebylo možné o použití turbin na ČSD rozhodnout.

Proto je nutné, aby vláda uložila:

a/ ministru dopravy, aby do 1 měsíce předložil vládě zprávu, jakých dodatečných investic na všech již elektrifikovaných tratích je zapotřebí, aby zařízení stejnosměrného systému plně vyhovovalo technologii provozu, zejména jízdě velkotonážních vlaků i s ohledem na plánované zvýšení dopravy a současně oznámil, v jakých termínech budou opatření provedena.

b/ ministru dopravy, aby se zprávou o výsledku zkoušek turbinové lokomotivy počátkem II. pololetí 1959 současně předložil vládě technickoekonomický rozbor pro použití této lokomotivy na tratích ČSD, tj. zejména porovnání provozních nákladů, nákladů na sesílení tratí a objektů, na úpravy v depech, zřízení dílen pro opravy turbin apod.

c/ ministru dopravy, ministru těžkého strojírenství a ministru všeobecného strojírenství, aby bez ohledu na výsledek zkoušek turbinové lokomotivy urychlili elektrizace jednofázovým proudem průmyslového kmitočtu některé trati vedoucí z Plzně, jakož i výrobu zařízení včetně prototypu lokomotivy tak, aby provozní zkoušky všech zařízení mohly být zahájeny v původním termínu v roce 1961, v krajním případě v roce 1962.

Ministr státní kontroly:

K r o s n á ř v.r."

Kromě toho vznikla zhruba ve stejné době na tomtéž ministerstvu ještě zpráva nazvaná *O prověrce využívání elektrifikovaných tratí plným elektrickým provozem a o oddalování přípravy elektrifikace tratí střídavým proudem průmyslového kmitočtu.*³² Tato zpráva je velice rozsáhlá a z velké části se zabývá závažnými problémy a nedostatky elektrizace tratí a provozu systému 3000 V ss v té době. Problematiky (ne-)zavádění systému střídavého systému 50 Hz se týká několik odstavců, opět velmi otevřených a odborně velice fundovaných: „*Ministerstvo dopravy z části plnilo úkoly uložené vládou k zavedení elektrifikace ČSD střídavým proudem průmyslového kmitočtu, zejména usnesením vlády z 30. ledna 1957 č. 127, a to až do konce roku 1957, kdy byl s ministerstvem těžkého strojírenství dohodnut vývoj jednofázové lokomotivy šestinápravové, napájecích zařízení a s ministerstvem energetiky a vodního hospodářství způsob napájení z energetické rozvodné soustavy. Současně byl připraven úvodní projekt na elektrifikaci střídavým proudem v úseku*

³² Národní archiv Praha-Chodovec, Fond Ministerstvo dopravy II, nezpracovaná část, spis č.j. 584/59

Plzeň – Ražice³³, kde měla být všechna zařízení v provozních podmínkách ČSD ověřena.

Počátkem roku 1958 však ministr dopravy veškeré další práce na elektrifikaci střídavým proudem zastavil, plnění vládních usnesení se oddalovalo a pro jednání kolegia dne 2. července 1958 předložil býv. náměstek ministra s. inž. Volf návrh na definitivní odmítnutí elektrifikace střídavým proudem. Když se všechny předchozí námitky proti použití tohoto progresivního systému elektrizace železnic ukázaly jako neopodstatněné, váže nyní ministr dopravy rozhodnutí o zavedení jednofázového na výsledky zkoušek s turbinovou lokomotivou. Přitom plnění konkrétních úkolů v přípravě elektrifikace střídavým proudem má být nahrazeno časově neomezenou účastí na výzkumu a vývoji tohoto systému v SSSR, ač systém je již natolik znám a prakticky používán, že stačí jen jeho ověření v konkrétních provozních podmínkách ČSD. Ministerstvo dopravy mimo to několikrát změnilo názor, zda má být vyvíjena jednofázová lokomotiva šestinápravová nebo čtyřnápravová, což zbytečně oddaluje vývoj příslušného prototypu v LZ Plzeň. Podle usnesení vlády č. 127/1957 dohodlo ministerstvo dopravy s ministerstvem těžkého strojírenství vývoj šestinápravové lokomotivy pro střídavý systém. Vývoj, výroba a zkoušky prototypu byly zařazeny do plánu technického rozvoje LZ Plzeň s termínem ukončení zkoušek v roce 1961. Pro pochybnosti ministra dopravy s. dr. Vlasáka³⁴ a jeho náměstků inž. Vošahlíka a býv. náměstků inž. Volfa o zavedení střídavého systému v ČSR vývojové práce nepokračovaly podle plánu. Komise odborníků, vedená inž. Jirsákem z technického odboru ministerstva dopravy, která byla koncem roku 1958 k posouzení problému ustanovena náměstkem ministra dopravy s. Pospíšilem, doporučila vývoj lokomotivy čtyřnápravové, ministerstvo těžkého strojírenství však zatím nebylo o změně oficiálně zpraveno. Vzhledem k tomu, že v přípravě elektrifikace střídavým proudem již byly zameškány dva roky, jeví se tento postup jen jako další odsunutí přechodu na elektrifikaci střídavým systémem.“

A dále ještě následuje popis situace kolem vývoje turbinové lokomotivy: „První prototyp turbinové lokomotivy totiž byl vyvinut tak, že parametry nevyhovují podmínkám provozu u ČSD. Tlak na bm podvozku 13,5 t převyšuje normu o 4,5 t a znamená nepřipustné namáhání mostních konstrukcí, zejména do rozpětí 7 m a zásoba paliva asi 3,5 t je malá, ČSD požadují zvýšení asi na 11 t, což ovšem zase znamená další zatížení podvozků. Umístění paliva do přípojného tendru by naproti tomu zase znamenalo buď ve vratných stanicích lokomotivu obracet a za tím účelem v depech postavit točny delší než jakých se dosud používá nebo tendr odpojovat a lokomotivou jej objíždět po další volné staniční koleji. Dnešní dva převodové stupně neumožňují hospodárné využití lokomotivy, proto ČSD požadují další převodový stupeň. To jsou jen některé závažné problémy, které bude nutno vyřešit. Druhý prototyp je již tak rozpracován, a to ve stejném provedení jako první, že na něm

³³ Úsek Plzeň – Ražice je dlouhý 90 km, a tedy přesně odpovídá výše uvedenému sovětskému doporučení „je však účelné zelektrizovat jednofázovým systémem 50 Hz traťový úsek 80 – 100 km asi s dvouročním předstihem“

³⁴ RNDr. František Vlasák je poměrně zajímavá postava československé historie. Viz např. <https://www.vlada.cz/cz/clenove-vlady/historie-minulych-vlad/prehled-vlad-cr/1969-1990-csr/josef-korcak-5/frantisek-vlasak-50996/> nebo https://cs.wikipedia.org/wiki/Franti%C5%A1ek_Vlas%C3%A1k, vyhledáno 6.7.2023

nelze již provést požadované úpravy ani uplatnit poznatky z provozu prvního prototypu. Poněvadž první prototyp zkoušený od 22. prosince 1958 převážnou většinu času prostál v opravě a pokud jezdil tak jen bez zátěže, není známa jeho trakční charakteristika ani provozní ekonomika. Dosavadní zkoušky jsou vlastně teprve počátkem experimentálního ověřování vhodnosti turbiny pro železniční trakci. Vyhovění požadavkům ČSD – nehledíme-li na celou řadu dalších nevyřešených problémů, by znamenalo úplné přestavění prototypu, takže nelze reálně předpokládat že by bylo možné v dohledné době odpovědně rozhodnout o zavedení turbinových lokomotiv do provozu ČSD. Turbinové lokomotivy mají ostatně stejný charakter nezávislé trakce jako ostatní motorové, popříp. dieselové lokomotivy, na jejichž vývoj se také použití střídavého proudu nijak neváže. Výsledky zkoušek turbinové lokomotivy by vlastně měly ovlivnit především rozsah elektrisace nákladným a v provozu méně vyhovujícím stejnosměrným systémem, kde by se výhody turbinové lokomotivy uplatnily mnohem výrazněji a kde by s ohledem na větší únosnost železničního svršku a spodku byly spíše použitelné.

Ministr státní kontroly: K r o s n á ř v.r.“

Dle vládního usnesení 279/1959 z 8. dubna 1959 tedy bylo rozhodnuto elektrizovat systémem 25 kV/50 Hz trať Plzeň – Babín (– České Budějovice), nicméně ale investiční úkol na elektrifikaci tratě Plzeň – České Budějovice byl schválen až 13. srpna 1959.³⁵ Toto zdržení bylo způsobeno úvahami elektrizovat systémem 25 kV/50 Hz jiné tratě, v první řadě trať Plzeň – Domažlice, dále pak Plzeň – Žatec a Plzeň – Zdice.³⁶ Nejpodstatnější část argumentace pro elektrizaci tratě Plzeň – Domažlice, kterou prosazoval Náčelník Plzeňské dráhy, rozhodně stojí za ocitování: „realizací zkušebního provozu na trati Plzeň – České Budějovice by bylo narušeno využití turbinové, případně dieselové trakce v tahu Chomutov – Cheb – Plzeň – Č. Budějovice – Jihlava – Štúrovo, jakož i to, že předpokládané, příznivě konané zkoušky s turbinovou lokomotivou podstatně ovlivní rozsah zamýšlené elektrifikace tratí střídavým proudem, jak vyplývá i ze samotného vládního usnesení č. 279 ze dne 8.4.1959. Dalším důvodem je i to, že v třetí 5LP jsou pro ČSD objednány el. lok na střídavý proud pouze 2 ks, pro rok 1962 a 3 ks pro rok 1963, proti 50 ks lokomotivám turbinovým.“

³⁵ Národní archiv Praha-Chodovec, Fond Ministerstvo dopravy II, nezpracovaná část, spis č.j. 32220/59

³⁶ Národní archiv Praha-Chodovec, Fond Ministerstvo dopravy II, nezpracovaná část, spis č.j. 20491/59



Obrázek č. 6: Turbínová lokomotiva TL 659.0 byla bezesporu krásná a technicky mimořádně zajímavá, což dosvědčuje i tento snímek z montážní haly LZ v Plzni. Je na něm zachycena instalace hnacího turbínového agregátu do strojovny první lokomotivy. *Zdroj: Státní oblastní archiv v Plzni, fond Škoda Plzeň, fotografická dokumentace*

V lednu 1958. Nicméně neúspěch těchto lokomotiv znamenal krátké, ale osudové zdržení rozvoje střídavého napájecího systému na síti ČSD.

Z těchto dokumentů jasně plyne jedna věc – zdržení elektrizace tratí ČSD systémem 25 kV/50 Hz, na níž byly práce zahájeny počátkem roku 1957 a které běžely celý tento rok, viz výše, bylo z největší části způsobeno vývojem turbínové lokomotivy (pozdější řady TL 659.0), přičemž víra v její úspěch neopouštěla některé důležité činitele ještě v roce 1959. Bohužel dnes víme, že toto zhruba (zdánlivě jen) dvouleté zdržení bylo pro československou železnici a průmysl kritické, neboť jednak rozvoj systému 3 kV ss dosáhl takového rozsahu, že již nemohl být střídavým systémem jednoduše a levně nahrazen, a také že mezitím dosáhli západoevropští výrobci lokomotiv a dalších technologií takové technické i obchodní úrovně, které nemohl československý průmysl bohužel vůbec konkurovat. To se ostatně velmi brzy projevilo v balkánských zemích, které s výjimkou jediného Bulharska svojí technikou zcela ovládla švédská firma ASEA a ve zbytku celého světa, který pro změnu opanovalo konsorcium firem *50 c/s Group*, postupně vznikající již od roku 1954 a jehož prvními úspěchy byly výše popsané předměstské systémy v Istanbulu a Lisabonu, dodávka lokomotiv řady Φ do Sovětského svazu a konečně od konce padesátých let dodávky lokomotiv a dalších zařízení do Indie.

Postupné zahájení provozu na první trati ČSD elektrizované tímto systémem, tedy Plzeň – Horažďovice v letech 1962 – 1963 ani předvádění lokomotivy 39 E, konkrétně E 479.002, na Predealu v červnu 1963³⁷ již na této situaci nic nezměnilo. Jediným čestným československým úspěchem té doby tak zůstává export střídavých lokomotiv do Bulharska, ale to je už jiná a dostatečně známá historie.

Epilog: roky 1960 – 1961 a studie SÚDOP o konverzi stejnosměrného systému na systém střídavý

Posledním pokusem změnit tuto situaci a zavést u ČSD jednotný systém 25 kV/50 Hz byla studie SÚDOPu z roku 1960, řešící konverzi tehdejší stávajících tratí elektrizovaných stejnosměrnými systémy 1,5 kV (v Praze) a 3 kV (na zbytku sítě). Studie popisovala historický vývoj systému 25 kV/50 Hz a na konkrétním případě tehdy jednofázovým systémem elektrizované trati Plzeň – Horažďovice-Babín – České Budějovice ukázala možnosti zavedení tohoto systému na celé síti ČSD, včetně přestavby tratí již elektrizovaných oběma stejnosměrnými systémy. Na tuto studii ještě na podzim roku 1961 navázala další studie, nazvaná *Studie přechodu na jednofázovou trakci*, která se zabývala konkrétním provedením úprav stávajících trakčních vedení systému 3 kV ss na systém jednofázový, rozsahem nově elektrizovaných tratí a návrhem umístění napájecích stanic 25 kV na celé síti ČSD.

Pro úplnost ještě dodejme, že stejná instituce vypracovala podobnou studii ještě v roce 1988, a to především z důvodu tehdy již velmi vysokých a neúnosných nákladů na eliminaci následků koroze vyvolané bludnými proudy okolo tratí ČSD elektrizovaných stejnosměrným systémem. Zajímavostí je, že tato studie zmiňuje dvě vládní usnesení ze šedesátých let, č. 264 z 13. května 1964 a 38 z 10. února 1965, dle kterých měla být elektrizace tratí ČSD stejnosměrným proudem nejdříve postupně utlumována, a následně měl být všude zaveden jen střídavý systém.

Jak dnes ale víme, nic z těchto návrhů nebylo realizováno a v Československu a po roce 1992 ještě i v České republice a na Slovensku tak byly vedle sebe rozvíjeny dva odlišné napájecí systémy, stejnosměrný 3 kV a střídavý 25 kV/50 Hz³⁸, a toto nepříjemné dědictví si železnice obou nástupnických států sebou nesou dodnes. Teprve v posledních letech, mimo jiné v přímé souvislosti s liberalizací evropské železnice, se oba národní správci železniční infrastruktury, tedy česká *Správa železnic* a slovenské *Železnice slovenskej republiky*, rozhodly provést postupnou konverzi stejnosměrného systému na systém 25 kV/50 Hz, a to za využití nejnovějších technologií, zejména v oblasti napájení. V obou zemích se však jedná o velmi dlouhodobé procesy s dnes neznámými termíny dokončení, neznámými náklady a neznámými dopady na železniční dopravu, zejména během výlukových a stavebních prací.

³⁷ Viz např. <http://www.prototypy.cz/?rada=S699.0>, vyhledáno 12.8.2024

³⁸ V samostatné ČR byly stejnosměrným systémem elektrizovány tratě Hradec Králové hn – Jaroměř (1993), Letohrad – Lichkov st.hr. (2008), Zábřeh na Moravě – Šumperk – Kouty nad Desnou (2010/2016), Louka u Litvínov – Litvínov (2020) a Olomouc hn – Šumperk (2022), v SR pak tratě Prešov – Plaveč (1997), Čaňa – státní hranice SR/Maďarsko (– Hidasneméti) (1997) a Čadca – státní hranice SR/Polsko – (Zwardoń) (2002)

Závěr

V obou dílech popsaná „prehistorie“ rozvoje jednofázového systému 50 Hz v Evropě a tehdejším Československu je bezpochyby zajímavá a v mnoha ohledech stále neprobádaná a neznámá. A jelikož tento dvoudílný text nemohl všechny souvislosti ani zdaleka pojmut vrátíme se v blízké budoucnosti k historii elektrizace světové železnice ještě jednou, a to v rozsáhlejšímu cyklu, který si klade nemalý cíl popsat vývoj, který vedl od prvních jednoduchých stejnosměrných systémů přes pokusy s trojfázovým pohonem, jednofázovým pohonem o snížené frekvenci, opět stejnosměrným proudem o vyšších napětích nakonec k jednofázovým systémům o průmyslové frekvenci 50 Hz.

Lektorovali:

Ing. Jiří Pohl,

Siemens Mobility

Ing. Milan Šrámek,

Škoda Transportation

4. Snížení energetické náročnosti a ekologické zátěže ze železniční dopravy prostřednictvím přípravy infrastruktury pro vlaky na alternativní pohon

Jiří Cigánek¹

Klíčová slova

Zelená dohoda, obnovitelné zdroje energie, infrastruktura, železniční doprava

Keywords

Green Deal, renewable Energy, infrastructure, rail transport

Anotace

Evropská komise dlouhodobě usiluje o udržitelnou mobilitu prostřednictvím snižování emisí z dopravy. Jedním ze základních dokumentů je Zelená dohoda pro Evropu (Green Deal). Jedná se o novou strategii růstu, jejímž cílem je transformovat EU na spravedlivou a prosperující společnost s moderní a konkurenci schopnou ekonomikou efektivně využívající obnovitelné zdroje energie. Tuto strategii přijala také Česká republika a tím se zabýval projekt s VŠB TUO CEET. Článek představuje ukončený projekt, který řešila VŠB-TUO a Správa železnic, s.o.

Abstract

The European Commission has long been striving for sustainable mobility through the reduction of transport emissions. One of the basic documents is the Green Deal for Europe. It is a new growth strategy that aims to transform the EU into a fair and prosperous society with a modern and competitive economy that makes efficient use of renewable energy sources. The Czech Republic has also adopted this strategy. The article presents a project that is being solved by VŠB, TU Ostrava and Správa železnic, s.o.

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

1. ÚVOD

Na základě Zelené dohody v oblasti dopravy se Česká republika zavázala snížit emise CO₂. K dosažení těchto cílů je potřeba omezit množství emisí, a to zejména ve městech. Pro plnění těchto dohod je strategickým cílem dopravy vybudovat i infrastrukturu pro využívání nízkoemisních vozidel provozovaných na železniční síti.

Možnostmi naplnění dosažení cílů v oblasti železniční dopravy se zabýval projekt „*Snížení energetické náročnosti a ekologické zátěže ze železniční dopravy prostřednictvím přípravy infrastruktury pro vlaky na alternativní pohon*“.

Hlavním řešitelem projektu byla Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, spoluřešitelem byla Správa železnic, s.o. Aplikačním garantem projektu byl Moravskoslezský kraj. O výstupy z projektu projevil zájem Ministerstvo dopravy, ČD, a.s., ŽESNAD a RegioJet.

Projekt řešil snížení energetické náročnosti a ekologické zátěže ze železniční dopravy pro vlaky s využitím alternativních pohonů.

Podstatou projektu bylo vytvořit nástroj k určení takových neelektrifikovaných železničních tratí, na nichž je vhodné nahradit vlaky tažené diesellovými lokomotivami moderními vlakovými jednotkami s alternativními pohonnými systémy.

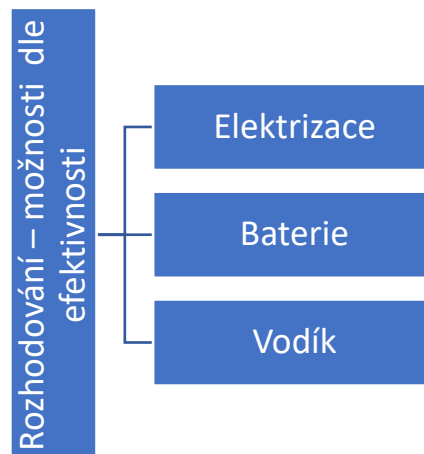
Očekává se také přesun většího množství cestujících ze silnic do nových a rychlých vlakových jednotek, což přispěje ke snížení počtu osobních automobilů na regionálních silnicích, lepší průjezdnosti těchto komunikací a zvýšení bezpečnosti provozu. Přesunem cestujících z individuální přepravy do prostředků přepravy hromadné lze očekávat i snížení primární energie spotřebovávané na území ČR.

Problém je vysoce aktuální a evropské železnice se jím již dlouhodobě zabývají (Rakousko, Německo, Francie...). I u nás v posledních postcovidových letech vidíme nárůst cestujících na železnici.

2. Hlavní cíle

Jedním z hlavních cílů projektu bylo vytvořit Metodiku pro pasportizaci železničních tratí určených pro vlaky s alternativními pohony, jejíž součástí je matematicko-ekonomický model, který umožní modelovat ekonomickou efektivnost nasazení příslušného alternativního pohonu na konkrétní železniční trati.

Při rozhodování o využití příslušné varianty vhodné pro konkrétní trať byly brány v úvahu varianty dle obrázku 1., případně jejich kombinace.



Obr. 1 Varianty alternativních pohonů, popřípadě jejich kombinace

3. Shrnutí řešení

Nejprve byli osloveni jednotliví objednavatelé železniční dopravy s dotazem, jaké jednotky na alternativní pohony plánují v budoucnosti objednat. V následující tabulce 2 je uveden předpokládaný počet nových jednotek na alternativní pohony v jednotlivých krajích dle jejich požadavků.

Kraj	Předpokládaný alternativní pohon	Předpokládaný počet nových jednotek, vozidel
Moravskoslezský kraj	Baterie, vodík	19 BEMU, 6 HEMU
Jihomoravský kraj	Baterie	47 BEMU
Olomoucký kraj	Baterie	9+2 BEMU
Pardubický kraj	Baterie	10+2 BEMU
Ústecký kraj	Baterie	26 BEMU

Tab. 1 Předpokládaný počet nových jednotek na alternativní pohon [3]

BEMU – Battery electric multiple unit

HEMU – Hydrogen electric multiple unit

Tento projekt se nezabýval tratěmi, které jsou elektrizované, nebo se jejich elektrizace plánuje v dohledné době.

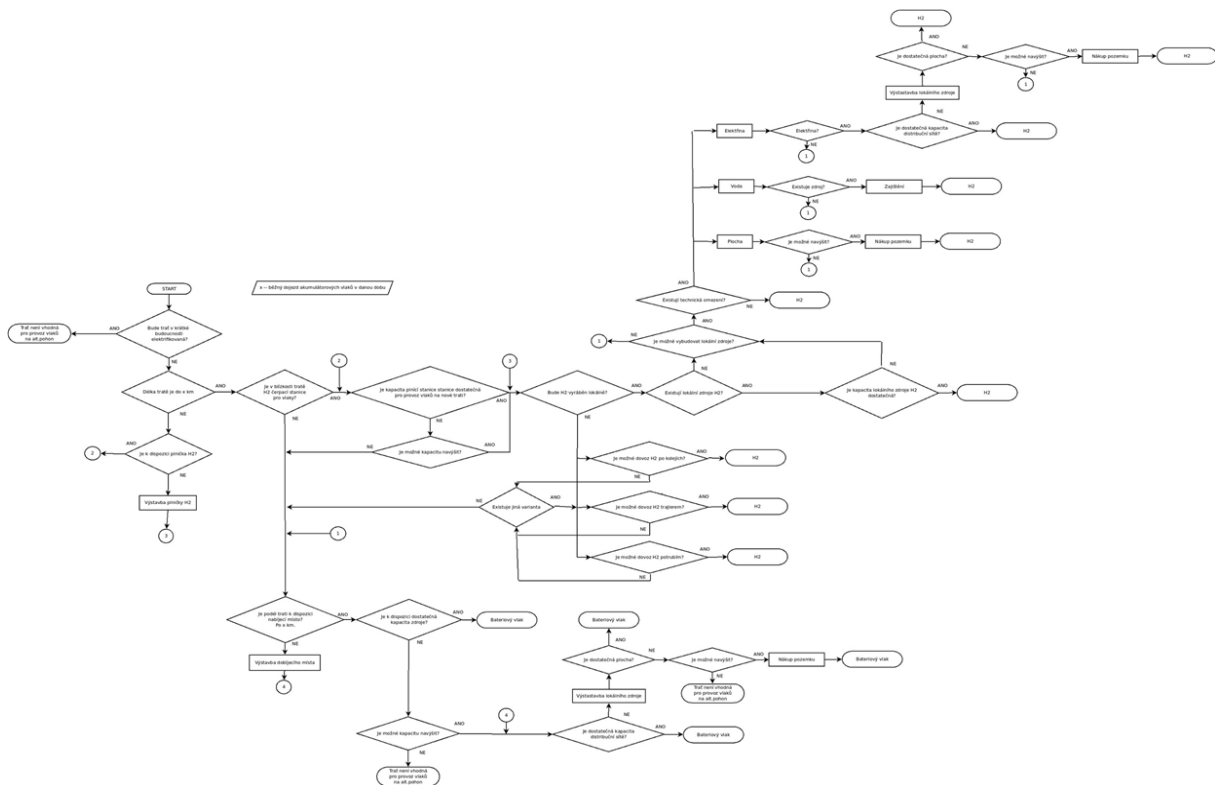
V rámci projektu proběhly práce na tvorbě matematicko-ekonomického modelu, který umožnil s využitím strategie „Co se stane, když“ vytvořit ekonomicky optimální řešení pro nasazení vhodného druhu pohonu na konkrétní železniční trať. Tento model byl naplněn relevantními daty, které byly získány z jednotlivých řešených tratí.

Vzhledem k tomu, že lze v budoucnu očekávat proměnlivost cen, model s těmito možnostmi počítá. Můžeme předpokládat a definovat jako proměnnou ceny energií

pro jednotlivé alternativní pohony, případnou redukcí dopravní obslužnosti na některých tratích a další proměnné, které budou ovlivňovat ekonomickou efektivnost nasazení toho kterého druhu pohonu na dané trati.

Pro volbu optimálního řešení přípravy infrastruktury pro alternativní pohony na zamýšlené lince, trati z pohledu technických parametrů byl vytvořen rozhodovací diagram, který postihuje všechny v současnosti relevantní technické specifikace, jež je nutno zahrnout do rozhodovacího procesu. Tento rozhodovací diagram je uveden na obrázku 2.

Je nutné si uvědomit, že technicky není vhodné se omezit pouze na řešení vhodnosti konkrétního alternativního pohonu, ale je nezbytné chápat problém alternativních zdrojů pohonu pro vlakovou dopravu v širším komplexu. Samotná volba zdroje energie pro alternativní pohon je pouze jednou z částí rozhodovacího procesu. Významná je také diskuse nad dostupností energie.



Obr. 2 Rozhodovací diagram [4]

V projektu se se posuzuje, jaký alternativní pohon je pro danou trať vhodný z technického pohledu. V zásadě o tom rozhoduje délka zamýšlené tratě. V neposlední řadě do toho vstupuje i objednavatel veřejné dopravy, který má také své strategie a objednává i pohon vozidel. Může být použita i kombinace prosté elektrizace na střídavou trakci a bateriového železničního vozidla. Tato varianta se jeví jako výhodná vzhledem ke strategii Správy železnic, s.o. Do budoucna může dojít v rámci konverze k propojení jednotlivých úseků, a tím pádem k mřížovému napájení. Tato varianta v rámci zavádění alternativních pohonů se dle výsledků z projektu jeví v dnešní době v tomto čase jako ekonomicky výhodnější oproti zavádění vodíkových pohonů.

Typ vodíku	Nejběžnější způsob výroby	Emise
Šedý	Reformace zemního plynu	Více než 36,4 g CO ₂ /MJ
Modrý	Reformace zemního plynu + CCS/CCU	Méně než 36,4 g CO ₂ /MJ
Tyrkysový	Pyrolýza zemního plynu	Nulové emise CO ₂ Vedlejším produktem je C
Zelený	Elektrolýza vody – zdrojem elektřiny jsou obnovitelné zdroje (OZE)	Nulové emise CO ₂ Vedlejším produktem je O ₂
Fialový	Elektrolýza vody – zdrojem elektřiny jsou jaderné elektrárny	Nulové emise CO ₂ Jaderný odpad
Růžový		
Červený		
Černý	Elektrolýza vody – zdrojem elektřiny jsou uhelné elektrárny	Až 1 kg CO ₂ /kWh
Hnědý		
Žlutý	Elektrolýza vody – zdrojem elektřiny jsou fotovoltaické panely	Nulové emise
Bílý	Z přírodních nalezišť	Nulové emise

Tab. 2 Shrnutí jednotlivých barevných označení vodíku, jejich výroba a emise [4]

Pokud v budoucnu bude v dosahu zelený vodík a vodíková plnicí stanice, je vhodné uvažovat o pohonu na vodík, neboť se dá očekávat jednak zefektivnění provozu vodíkové plnicí stanice a dostatečnou opravárenskou základnu pro údržbu těchto vozidel v okolí tratě. Zelený vodík je vodík vyrobený elektrolýzou vody z OZE – viz příložená tabulka 2.

3.1. Provoz na baterie

Bateriový provoz je velmi náročný na dostupnost elektrické energie pro nabíjení vlaku. Proto se jeví provozně lepší kombinace provozu bateriového vlaku částečně pod trakcí, aby bylo docíleno nabití za jízdy. Je nutné vybudovat nabíjecí body ve stanicích a zajistit dostatek energie. Pokud není tato energie k dispozici a není možné dodatečně vybudovat nový zdroj, je nutné uvažovat o jiné alternativě.

3.2. Provoz na vodík

Vodíkový provoz vlaků především potřebuje zdroj kvalitního, nejlépe zeleného vodíku. V zásadě existují dva způsoby, jak jej zajistit. Buď je možné ho na místo plnění dopravit, nebo je nutné ho vyrobit. Výhodnější se zdá být varianta výroby poblíž místa plnění, velmi však záleží na zdrojích vodíku v okolí a možnostech jeho přepravy.

Technický pohled je sice relativně deterministický, vstupuje do něj ale mnoho proměnných, na něž je třeba brát zřetel. Mnohdy o výhodnosti daného typu pohonu rozhodují spíše situační umístění dané tratě, a nikoli pouze technické parametry. Platnost navrženého rozhodovacího diagramu v budoucnu nezmění zásadní změny parametrů baterií (především jejich energetické hustoty $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{kg}$ případně $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$) nebo efektivnější výroba vodíku. Zásadní vliv na popsáný vývojový diagram může mít existence nové alternativy pro pohon vlaků. Prozatím se nejeví, že by v krátké době taková situace mohla nastat. Pokud se tak stane, může se z popsáného diagramu vycházet a rozšířit ho o další možné větvení.

Při rozhodování se musí brát v úvahu nejen technické možnosti, ale i hledisko ekonomické a environmentální. Před nasazením vlaků s alternativními pohony je také nutné vybudovat patřičnou infrastrukturu, a proto bylo nezbytné do výzkumného projektu zahrnout metodiku rozhodování.

4. Příprava infrastruktury pro BEMU

V České republice, je ještě mnoho tratí, kde není plánována elektrizace a jsou vzhledem k jejich parametrům vhodné pro provoz železničních jednotek na bateriový pohon.

Jedno ze základních kritérií pro výběr vhodného alternativního pohonu je délka zamýšlené tratě. Nejedná se sice o jediné hledisko, nicméně je nepřekročitelné. Pro úvahy v tomto dokumentu byla zamýšlena vlaková souprava, která na jedno nabití umožní jízdu vlaku na trati dlouhé maximálně 100 km.

Pro nabíjení souprav jsme počítali s možností nabíjet v úvratkové stanici pod trolejí o napětí 25kV střídavých. Toto napětí se sice na tratích severní části ČR nevyužívá, nicméně umožňuje přenášet do hnacího vozidla řádově větší výkon než v případě stejnosměrné trakce 3kV. Technicky je sice možné vytvořit speciálně upravenou trolej pro 3kV stejnosměrné trakce s možností přenosu vyššího výkonu než u standardních trolejí, nicméně i za těchto okolností by toto řešení nedosahovalo parametrů jako u použití střídavého napětí.

Pro kalkulaci v tomto dokumentu jsme počítali s variantou plného nabití vlakové soupravy za maximálně 15 minut. Dle dostupných podkladů o výrobců již víme, že tato doba bude delší, cca 30–45 minut. Doba dobíjení záleží i na velikosti dobíjecího proudu. Po této době by byla umožněna další jízda vlaku. Podle klasického scénáře by se tedy souprava dobila v úvratkové stanici a poté by byla schopna ujet cestu tam a zpět. Toto je typické použití vlakových jednotek u tratí, které navazují na hlavní elektrifikované tratě. V některých případech by tak vlaková souprava mohla projet část trasy pod trolejí a využít možnosti nabíjení i za jízdy. Tím by se eliminovala

nepříjemná vlastnost dobíjení pod stejnosměrnou trakcí, kdy nabíjení vlaku trvá násobně déle oproti trakci střídavé.

Níže jsou rozebrány možnosti vytvoření nabíjecích pevných trolejí střídavé trakce o napětí 25kV, a to přímo s využitím distribuční elektrorozvodné sítě o napětí 22kV.

Železniční stanice Suchdol nad Odrou



Obr. 3 Možné pozice nabíjecích trolejí v místech stání souprav [4]



Obr. 4 Přívod z DTS, ČEZ Distribuce na jičínské nástupiště [4]

Způsob dobíjení z trakčního vedení je další varianta. Při tomto řešení na stejnosměrné hladině 3kV je potřeba zesílení již existujícího trakčního vedení (např. zdvojení trolejového drátu) do doby přechodu na jednotnou napájecí střídavou soustavu 25kV, 50 Hz. Jednotka by se dobíjela přímo z trakčního vedení.



Obr. 5 Dva alternativní přívody na nástupiště pro vlaky ve směru Fulnek a Budišov nad Budišovkou [4]

Železniční stanice Budišov nad Budišovkou

V Budišově je dostupná v rozumné vzdálenosti linka 22kV, kterou provozuje ČEZ Distribuce. Z důvodu plánovaného víkendového provozu BEMU mohou být dvě varianty řešení:

1. Pevná trolej s kontejnerovou napájecí stanicí 25kV, příkon 2MW



Obr. 6 Nabíjecí stanice společnosti Voltap pro nabíjení bateriových vlaků ve stanici [5]

2. Nabíjecí stojan s kabelem o napětí NN 400 V, 50 Hz a jmenovitém proudu buď 125 A, 63 A, nebo 32 A – pouze na temperování železničních jednotek

Obdobným způsobem se dá postupovat i na dalších tratích a linkách, kde se nepočítá s elektrizací. Kvůli intenzitě provozu na jednotlivých tratích je nutné zvolit dostatečný výkon trakčních dobíjecích stanic tak, aby se baterie v železničních jednotkách při pobytu ve stanici dostatečně nabily.

5. Výstupy z projektu

Hlavními výstupy z projektu jsou:

1. Metodika pro pasportizaci železničních tratí určených pro vlaky s alternativními pohony
2. Soubor doporučení, metodických postupů a vzorových modelových instalací

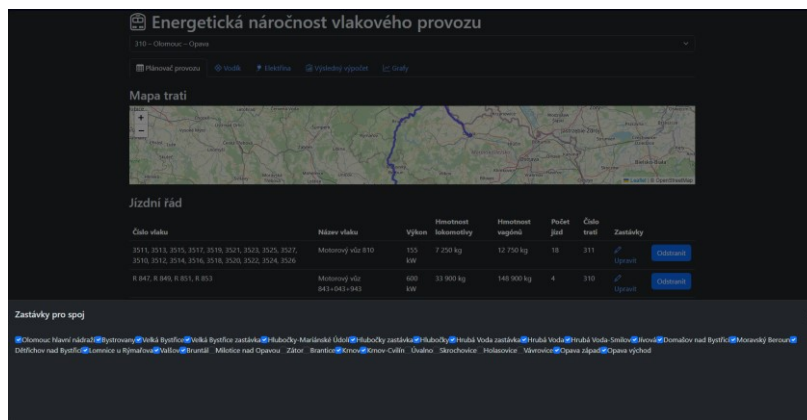
V průběhu řešení projektu proběhly dva odborné semináře, jeden v roce 2022 a druhý v roce 2023. Poslední odborný seminář s přestavením výsledků řešení se konal dne 28.5.2024.

Nad rámec projektu byla vyvinuta softwarová aplikace pro vizualizaci železničních tratí, kterou v rámci projektu vyvinul řešitelský tým. Jejím hlavním smyslem je automatizovat výpočet spotřeby jízdy vlakovou soupravou a vytvořit jednoduché rozhraní pro volbu optimálního pohonu pro danou trať. V hlavní míře se jednalo o činnosti zaměřené na dosažení hlavních výstupů projektu, kterými jsou metodika a soubor technických doporučení. Softwarová aplikace je nástroj, který může sloužit k porovnání energetické náročnosti jednotlivých alternativních pohonů na konkrétní trati a dále porovnává investiční náklady a provozní náklady na konkrétní trati při použití jednotlivých pohonů na vozidlech.

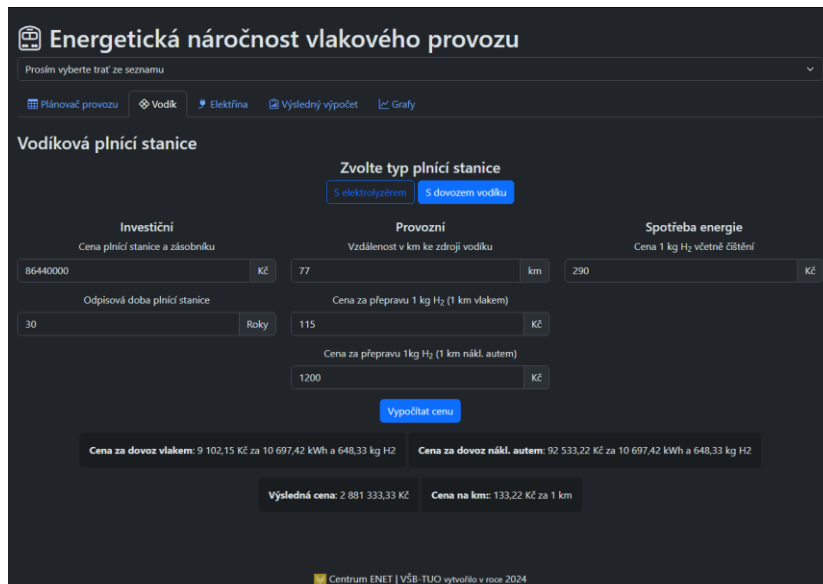
Metodika pro pasportizaci železničních tratí určených pro vlaky s alternativními pohony

Cílem metodiky bylo stanovit postupy, které jsou nutné pro zjednodušené a rychlé rozhodování o nasazení vhodného alternativního provozu na vybrané železniční tati. Metodika je nezbytná pro prvotní rozhodování v resortu dopravy, zejména Ministerstvu dopravy, objednavatelů veřejné dopravy a Správy železnic. Součástí metodiky je webová aplikace, která je nástrojem pro kvalifikovaný odhad investičních a provozních nákladů pro provoz vlaků na alternativní pohon na konkrétní trati. Jedním z nejobtížnějších částí procesu odhadu nákladů na provoz vlaků na alternativní pohon bylo nutnost určit energetickou náročnost jízdy vlaku na konkrétní trati. Proto webová aplikace pracuje s reálným profilem trati a obsahuje v sobě fyzikální modely jednotlivých vlakových jednotek. Jednotlivé modely byly v průběhu řešení validovány nad reálnými daty a je tak možné konstatovat, že jejich výsledky budou velmi podobné realitě. Aplikace se skládá z pěti záložek, jak je vidět na obr. 7 až obr. 11. V první záložce, obr.7, bude uživatel definovat konkrétní trať a dále bude definovat jednotlivé soupravy, které bude chtít na trati provozovat. U každé soupravy bude zadáno, jaký úsek tratě bude projíždět a v jakých zastávkách bude zastavovat. Nad zadanými daty se poté provede simulace jejíž výsledek bude definovat celkovou potřebu energie na provoz definovaných vlakových souprav na

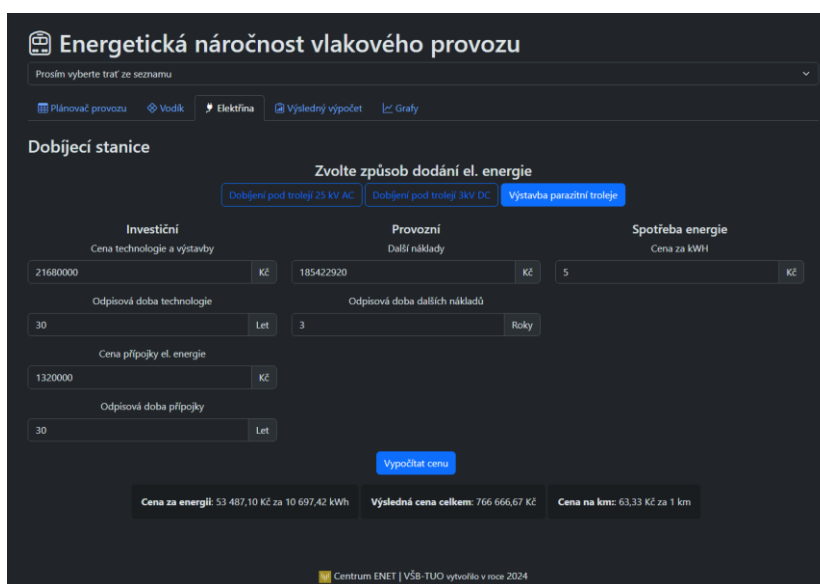
dané trati. Další záložka definuje typ provozu, buď vodíkový, nebo bateriový. Na obr. 8 je zadána energetická náročnost vlakového provozu HMU. V položce, která je nazvaná „Elektřina“ jsou specifikovány parametry dobíjecích stanic ve všech dostupných variantách – Obr. 9. V záložce „Výsledné výpočty“ jsou znázorněny číselné výsledky ze simulací. V záložce grafy jsou znázorněny jak provozní náklady, tak investiční náklady na vybudování infrastruktury – viz obr. 10 a 11. V zadání do webové aplikace je možné některé vstupní parametry dynamicky měnit a tím bude moci uživatel sledovat, jak jednotlivé vstupní parametry ovlivňují jednotlivé výstupy a poté celkovou bilanci.



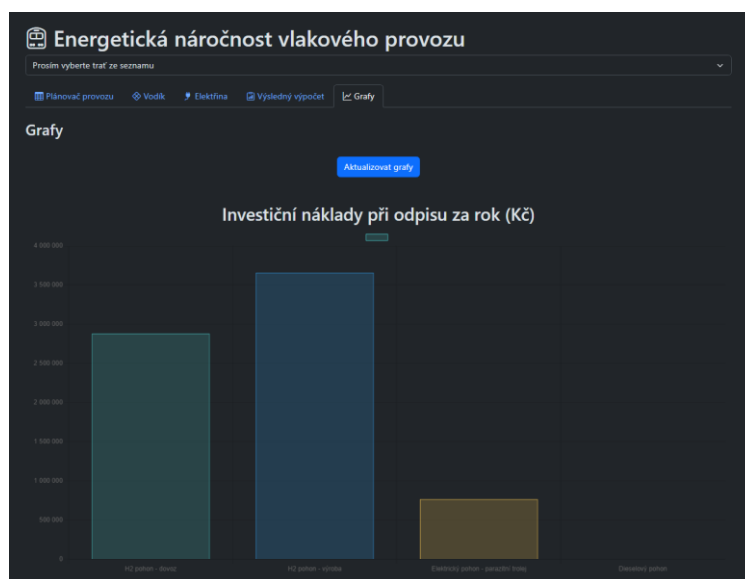
Obr. 7 Energetická náročnost vlakového provozu (výběr parametrů) [4]



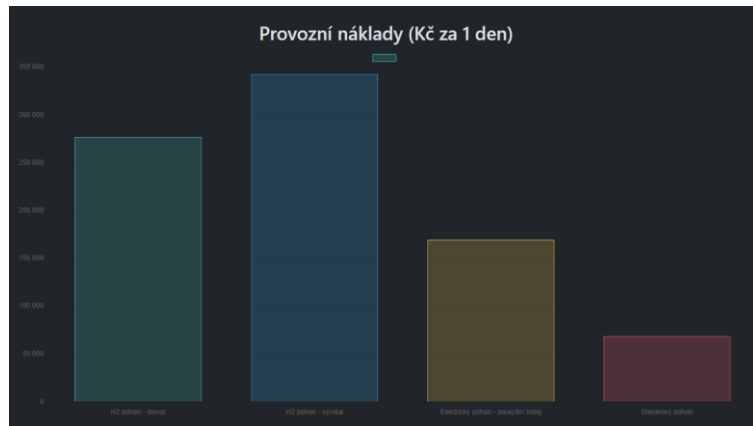
Obr. 8 Energetická náročnost vlakového provozu HMU [4]



Obr. 9 Energetická náročnost vlakového provozu BEMU [4]



Obr. 10 Grafické znázornění výsledků (investiční náklady na vybudování infrastruktury) [4]



Obr. 11 Grafické znázornění výsledků (provozní náklady jak železniční jednotky) [4]

6. Závěr

Cílem metodiky v rámci bylo stanovení postupů, které jsou nutné pro zjednodušené a rychlé rozhodování o nasazení vhodného alternativního provozu na vybrané železniční tati. Metodika a webová aplikace byly vyvinuty nad rámec projektu, což může být vhodným nástrojem pro objednavatele vlakové dopravy (Ministerstvo dopravy, jednotlivé kraje) i pro Správu železnic. Obsahuje soubor doporučení a v neposlední řadě Analýzu nákladů a přínosů.

Literatura

- [1]Dopravní politika České republiky pro období 2021 – 2027 s výhledem do roku 2050. Zdroj:
<https://www.mdcz.cz/getattachment/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Vlada-schvalila-dopravni-politiku-do-roku-2027-Pr/III-DP-Navrh.pdf.aspx>
- [2]Mapová data Správy železnic, státní organizace
- [3]Kraje v rámci ČR – poptávané jednotky
- [4]VŠB TUO Centrum energetických a enviromentálních technologií
- [5]<https://www.railtech.com/rolling-stock/2021/10/19/fast-charging-for-battery-trains-successfully-tested-in-germany/?gdpr=accept>

Seznam obrázků

- Obr. 1 Varianty alternativních pohonů, popřípadě jejich kombinace [4]
- Obr. 2 Rozhodovací diagram [4]
- Obr. 3 Možné pozice nabíjecích trolejí v místech stání souprav [4]
- Obr. 4 Příklad z DTS, ČEZ Distribuce na jičínské nástupiště [4]
- Obr. 5 Dva alternativní přívozy na nástupiště pro vlaky ve směru Fulnek a Budišov nad Budišovkou [4]
- Obr. 6 Příklad pevné troleje s kontejnerovou napájecí stanicí

- Obr. 7 Energetická náročnost vlakového provozu (výběr parametrů) [4]
Obr. 8 Energetická náročnost vlakového provozu HMU [4]
Obr. 9 Energetická náročnost vlakového provozu BEMU [4]
Obr. 10 Grafické znázornění výsledků (investiční náklady na vybudování infrastruktury)
Obr. 11 Grafické znázornění výsledků (provozní náklady jak železniční jednotky) [4]

Seznam tabulek

- Tab. 1 Předpokládaný počet nových jednotek na alternativní pohon [3]
Tab. 2 Shrnutí jednotlivých barevných označení vodíku, jejich výroba a emise [4]

Lektorovali:

doc. Dr. Ing. Roman Štěřba, MBA,

Fakulta dopravní ČVUT v Praze

Ing. Jaromír Hrubý,

Správa železnic, státní organizace

5. Co potřebuje železnice z pohledu SVOD Bohemia ?

Petr Moravec³⁹

Klíčová slova

Železnice, dopravce, osobní doprava, veřejná služba, dopravní politika, infrastruktura

Key words

Railway, carrier, passenger transport, public service, transport policy, infrastructure

Anotace

Posláním Svazu osobních železničních dopravců (SVOD Bohemia) je zvýšit podíl železnice na přepravě osob v České republice aktivním zapojením do tvorby dopravní politiky státu. Cílem SVOD Bohemia je minimalizace dopadů současného stavu tratí, jejich oprav a výstavby na kvalitu služeb cestujícím. SVOD Bohemia se aktivně spolupodílí na přípravě podmínek pro smysluplné využití nových technologií ve veřejné dopravě.

Abstract

The mission of the Union of Passenger Railway Carriers (SVOD Bohemia) is to increase the share of railways in passenger transport in the Czech Republic by actively participating in the creation of the state's transport policy. The aim of SVOD Bohemia is to minimize the impact of the current state of the tracks, their repairs and construction on the quality of passenger services. SVOD Bohemia actively participates in the preparation of conditions for the meaningful use of new technologies in public transport.

1. Úvod

Osobní železniční doprava byla 10 let před covidem nejrychleji rostoucím druhem dopravy osob v České republice. Stalo se tak díky postupnému zavádění pravidelného jízdního řádu jak v dálkové tak i v regionální dopravě, soustavné obnově vozidlového parku a díky konkurenčnímu prostředí zvyšováním celkové kvality dopravních a palubních služeb. Covid znamenal zhruba 30% propad počtu přepravených cestujících. Dnes jsme díky návratu cestujících opět na předcovidových číslech.

³⁹ Ing. Petr Moravec, výkonný ředitel Svazu osobních železničních dopravců, z.s SVOD Bohemia, svodbohemia.cz, <https://twitter.com/SvodBohemia>

2. Předvídatelné podmínky v sektoru

Cílem SVOD Bohemia je do 10 let zdvojnásobit počet přepravených cestujících. V dálkové dopravě se tento trend daří postupně naplňovat, v řadě dopravních směrů je vlak oproti individuální automobilové dopravě již dnes konkurenceschopný. V regionální dopravě je situace poněkud složitější.

K tomu, abychom mohli navázat na předcovidový trend, potřebujeme, abychom s dostatečnou pravděpodobností věděli, jaké budou dlouhodobé podmínky pro provozování osobní dopravy.

Na železnici všechno trvá velmi dlouho. Plánovat pouze z roku na rok nevede k dobrým výsledkům, protože krátkodobá opatření nevedou vždy správným směrem.

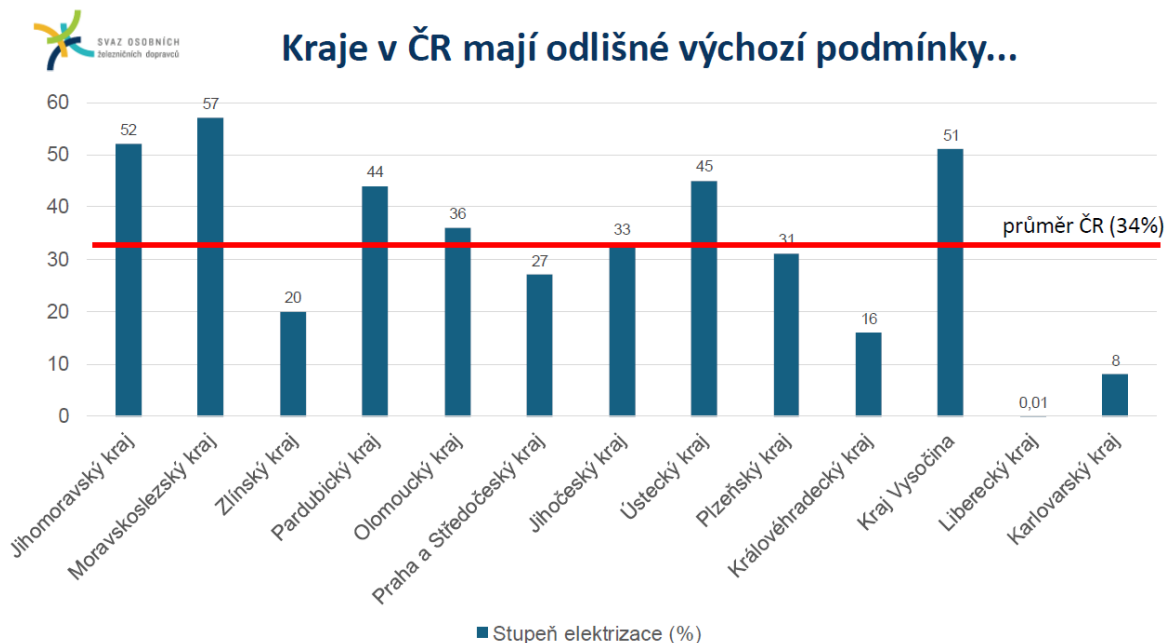
Politicky je ČR rozdělena na 14 krajů (Praha se považuje za kraj). Z dopravního hlediska považujeme Prahu a její prstenec v podobě Středočeského kraje za jeden územní celek.

3. Elektrická trakce

Zlepšení služeb na železnici umožňuje v první řadě energetická účinnost. Zatímco spalovací motor má účinnost někde kolem 30% a zbytek se ztratí v teple, moderní elektrické motory mají účinnost přes 95%, jsou tedy 3x energeticky účinnější a jejich použití je výrazně levnější.

Trh s novými vozidly v nezávislé trakci je poměrně malý a vzhledem ke Green Dealu pro výrobce zatím neperspektivní.

Výchozí podmínky pro zlepšení regionální dopravy má v ČR každý kraj trochu jiné.



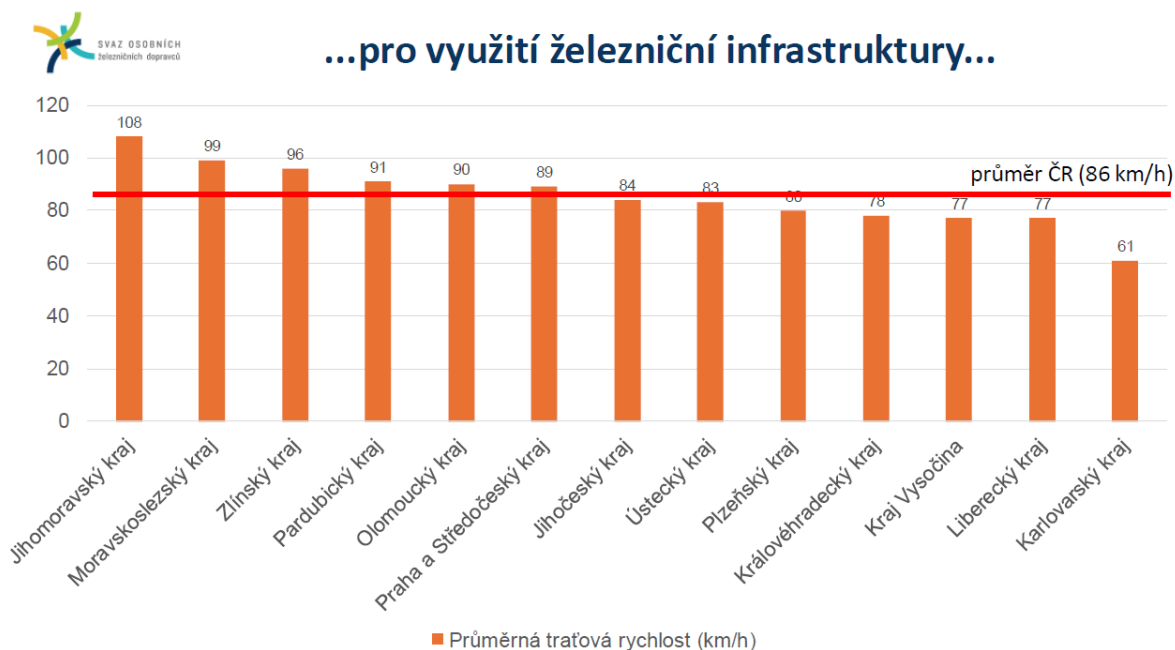
Zdroj: Správa železnic, číselník SŽ SR 72, seznam traťových úseků 2024

Obrázek č. 1: Stupeň elektrizace v krajích

Na obrázku č. 1 na jedné straně vidíme nadprůměrný podíl elektrické trakce u obou velkých moravských krajů a na zemědělském jihu. Na druhé straně máme kraje, které mají většinu tratí v nezávislé trakci, extrémem je v tomto případě kraj Liberecký, který nemá elektrické tratě žádné.

4. Traťová rychlost

Z hlediska konstrukční traťové rychlosti (obrázek č. 2) je situace trochu vyrovnanější, průměr zvyšují zejména tratě koridorové. Tři kraje, tedy Vysočina, Liberec a Karlovy Vary nemají žádné koridory.

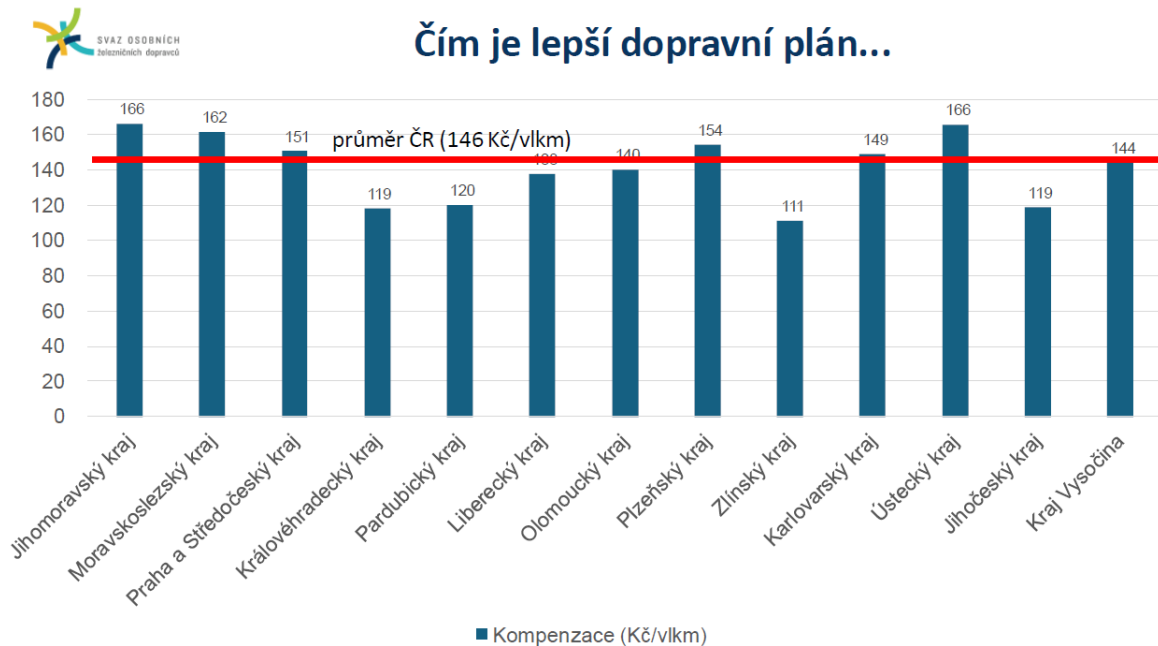


Zdroj: Správa železnic, číselník SŽ SR 72, seznam traťových úseků 2024

Obrázek č. 2: Průměrné traťové rychlosti v krajích

5. Kompenzace veřejných služeb

V souhrnu kraje zaplatí dopravcům kompenzace smluvních veřejných služeb v přepravě cestujících přes 13 miliard korun za 90 mil vlakových kilometrů a přepraví se 130 milionů cestujících za rok. Průměrně tak kraje zaplatí 140 Kč za vlkm a 100 Kč za jednoho cestujícího (obrázek č. 3). Když počítáme, že průměrná délka cesty v regionální dopravě je 20 km, jedná se o částku 5 Kč na 1 km. Jízdenka stojí průměrně 1 Kč/km.



Zdroje: MD, Ročenka dopravy 2022, Plány dopravní obslužnosti krajů

Obrázek č. 3: Kompensace v krajích (Kč/vlkm)

Některé kraje své dobré výchozí podmínky téměř dokonale využívají. Velká část dopravního výkonu probíhá na koridorových tratích, odbočné a přípojné tratě fungují podobně jako potůčky, které napájí velkou řeku.

V řadě krajů tvoří železnice dopravní páteřní systém. Železniční stanice jsou oproti autobusovým zastávkám až na výjimky hůře dostupné, je pro kvalitní dopravní obslužnost velmi důležité, aby dobře fungovala návazná pozemní doprava, včetně individuální automobilové.

Proto je klíčové, aby se u železničních stanic dalo pohodlně a spolehlivě zaparkovat.

Pak jsou kraje, které ze svého hendikepu udělaly přednost a nevýhodné výchozí podmínky dokázaly překonat chytrou dopravní koncepcí.

A některé kraje na svou příležitost teprve čekají.

A protože všechno na železnici je relativně drahé, drahé je i samotné zajištění dopravní obslužnosti.

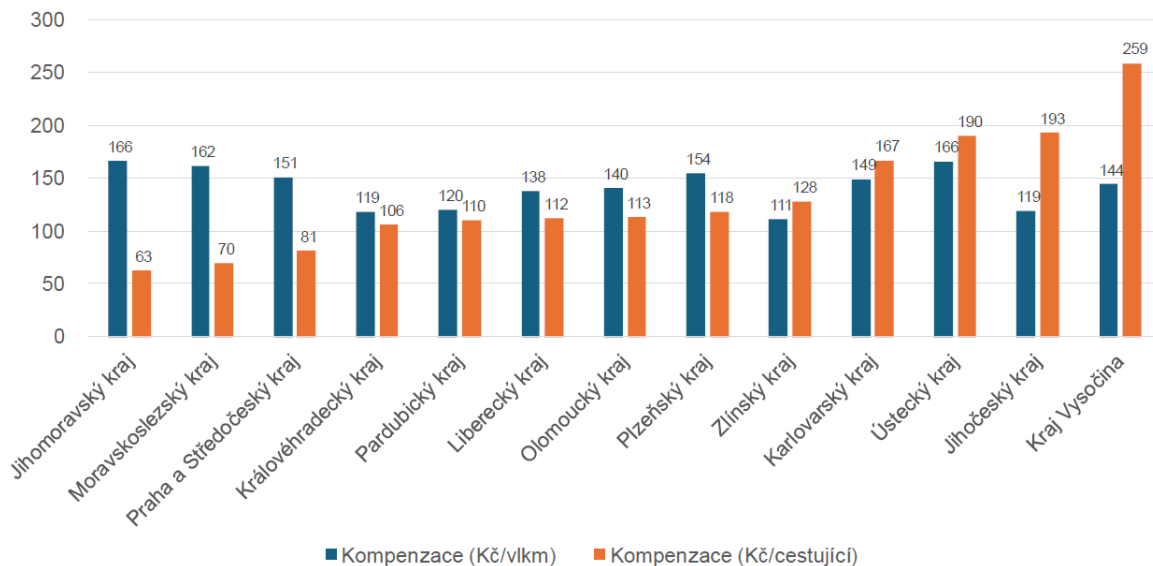
Železnice je v průměru 3 x dražší než autobus. Železniční vozidlo je na stejný počet sedadel 3x těžší než autobus. Je-li železniční vozidlo elektrické, dokáže díky menšímu valivému odporu a vyšší účinnosti elektrického motoru tento hendikep zmírnit.

Nabízíme-li stejnou přepravní kapacitu jako autobus, nemůžeme mu konkurovat.

Můžeme konkurovat, pouze tehdy, nabídneme-li minimálně 3x větší kapacitu a tato kapacita bude využita. Pak se vyplatí kraji zaplatit vyšší cenu za 1 vlakový kilometr, pokud se cena za 1 cestujícího poměrně sníží.



...tím je v železniční dopravě více cestujících.



Zdroje: MD, Ročenka dopravy 2022, Plány dopravní obslužnosti krajů

Obrázek č. 4: Kompence veřejných služeb

Jihomoravský kraj platí nejvyšší kompenzaci dopravcům, ale ve finále dotuje 1 cestujícího ze všech krajů nejméně. Je to i díky dobře navazující pozemní dopravě a zrušením paralelních dopravních spojení linkovými autobusy.

Liberecký kraj překonal svůj výchozí hendikep a vzhledem k tomu, že jeho přepravní proudy jsou spíše polycentrické, dokázal vytvořit fungující dopravní síť.

Závěr

Mobilita a doprava se týká nás všech. Mobilita umožňuje náš hospodářský a společenský život, od každodenního dojíždění do práce přes návštěvy rodiny a přátel a cestování. Úspěch snahy o bezemisní mobilitu závisí na naší schopnosti zajistit udržitelnost dopravního systému. Mobilita v Evropě i v ČR by měla být založena na účinném a vzájemně propojeném multimodálním dopravním systému osobní i nákladní dopravy, vylepšeném dostupnou vysokorychlostní železniční sítí a čistší a aktivnější mobilitou v ekologičtějších městech, která přispívá ke zdraví a dobrým životním podmínkám jejich občanů. Tento vývoj by neměl nikoho opomíjet. Je zásadní, aby mobilita byla dosažitelná a finančně dostupná pro všechny, aby venkovské a odlehlé regiony byly lépe propojené a přístupné pro osoby se sníženou pohyblivostí a osoby s postižením.

Literatura

- [1] Správa železnic. Číselník stanic SR72. Seznam traťových úseků. 2024
- [2] Ministerstvo dopravy. Ročenka dopravy 2022. Praha.
- [3] Plány dopravní obslužnosti krajů.

Lektorovali:

Ing. Václav Macek,

Ministerstvo dopravy

Ing. Pavel Blažek,

Koordinátor veřejné dopravy Libereckého kraje (KORID)

6. Bezemisní a nízkoemisní vozidla pro železniční dopravu

Jiří Pohl⁴⁰

Klíčová slova

Změna klimatu, fosilní paliva, dekarbonizace, úspory energie, bezemisní vozidla, liniová elektrizace, zásobníky energie, multimodální mobilita

Key words

Climate change, fossil fuels, decarbonization, energy savings, zero-emission vehicles, linear electrification, energy storage, multimodal mobility

Anotace

Negativní dopady klimatické změny, vysoké náklady na import fosilních paliv a produkce zdraví škodlivých látek spalováním fosilních paliv jsou silnou motivací k dekarbonizaci. Úkolem dopravy je zajistit od roku 2050 mobilitu osob a věcí bez fosilních paliv. Na rozdíl od některých oborů lidské činnosti, které technické řešení dekarbonizace teprve hledají, má doprava výhodu ve vyzrálosti a připravenosti bezemisních technických řešení. Pochopitelně v dimenzi multimodality, neboť ta umožňuje aplikovat jednotlivé druhy dopravy jen tam, kde jsou efektivní. Zásadní výhodou železnice je technologicky zvládnutá a velmi rozšířená liniová elektrizace. Její další rozvoj je základním trendem dekarbonizace železniční dopravy. Doplňkovými trendy jsou v částečně liniově elektrizované železniční síti dvouzdrojové trakční jednotky trolej/akumulátor (BEMU) a dvouzdrojové (duální) lokomotivy trolej/diesel.

Anotation

The negative impacts of climate change, the high costs of importing fossil fuels, and the production of health-damaging substances from burning fossil fuels are strong motivations for decarbonization. The task for transportation is to ensure mobility of people and goods without fossil fuels by 2050. Unlike some sectors of human activity that are still seeking technical solutions for decarbonization, transportation has the advantage of mature and ready zero-emission technical solutions. Naturally, in the dimension of multimodality, as it allows for the application of different types of transportation only where they are effective. A fundamental advantage of rail is the technologically mastered and widely used linear electrification. Its further development is a basic trend in the decarbonization of railway transport. Complementary trends in a partially linearly electrified railway network include dual-

⁴⁰ Ing. Jiří Pohl, senior engineer, Siemens Mobility

source traction units using trolley/battery (BEMU) and dual locomotives using trolley/diesel.

Úvod

Ve srovnání s tím, jak důsledně je řešena, a jak významně již pokrčila, dekarbonizace elektrárenství (soustavný pokles měrné emisivity spotřební elektrické energie, a to i v ČR, je toho objektivním dokladem), tak v dopravě dekarbonizace v zásadě ještě nezačala. Soustavný růst spotřeby energie v dopravě, zejména importovaných fosilních paliv, a vytrvale rok od roku stále vyšší produkce oxidu uhličitého v dopravě v ČR jsou toho smutným dokladem.

Zaostávání dekarbonizace dopravy (tím i aplikací moderních inovativních bezemisních udržitelných technologií v dopravě) za dekarbonizací energetiky (tím i aplikací moderních inovativních bezemisních udržitelných technologií v energetice) je nepochybně způsobeno i tím, že v energetice již je v zemích EU řadu let důsledně uplatňován princip emisního obchodování EU ETS, avšak v dopravě zatím ne.

Tato nesymetrie již brzy skončí, od roku 2027 bude v zemích EU rozšířen systém emisního obchodování i na dopravu a na vytápění budov. A to zavedením samostatného systému emisního obchodování EU ETS 2.

Tržní cena emisní povolenky EU ETS 2 bude zpočátku limitována (případným vydáváním dalších emisních povolenek) na hodnotě 45 EUR t CO₂, tedy zhruba 1 Kč/kg CO₂.

Měrná emisivita ropné motorové nafty činí 2,65 kg CO₂/litr, tedy po zavedení systému EU ETS 2 vzroste cena motorové nafty zhruba jen o 3 Kč/litr. To není žádné dramatické zdržení, běžné sezónní výkyvy tržní ceny pohonných hmot bývají prakticky každoročně vyšší.

Podstatný však je lineární redukční faktor, tedy tempo snižování počtu ročně vydaných emisních povolenek. Trajektorie emisí oxidu uhličitého produkovaného dopravou směřuje k nule v roce 2050, ve kterém již nebude vydána žádná emisní povolenka.

V odpovědnosti sektoru dopravy je, aby se do té doby doprava zbavila své závislosti na spotřebě, respektive splování fosilních paliv. Aby doprava dokázala zjistiť přepravu osob a věcí bez fosilních paliv, neboť v roce 2050 již žádná fosilní paliva nedostane.

V procesu dekarbonizace je žádoucí, aby doprava šla trendu dekarbonizace vstříc, aby svoji závislost na fosilních palivech rok od roku programově snižovala, aby emisních povolenek potřebovala stále méně. V opačném případě by byla poptávka po fosilních palivech vyšší než jejich možná spotřeba, tržní cena emisní povolenky by byla velmi vysoká, aby vyvolala změnu spotřebitelského chování. To je jejich účelem.

Vysoká tržní cena emisní povolenky urychluje proces dekarbonizace dopravy dvojnásobným účinkem:

- vysoké ceně emisní povolenky úměrná vysoká cena fosilních paliv vede k poklesu poptávky po fosilních palivech,
- vysoký výnos z držeb emisních povolenek a jemu úměrné vysoké investice do moderních bezemisních technologií stimuluje zavádění moderních bezemisních technologií v dopravě, poptávka po fosilních palivech klesá, nejsou potřeba, jsou nahrazovány obnovitelnými zdroji.

V každém oboru lidské činnosti, dopravu nevyjímaje, je dekarbonizace největším projektem, jaký kdy byl v dějinách techniky řešen. Motiv je všeobecně znám (zastavení klimatických změn, zastavení importu fosilních paliv, zastavení produkce zdraví škodlivých látek), cíl též (nulová spotřeba fosilních paliv v roce 2050 – viz závěry celosvětové Pařížské konference z prosince 2015). Nástroje k dekarbonizaci (moderní technologie) jsou k dispozici, zdroje (tím primárním a obnovitelným je lidská práce) též.

Pochopitelně jako každý projekt potřebuje i dekarbonizace kvalitní projektové řízení. Jeho hlavním cílem je zajistit nejen environmentální udržitelnost, ale i ekonomickou udržitelnost a sociální udržitelnost.

1. Adaptace a mitigace

Změna klimatu je realita. Klima ovlivňují antropogenní plynné emise a doprava je jejich významným zdrojem. Velmi názorně to dokládá růst četnosti výskytu a intenzity povodní v ČR, ke kterým vydatně přispěly jak emise oxidu uhličitého, tak i emise oxidů dusíku:

- Spalováním fosilních paliv (automobilový benzín, motorová nafta, CNG, LNG) vznikající emise oxidu uhličitého (CO₂), které zvyšují tepelně izolační schopnost plynného obalu Země, což se projevuje růstem teploty ovzduší i oceánů. Všeobecně sledovaným parametrem je zvýšení střední roční teploty ovzduší Země, které již překročilo hodnotu 1 °C a dále roste. Avšak tepelné pole povrchu Země není homogenní, některé jeho části se ohřívají pomaleji a jiné rychleji. Například na území ČR došlo v průběhu posledních 110 let k postupnému zvýšení střední roční teploty ovzduší z hodnoty 6,7 °C v první dekádě 20. století na hodnotu 9,2 °C v druhé dekádě 21. století, což je zvýšení o 2,5 °C.

Příčinou této rozdílnosti mezi jednotlivými lokalitami je nesymetrie tepelné kapacity Země. Oblast Severního pólu (Arktida) je tepelně velmi labilní, neboť není tvořena pevninou, ale jen plovoucí ledovou krou. Má jen slabé zalednění, proto se ohřívá mnohem rychleji než tepelně více stabilní oblast Jižního pólu (Antarktida), která je tvořena hluboce promrzající pevninou s velmi silným zaledněním.

Malá tepelná setrvačnost oblasti Severního pólu má významný vliv na vývoj počasí v Evropě. To se ukázalo na konci léta roku 2024. Pohyb oblak odpařených nad Středozezemním mořem směrem k severu zastavila nízká rychlost tryskových výškových proudů, a tak své dešťové srážky uvolnily nad Evropu, která tím byla zasažena vydatnými dešti.

- Vysokoteplotním ohřevem vzduchu ve spalovacích motorech, zejména vznětových (naftových i vodíkových), vznikající emise oxidů dusíku (NO_x) způsobují nejen poškozování lidského zdraví svými karcinogenními účinky, ale i nitrifikaci půdy. Na té se společně podílejí emise oxidů dusíku a dusíkatá hnojiva spolu s poklesem organického hnojení a ochuzováním půdy organické zbytky, typicky při produkci biopaliv. Sloučeniny dusíku snižují schopnost půdy vsakovat dešťové srážky (retenci). Ta již klesla z původních 500 litrů/ m^2 na méně než polovinu. V důsledku toho vzniká nejen hloubková půdní suchost (nedostatek vody ve studních, usychání stromů), ale i rychlé povrchové povodně. Ty z důvodu snížené retenční schopnosti půdy nastávají nikoliv až po několika dnech intenzivních dešťových srážek, ale velmi rychle již v prvních dnech intenzivních dešťových srážek.

Kombinace vydatných dešťových srážek a snížené retenční schopnosti půdy mění četnost výskytu povodní a tím i pravděpodobnost vzniku škod. Mnoha generacemi zaznamenávaná evidence povodní (desetiletá voda, stoletá voda, pětisetletá voda, ...) vytvořila všeobecně uznávaná pravidla, na kterých jsou založeny jak pojišťovací matematika, tak i normativní požadavky na dimenzování a povolování staveb. Nyní však změna klimatu zásadně mění tato vžitá pravidla. Léty prověřené hodnoty ztrácejí svůj význam, četnost výskytu extrémních klimatických jevů vydatně roste. Aktualizace pojišťovací matematiky i stavebních pravidel jsou objektivní nutností.

Změna klimatu mění podmínky pro život lidí na Zemi. Nelze ji ignorovat, je nutno na ni reagovat. K této uvědomělé činnosti jsou cíleny dva druhy opatření – adaptační a mitigační, a to ve všech oblastech lidské činnosti:

- adaptací se rozumí opatření cílená k přizpůsobení života lidí změněným klimatickým podmínkám,
- mitigací se rozumí opatření cílená k snížení antropogenních vlivů, způsobujících změnu klimatu.

Dopravy se týkají jak adaptační opatření (typicky: nutnost klimatizace interiérů vozidel pro přepravu osob, potřeba zvýšení odolnosti elektrické vozby vůči námraze a ledovce na trakčním vedení konverzí napájecího systému 3 kV na 25 kV), tak i mitigační opatření. Zásadním mitigačním opatřením je dekarbonizace dopravy, tedy odpoutání dopravy od závislosti na spalování uhlovodíkových paliv, zejména fosilních (ropné produkty – motorová nafta a automobilový benzín a zemní plyn – CNG a LNG).

Změna klimatu není jedinou motivací k dekarbonizaci dopravy. Minimálně se stejnou naléhavostí působí další dva závažné motivy:

- odstranění závislosti dopravy na importu fosilních paliv, zejména ropných, který je mimo jiné i velice silným zdrojem financování agresivních armád,
- odstranění závislosti dopravy na produkci zdraví škodlivých látek (oxidy dusíku NO_x , jemné prachové částice PM, polyaromatické uhlovodíky PAH a organické těkavé látky VOC). Počet předčasných úmrtí způsobených znečištěným ovzduším v ČR vytrvale roste, již přesáhl 9 000 osob ročně. Přitom ve městech, tedy tam kde v ČR žije 70 % obyvatelstva, již prakticky nejsou ani lokální

topeniště, ani znečišťující průmysl, tedy velkou většinu znečištění ovzduší způsobuje doprava.

2. Intramodální a extramodální úspory energie

Doprava spotřebuje v ČR více energie než průmysl, a to především energie z fosilních paliv. Importovaná fosilní paliva pokrývají v ČR 93 % spotřeby energie pro dopravu. Doprava je v ČR nejvíce závislým hospodářským odvětvím na spalování a importu fosilních paliv.

Vlivem vysoké energetické náročnosti automobilové dopravy (vysoký valivý odpor pneumatik na vozovce a vysoký aerodynamický odpor krátkých samostatně jedoucích vozidel, nízká účinnost spalovacích motorů) a jejího dominantního podílu na přepravních výkonech osob i věcí, je doprava v ČR velmi energeticky náročná, má velice nízkou energetickou účinnost. Z toho plyne její extrémně vysoká energetická náročnost, která vytrvale roste a již přesahuje 80 TWh/rok. Není reálné nahradit tak mohutnou (a zbytečnou) spotřebu energie uhlovodíkových paliv v dopravě v ČR obnovitelnými zdroji energie. V rámci procesu dekarbonizace dopravy je proto objektivní nutností energetickou náročnost dopravy radikálně snížit.

Nezbytnou součástí procesu dekarbonizace (přestat do roku 2050 používat fosilní paliva), ke kterému se Česká republika spolu s ostatními téměř 200 státy světa zavázala podpisem Pařížského protokolu v roce 2015, je zvyšování energetické účinnosti, tedy pokles energetické náročnosti. K tomu definuje Dopravní politika ČR dva základní nástroje:

- **Intramodální úspory energie**, což jsou úspory energie docílené zvýšením energetické účinnosti v rámci téhož dopravního módu. Typicky jde o náhradu pohonu spalovacím motorem, který vyžívá jen cca 1/3 energie paliva a není schopen rekuperačního brzdění, elektrickým pohonem, který pracuje s vyšší účinností a je schopen rekuperačního brzdění.
- **Extramodální úspory energie**, což jsou úspory energie docílené motivací uživatelů dopravy ke změně dopravního chování, k převedení přeprav na energeticky účinnější druh dopravy. Typicky jde o přesun přeprav ze silniční na železniční dopravu, která se vyznačuje vyšší energetickou účinností. A to jak v důsledku nižšího odporu valení ocelových kol po ocelových kolejnicích a nižšího aerodynamického odporu dlouhých štíhlých vozidel jedoucích v zákrytu (tvořících vlak), tak i v důsledku používání k pohonu vozidel vysoce účinného liniového elektrického vysokonapěťového napájení 25 kV. Motivací ke změně dopravního chování je vysoká kvalita přepravní nabídky (rychlost, pohodlí) a dostatečnost kapacity tratí i vozidel k převzetí zvýšené přepravní poptávky.

Pochopitelně má ekonomický smysl vytvářet extramodální úspory energie především v relacích siných a pravidelných přepravních proudů. Tedy tam, kde je ekonomicky efektivní investovat do rozvoje kvalitní železniční dopravní cesty, při vnímání její dopravní, energetické i informační dimenze. Jde o harmonický rozvoj subsystémů INF, ENE a CCS evropského interoperabilního železničního systému a pochopitelně i vozidel (subsystém RST).

V rámci racionální multimodality je potřené, aby byl každý druh aplikován v oblastech, kde pracuje efektivně, kde jeho výhody převažují nad nevýhodami. Nejen environmentální udržitelnost, ale i ekonomická udržitelnost a sociální udržitelnost jsou základními podmínkami udržitelného rozvoje. Kooperativnost (schopnost spolupracovat) a komplementárnost (schopnost se doplňovat) jsou nosnými trendy multimodální udržitelné mobility.

3. Liniová elektrizace

Skutečnost, že ocelové kolejnice vlak nejen nesou a vedou, ale zároveň je též vodivě spojují s potenciálem země a jsou schopny vést elektrický proud, využívají železnice jako výborný předpoklad pro vysoce výkonnou a vysoce účinnou liniovou elektrizaci. A to technologicky snadným, v provozu osvědčeným a investičně a provozně levným a spolehlivým jednostopým trolejovým trakčním vedením.

Díky tomu, že jsou železniční vozidla ocelovými koly na ocelových kolejnicích uzemněna, může železnice využívat lehké vysokonapěťové trakční vedení 25 kV s nízkými průřezy vodičů. To je základní rozdíl proti silniční dopravě, kde vozidla uzemněna nejsou, a je proto nutné z bezpečnostních důvodů používat složité a těžké dvoustopé vedení a napětí 0,75 kV (viz trolejbusy), což omezuje jeho výkonnost a snižuje jeho účinnost.

Přenosová schopnost vedení (poměr přenášeného výkonu ku ztracenému výkonu) závisí na druhé mocnině napětí. Tedy přenosová schopnost trakčního vedení je na železnici s napětím 25 kV více než tisíckrát vyšší, než v silniční dopravě při napětí 0,75 kV. Ve srovnání se silniční dopravou, která potřebuje dvoustopé vrchním trakční vedení, vystačí kolejová doprava s jednodušším a levnějším jednostopým vrchním trakčním vedením. To jsou velice významné systémové přednosti kolejové dopravy.

Historický vývoj elektrizaci železnic v ČR zkomplikoval nikoliv technicky, ale politicky motivované rozhodnutí zvést v Československu po vzoru Francie zastaralý nevýkonný systém 1,5 kV, což předurčilo prvou fázi elektrizace Československých železnic, zahájenou v pražském železničním uzlu ve dvacátých letech minulého století, k neúspěchu. Systém využívající tak nízké napětí objektivně trpí nízkou přenosovou schopností trakčního vedení, tedy nízkou účinností, vysokými ztrátami energie a vysokými investičními náklady. Nebylo ekonomicky reálné jej rozvinout do podoby systematické elektrizace železniční sítě. Pražský železniční uzel zůstal nenaplněným torzem elektrizačních záměrů ČSD.

Ani po druhé světové válce přijaté rozhodnutí o přechodu na systém 3 kV, navázané na myšlenkový vývoj v Československu v průběhu třicátých let, nebylo šťastné. Válka technický pokrok nezastavila, technický vývoj ve čtyřicátých letech intenzivně směřoval k elektrizaci železnic jednofázovým systémem 50 Hz.

Již v padesátých letech bylo i v Československu zřejmé, že systém 25 kV 50 Hz se z racionálních technických a ekonomických důvodů stává světovým standardem elektrice železnic. Avšak Československý znárodněný průmysl, žijící v epoše studené války v izolaci od okolního evropského dění, měl v té době dost starostí, jak zvládnout spolehlivý provoz železnic elektrizovaných systémem 3 kV, zahájený na trati Praha –

Česká Třebová v den 40. výročí Velké říjnové socialistické revoluce 7. 11. 1957. Elektrizace a vláda Sovětů rovná se komunismus, zněla známá Leninova rovnice.

V dnes nesnadno pochopitelných podmínkách striktního oddělení Československa od technických informací a technických produktů z hospodářsky vyspělých evropských zemí zajišťovaly dva největší československé průmyslové podniky, plzeňské Závody Vladimíra Iljiče Lenina a pražské ČKD Stalingrad, mobilní i stacionární technické prostředky k elektrizaci železnic systémem 3 kV. Tedy především elektrické lokomotivy, elektrické vytápění osobních železničních vozů a technologické vybavení trakčních napájecích stanic (transformátory, rtuťové usměrňovače i rychlovypínače).

Prioritní strategickou úlohou tehdejší doby byla elektrizace hlavního železničního tahu, spojujícího hnědouhelné doly v Podkrušnohoří a pražský průmysl s uhelnými doly, hutěmi a průmyslovými závody na Ostravsku a s východoslovenskými překladišti (Trať družby), po kterém směřovaly hospodářské produkty všeho druhu z celého Československa do Sovětského svazu.

Po zvládnutí elektrizace železnic systémem 3 kV dostal československý průmysl nové zadání, osvojit si a zajistit pro železnici i mobilní i stacionární technologie pro systém 25 kV. Také toto zadání, opět řešené v podmínkách izolace od dění v zahraničí, pražský a plzeňský průmysl v postupu let společně zvládnul. Vznikly mobilní i stacionární technologie pro elektrizaci československých železnic systémem 25 kV, a to včetně prvopočátku výroby a užití křemíkových diodových usměrňovačů.

V roce 1966, po devíti letech od zahájení provozu na tratích elektrizovaných systémem 3 kV, byla v Československu k dispozici též technika jednofázových trakčních napájecích stanic i jednofázových eklektických lokomotiv 25 kV, na kterou elektrizace československých železnic čekala.

Rád na tomto místě připomenu několik mých bývalých straších kolegů z Vysočan, kteří se svojí prací a dovedností zasloužili o vytvoření technického základu elektrizace československých železnic systémy 3 kV i 25 kV:

- tvůrce rtuťových excitronových usměrňovačů a dráhových měření Jaroslav Ibl,
- tvůrce elektrického topení v železničních vozech František Vodňanský,
- tvůrce trakčních transformátorů pro napájecí stanice i pro lokomotivy Maxmilián Skála,
- tvůrce zpočátku rtuťových ignitronových, později diodových křemíkových usměrňovačů pro elektrické lokomotivy a trakční jednotky Jaroslav Straka,
- výpočtář polovodičových měničů Albert Kloss (před emigrací).

Vývoj v oblasti elektrotechniky, zejména v oboru polovodičových měničů a řídicích systémů, postupoval velmi rychle. Počáteční největší dilema jednofázových elektrických vozidel, jak efektivně a spolehlivě uspořádat trakční pohon, vyřešily v závěru minulého století vektorově řízené asynchronní trakční motory velmi úspěšně, a to pro celou šířku oboru drážních aplikací.

Liniová elektrizace českých železnic (od roku 1957 systémem 3 kV, následně od roku 1965 též systémem 25 kV) probíhala zpočátku vysokým tempem. Postupně však

slábla a kolem roku 2010 prakticky ustala. To je paradoxní, neboť právě po roce 2010 došlo v důsledku modernizace hlavních železničních tratí a příchodu nových rychlých a pohodlných vozidel k zastavení předchozího dlouhodobého poklesu přepravních výkonů osobní železniční dopravy a železnice přešla do tendru systematického růstu přepravních výkonů (mezi roky 2010 a 2019 vzrostly přepravní výkony osobní dopravy na české železnici o 66 %).

Realitou je liniová elektrizace v ČR na pouhých 34 % železniční sítě. To je zhruba polovina jak vůči průměru zemí EU, tak vůči sousedním státům (PL, SK, AT, DE). Tato poměrná hodnota je pochopitelně ovlivněna i mírou redukce lokálních tratí.

Jednou z příčin ustrnutí elektrizace českých železnic bylo nepříliš šťastné koncepční rozhodnutí z konce 60. let minulého století o rozdělení elektrizace železnic v tehdejší ČSSR na dvě zóny:

- tratě na jih od hlavního tahu Most/Praha – Kolín – Olomouc – Ostrava /Vsetín – Žilina – Košice – Čierna nad Tisou elektrizovat střídavým systémem 25 kV 50 Hz,
- tratě na sever od hlavního tahu včetně Most/Praha – Kolín – Olomouc – Ostrava /Vsetín – Žilina – Košice – Čierna nad Tisou elektrizovat stejnosměrným systémem 3 kV.

První výrok, o elektrizaci železnic na jihu ČR, byl v zásadě naplněn. Železnice elektrizovaná systémem 25 kV propojila krajská města na jihu ČR s centrem a dospěla až ke státní hranici. Na převážně agrárním jihu tak disponuje ČR modernizovanou elektrizovanou železnici s dvoukolejnými tratěmi, s rychlostí do 160 km/h a ETCS. Je na nich čilá regionální osobní doprava, dálková osobní doprava i nákladní doprava, a to jak ve vnitrostátní dimenzi, tak i v mezistátní dimenzi.

Druhý výrok, o elektrizaci železnic severu ČR, zůstal i po téměř 60. letech až do současnosti nenaplněn. Tratě na severu ČR, v zamýšlené zóně rozvoje systému 3 kV, dodnes liniově elektrizovány nejsou. Železnice zde prakticky zůstala ve své podobě z druhé poloviny let předminulého století, kdy bylo jejím hlavním cílem ze všech směrů zásobovat bohaté a průmyslově rozvinuté Liberecko uhlím. Výsledkem je, že průmyslový sever ČR má jen zastaralou nevýkonnou železnici, bez liniové elektrizace, bez dvoukolejných tratí a s traťovými rychlostmi jen kolem 80 až 100 km/h. V zásadě zde železnice slouží jen regionální osobní dopravě, dálková osobní doprava a nákladní doprava na severu Čech téměř nejsou. Liberec je jediným krajským městem bez rychlíkového spojení s Prahou. To je právem vnímáno jako teritoriální diskriminace.

Příčin tohoto neutěšeného stavu železnic na severu ČR je více, ale jednou z podstatných je chybějící liniová elektrizace. Systém 3 kV se ukázal pro elektrizaci zdejší husté sítě jednokolejných železničních tratí jako nevhodný. Vyžadoval by vybudování mnoha desítek trakčních napájecích stanic (měníren) podél železničních tratí a zjištění přívodu elektrické energie k nim. Z ekonomických důvodů proto v průběhu více než padesáti let k elektrizaci železnic severu ČR systémem 3 kV nedošlo. Zahájení systematické elektrizace železnic na severu ČR (mezi Děčínem a Opavou) je trvale aktuální úlohou.

4. Koncepční dokumenty

Avšak i na hlavních elektrizovaných tratích dosáhl systém 3 kV svých limitů, a to technických. V době svého vzniku, krátce po skončení druhé světové války, byl navržen pro napájení lokomotiv o výkonu 2 MW. Postupem let však došlo k významnému zvýšení rychlosti jízdy vlaků. U rychlíků z někdejších 100 až 120 km/h na současných 160 km/h, s předpokladem zvýšení na 200 km/h po odstranění úrovnových křížení s pozemními komunikacemi. V zájmu náležitého využití kapacity dráhy musí i nákladní vlaky jezdit dostatečně rychle, aby dokázaly udržet trasu v souběhu s rychlíky. Standardem vozby rychlíků i nákladních vlaků se staly lokomotivy o výkonu 6 MW.

Pro napájení tak výkonných vozidel již systém 3 kV nestačí, přenosová schopnost trakčního vedení o tak nízkém napětí je malá. Úbytky napětí na trakčním vedení a tím i ztráty energie jsou velké, napětí na sběrači proudu vozidel hluboce klesá, dochází k významnému omezování trakčního výkonu vozidel.

V zásadě byla možná dvě technická řešení, jak posílit výkonnost eklektického napájení hlavních tratí:

- zvýšit výkonnost systému 3 kV zdvojnásobením počtu trakčních napájecích stanic (měníren), tedy doplněním nových trakčních napájecích stanic o další, situovanou uprostřed mezi nimi,
- přechod české železnice na jednotný systém 25 kV, který se díky vyššímu napětí vyznačuje mnohanásobně vyšší (v poměru druhých mocnin napětí) přenosovou schopností trakčního vedení, tedy nižšími ztrátami energie a vyšší stabilitou napětí na sběrači proudu vozidel, tedy i vyšší stabilitou trakčního výkonu vozidel.

Na základě odborné studie bylo v prosinci 2016 Centrální komisí Ministerstva dopravy ČR rozhodnuto o přechodu české železnice na jednotný systém 25 kV (o **konverzi ze 3 kV na 25 kV**), který vyniká vyšší výkonností, vyšší účinností a nižšími investičními náklady.

Důležitou okolností je skutečnost, že stav techniky významně pokročil vpřed a k dispozici již jsou trakční napájecí stanice s technologií polovodičových měničů vstupního třífázového napětí na výstupní jednofázové napětí (3 AC/1 AC). Ty splňují jak požadavky energetiky na kvalitu odběru elektrické energie z distribuční sítě:

- symetrické zatížení všech tří fází,
- odběr pouze činného výkonu,
- téměř sinusový tvar proudu bez vyšších harmonických složek,

tak i požadavky vlakové dopravy. Jde především o vysoce výkonné a energeticky hospodárné spojitě dvoustranné napájení trakčního vedení v systému jednotné fáze (bez neutrálních polí v trakčním vedení), zajišťující nepřetržité napájení vozidel velmi stabilním napětím. To je podstatným přínosem pro:

- nepřerušované působení tažné síly (plynulost provozu, zvyšování rychlosti),

- nepřerušované působení brzdící síly elektrodynamické rekuperační brzdy (bezpečnost, úspory energie),
- nepřerušovaný chod pomocných zařízení a zdrojů pro napájení palubních sítí,
- nepřerušovaný chod ventilace, topení a klimatizace interiérů vozidel,
- stabilitu napětí v trakčním vedení,
- možnost rozmrazování námrazy a ledovky,
- snížení opotřebení kontaktních přístrojů a dalších technických zařízení,
- nerozptylování strojvedoucího neustálým periodickým zapínáním a vypínáním proudu,
- odstranění poruch způsobených přehlídnutím či nerespektováním návěsti vypni proud.

Přechod na jednotný systém napájení železnic 25 kV je důležitý i z důvodu vnitřní konektivity konvenčního železničního systému a nově budovaného vysokorychlostního systému, který využívá liniovou elektrizaci 25 kV (pro vysoké rychlosti je systém 3 kV nevhodný, vyžadoval by z důvodu vysokého proudu mohutný těžký sběrač proudu, který by vlivem vysokých dynamických sil špatně spolupracoval s trakčním vedením).

Bylo by velice nevhodné, aby v místech přechodu z konvenčního železničního systému na vysokorychlostní železniční systém, tedy tam, kde se vlaky intenzivně rozjíždějí a intenzivně brzdí, docházelo ke změně napájecího systému, provázené nežádoucím přerušením tažné síly či brzdící síly rekuperační elektrodynamické brzdy.

Návazně na rozhodnutí o konverzi systému 3 kV na 25 kV přijalo Ministerstvo dopavy ČR po dalších analýzách v listopadu 2023 **Koncepci rozvoje elektrické trakce v ČR**, která stanovuje cíl, aby se postupnou elektrizací dalších 2 480 km tratí zvýšila i v ČR elektrizace železniční sítě na cca 60 %, tedy na současný evropský standard.

Oba tyto trendy spolu velmi úzce souvisejí, neboť vysoká přenosová schopnost systému 25 kV umožňuje napájet z již existujících či nově budovaných trakčních napájecích stanic nejen jednu elektrizovanou železniční trať, ale i další železniční tratě (železniční síť) v jejím okolí. To velmi radikálně snižuje potřebu budovat další trakční napájecí stanice a řešit jejich připojení ke všeobecné elektrizační distribuční soustavě ČR.

Liniová elektrizace 25 kV je evropsky standardizovaným interoperabilním systémem. Je vhodná pro regionální osobní dopravu, dálkovou osobní dopravu i pro nákladní dopravu. Pochopitelně vyžaduje určitou investici, a proto je rozumné aplikovat liniovou elektrizaci prioritně na dopravně silně zatížené tratě (v součtu regionální osobní dopravy, dálkové osobní dopravy a nákladní dopravy), neboť tam přináší nejvyšší energetické i provozní efekty.

Dokument Koncepce rozvoje elektrické trakce v ČR byl schválen a je v realizační fázi. SŽ aktuálně postupně zadává jednotlivé tratě projekčním firmám ke zpracování projektové dokumentace pro přípravu stavby.

V oblasti liniové elektrizace železnic je mezi všemi relevantními partnery (MD, SŽ, objednatelé dálkové i regionální osobní dopravy, osobní i nákladní dopravci) principiální shoda. Diskutovaným tématem je termín realizace jednotlivých projektů. A to především z důvodu zcela nezbytné technické, teritoriální a časové kompatibility elektrizace tratí a vozidel, respektive i s vozidly spojené objednávky veřejné dopravy. Vzájemná koordinace investic do tratí a do vozidel je nutností.

Časová posloupnost rozvoje elektrizace železnic je limitována zejména disponibilními finančními prostředky, neboť technické řešení liniové elektrizace je principiálně známo, v EU standardizováno (viz TSI ENE), projekční kapacity ani stavební kapacity nejsou rozhodujícím limitem. Termínový plán elektrizace železnic je omezován nejistotou objemu prostředků, se kterými bude hospodařit v dalším roce SFDI a jak budou rozděleny.

5. Bezemisní doprava na tratích bez liniové elektrizace

Jakkoliv je prioritním trendem rozvoj liniové elektrizace železnic (již jednotným systémem 25 kV), bude ve střednědobém horizontu (postupný přechod od 1/3 liniově elektrizovaných železnic na 2/3 liniově elektrizovaných železnic) i v dlouhodobém horizontu (2/3 liniově elektrizovaných železnic a 1/3 železnic bez liniové elektrizace) v ČR nutno počítat s koexistencí dvou druhů železničních tratí:

- dominantní a rostoucí podíl liniově elektrizovaných železnic (perspektivně výhradně 25 kV),
- menšinový (ale dost velký) podíl železnic bez liniové elektrizace.

Technické řešení vozidel pro dominantní liniově elektrizovanou část železniční sítě je zřejmé. Jsou jím již široce zavedená a všeobecně známá tradiční elektrická vozidla s liniovým napájením:

- elektrické lokomotivy,
- elektrické trakční jednotky.

Při aktuálním stavu techniky představují možné technické řešení vozidel pro klesající neelektrizovanou část železniční sítě tři kategorie vozidel:

- bezemisní **dvouzdrojové elektrické trakční jednotky trolej/akumulátor (BEMU)** vhodné pro zastávkovou regionální osobní železniční dopravu (dojezd cca 80 až 100 km),
- bezemisní **vodíkové palivočlánkové trakční jednotky (HMU)** vhodné pro zastávkovou regionální osobní železniční dopravu,
- nízkoemisní **dvouzdrojové (duální) lokomotivy trolej/diesel** pro dálkovou osobní železniční dopravu.

V rámci přípravy Koncepce rozvoje elektrické trakce byla analyzována vhodnost výše uvedených vozidel pro železniční provoz na tratích bez liniové elektrizace.

Pro bezemisní provoz na železničních tratích bez liniové elektrizace je nutností akumulace elektrické energie. K tomu lze využít dva fyzikální principy:

- **Sekundární elektrochemické články** (aktuálně zejména litnoiontové). Akumulátorové baterie sestavené z těchto článků, vhodné pro dráhový provoz (robustní, typu HP s vysokou výkonovou zatížitelností a s životností v řádu desítek tisíc cyklů, cca 15 let, technologie lithium titanát oxid, LTO) dosahují velmi vysoké účinnosti (cca 90 %) a akceptovatelných hodnot měrné energie (cca 100 kWh/t, tedy cca 4krát více než tradiční olovené trakční akumulátorové baterie). To dává vozidlům BEMU výborné trakční a brzdivé vlastnosti. I v akumulátorovém režimu disponují v režimu jízdy i v režimu rekuperační brzdy parametry na úrovni vozidel elektrických, tedy rychlá dynamická jízda a vysoce účinné a energeticky úsporné rekuperační elektrodynamické brzdění. Zároveň mají možnost rychlého nabíjení vysokým výkonem odebíraným ze standardního trakčního vedení liniově elektrizovaných železnic 25 kV za jízdy (dynamické nabíjení) či za stání (statické nabíjení).

Mohou být provozována na částečně liniově elektrizovaných železničních sítích, a to zpravidla bez potřeby budovat pro ně zvláštní (bodovou) nabíjecí infrastrukturu.

Reálně provozně využitelný dojezd (EOL, tedy při snížených parametrech akumulátorové baterie na konci její životnosti) je u vozidel BEMU v regionální osobní zastávkové dopravě podle charakteru trati a provozu cca 80 až 100 km. S ohledem na možnost opakovaného nabíjení BEMU z trakčního vedení několikrát v průběhu dne je takový provoz pro velkou část regionální osobní dopravy v částečně elektrizované železniční síti postačující. Případná potřeba delšího dojezdu je řešitelná dílčí liniovou elektrizací (například v úseku odbočujícího z hlavní liniově elektrizované tratě).

Velkou podporou rozvoje BEMU na české železnici je probíhající proces konverze napájení elektrických drah ze 3 kV na 25 kV, a to ze dvou objektivních technických důvodů:

- o trakční akumulátorové baterie jsou všeobecně řešeny s izolační hladinou kolem 1 kV, tedy je lze snadno přímo připojit ke stejnosměrnému meziobvodu AC vozidel, nikoliv ke stejnosměrnému meziobvodu DC vozidel 3 kV, což tato vozidla komplikuje (snižuje výkonnost a dojezd),
 - o při statickém nabíjení vozidla z liniového trakčního vedení je limitem příkon, a tedy i virtuální rychlosti nabíjení, proudová zatížitelnost kontaktu lišty sběrače proudu vozidla s trolejovým drátem při stání. Nízké DC trolejové napětí 3 kV limituje podle TSI ENE příkon pro nabíjení na hodnotě $3 \text{ kV} \times 200 \text{ A} = 600 \text{ kW}$. Výhodou AC systému 25 kV je 8,3krát vyšší napětí, tedy možnost intenzivnějšího a rychlejšího nabíjení vyšším výkonem. A to kdekoliv, přímo z trakčního vedení bez nutnosti budovat speciální infrastrukturní zařízení.
- **Primární elektrochemické články** (aktuálně zejména palivové vodíkové). Tuto technologii je možno vnímat jako akumulátor s otevřeným cyklem:

- v elektrolyzátoru dochází k ukládání elektrické energie do chemické vazby vodíku,
- v palivovém článku dochází k přeměně chemické vazby vodíku na elektrickou energii.

6. Vodík a jeho aplikace v dopravě

Výhodou palivočlávkové technologie je vysoká měrná energie vodíku. Samotný vodík má výhřevnost 33 200 kWh/t, stlačený vodík v kompozitových tlakových lahvích 350 bar (které jeho hmotnost zvyšují cca 20násobně) poskytuje cca 900 kWh/t elektrické energie na výstupu palivového článku, stlačený vodík v ocelových tlakových lahvích 350 bar (které hmotnost zásob vodíku zvyšují cca 50násobně) poskytuje cca 400 kWh/t elektrické energie na výstupu palivového článku.

Palivové články vyžadují čistý vodík (s čistotou podle ISO 14 687-2, tedy alespoň 99,97 %). Proto pro ně nelze používat běžný vodík z chemického průmyslu získaný destilací ropných zbytků (čistota 99,0 %, tedy 33 x více nečistot, než je pro palivové články přípustné) či parním reformingem metanu (čistota 98,5 %, tedy 50 x více nečistot, než je pro palivové články přípustné), ale jen velmi čistý elektrolytický vodík (při technologii elektrolýzy PEM je dosahována čistota 99,999 %). Navíc by použití vodíku vyráběného z těchto surovin nevedlo k dekarbonizaci, neboť ropa i zemní plyn jsou fosilními uhlovodíkovými palivy.

Objektivní nevýhodou palivových článků je jejich nízká účinnost. Ta činí i u nejlepších palivových článků jen kolem 60 %, značná část energie se ztrácí v podobě vodní páry (palivový článek produkuje z 1 kg vodíku 9 kg vody, respektive vodní páry, což reprezentuje ztrátu 7,2 kWh). Společně s elektrolyzátor (nejmodernější elektrolyzéry s protonovou membránou dosahují účinnost kolem 65 %) je výsledná účinnost energetické přeměny elektrina/vodík/elektrina soustrojím elektrolyzátor a palivový článek jen 65 % x 60 % = 39 %.

Při uvažování příkonu dalších zařízení a procesů (komprese, doprava, chlazení při expanzi – viz Joule Thomsonův efekt: vodík se chová opačně než většina technických plynů, při expanzi se ohřívá a je nutno jej z bezpečnostních důvodů chladit, vyrovnávací akumulace) klesá výsledná účinnost řetězce energetických přeměn na pouhých cca 30 %. Tedy z přibližně 3,3 kWh elektrické energie na vstupu elektrolyzátoru lze získat jen 1 kWh elektrické energie na výstupu palivového článku.

Ekonomický smysl má proto vyrábět vodík jen z aktuálních přebytků momentálně jiným (efektivnějším) způsobem nevyužitelné elektrické energie z volatelných obnovitelných zdrojů elektřiny, které musí být místní a které musí být celoročně aktivní.

Tyto dvě podmínky mají své logické oprávnění:

- Vodík má vlivem své nízké měrné hmotnosti (jen 0,09 kg/m³) velice nízkou objemovou výhřevnost, jen 3 kWh/m³ (motorová nafta má objemovou

výhřevnost 10 000 kWh/m³, tedy 3 000krát vyšší), proto je nutno jej přepravovat v silně stlačeném stavu, tedy v těžkých vysokotlakých nádobách.

Hmotnost automobilu přepravujícího vodík (brutto) je proto zhruba 100krát vyšší než hmotnost přepravovaného vodíku (netto), zpět jede prázdný, ale téměř stejně těžký. To vede k velmi vysoké energetické náročnosti přepravy vodíku, neboť spotřebu energie určuje dopravní práce (brutto tkm), která je při přepravě vodíku zhruba 200krát vyšší než přepravní práce (netto tkm). V kontrastu s tím, že vodík má 7krát vyšší výhřevnost než hnědé uhlí (33,2 kWh/kg versus 4,7 kWh/kg), je z důvodu velmi vysoké hmotnosti přepravních prostředků přeprava vodíku naftovými automobily po silnici zhruba 120krát energeticky náročnější než přeprava hnědého uhlí po elektrizované železnici. Proto je spíš uvažováno o přepravě vodíku produktovody.

- Nízká objemová výhřevnost vodíku (jen 3 kWh/m³, tedy ani ne jedna třetina ve srovnání s metanem, který má objemovou výhřevnost 9,45 kWh/m³) činí jeho skladování velice drahým. Tuto skutečnost ještě komplikuje fakt, že molekula vodíku H₂ (molekulová hmotnost 2) je velmi malá, podstatně menší než molekula metanu CH₄ (molekulová hmotnost 16). V důsledku toho nelze technická zařízení určená (a těsná) pro metan (respektive zemní plyn) vyžít pro vodík, uniká z nich.

U ocelových zařízení je těsnost zajistitelná přidavnou vnitřní ochrannou vrstvou, která též brání narušování krystalické struktury oceli vodíkem (vodíková křehkost). Ale ocelové zásobníky vodíku jsou velmi drahé. Je ekonomicky únosné je využívat k vyrovnání výroby a spotřeby vodíku jen na období několika málo dnů, nikoliv pro sezonní skladování léto/zima.

K sezonnímu skladování jsou v plynárenství používány bezpečnější, levnější a mohutnější podzemní zásobníky plynu. Avšak ty pro vodík využít nelze. A to nejen z důvodu, že by to bylo ekonomicky neefektivní (vlivem 3,15krát nižší objemové výhřevnosti vodíku, než metanu by pojmul jen necelou jednu třetinu energie), ale především proto, že to nejde. Ani horninové přírodní zásobníky plynu (Dolní Dunajovice, Dambořice, Uhřice, Štramberk, ...), ani kavernové přírodní zásobníky plynu (Háje) nejsou pro ukládání vodíku patřičně těsné, uniká z nich.

Z těchto důvodů jsou nutnými podmínkami ekonomické efektivnosti provozu vodíkových vozidel:

- lokalizace jejich provozu v těsné blízkosti výroby vodíku (minimalizace spotřeby energie, minimalizace nákladů spojených s dopravou vodíku),
- výroba vodíku z volatelných obnovitelných zdrojů elektrické energie, které se vyznačují:
 - o vyrovnanou celoroční produkcí elektrické energie, a tedy i vodíku, umožňující minimalizovat potřebné objemy vyrovnávacího skladování vodíku,

- o vysokou produktivitou, tedy vysokým poměrem středního a maximálního výkonu, aby byly investice do vybudování jak elektrárenské, tak i do vodíkové technologie náležitě využity.

Tyto podmínky splňují vodíkové stanice vybudované jako doplněk velkých větrných elektráren na větrných mořských pobřežích Severního moře či Baltského moře, primárně určených pro účely elektroenergetiky. Dosahují středního ročního využití instalovaného výkonu až 40 % a téměř denně v nich dochází v noci k nadbytečné produkci elektrické energie s nulovou tržní cenou, a tu má smysl proměňovat na vodík.

Je geoeconomickou realitou, že ve vnitrozemí nelze ekonomicky konkurovat výrobě vodíku na větrných mořských pobřežích:

- Větrné elektrárny v ČR pracují s ročním poměrem středního a maximálního výkonu na úrovni 21 %, zatímco větrné elektrárny na mořských pobřežích pracují s dvojnásobným ročním poměrem středního a maximálního výkonu na úrovni kolem 40 %. Navíc je větrných elektráren v ČR velký nedostatek, jimi vyrobená eklektická energie je mnohonásobně energeticky i ekonomicky lépe přímo uplatnitelná v elektrizační soustavě než jejím znehodnocením přeměnou na vodík.
- Solární (fotovoltaické) elektrárny jsou pro výrobu vodíku nevhodné, a to především z důvodu nereálnosti sezonního skladování velkého množství vodíku z léta na zimu.
- Nízký roční poměr středního a maximálního výkonu větrných elektráren v ČR (21 %), i fotovoltaických elektráren v ČR (12 %), ve srovnání s větrnými elektrárnami na mořských pobřežích (40 %) vede k jednoznačné ekonomické výhodnosti instalace technologie výroby vodíku nikoliv ve vnitrozemí, ale na mořských pobřežích, kde je 2 až 3krát efektivněji využita než ve vnitrozemí (to samé zařízení vyrobí 2 až 3krát více vodíku, a to rovnoměrněji v průběhu roku, s menšími nároky na sezónní skladování).

ČR je vnitrozemským státem dosti vzdáleným od větrných mořských pobřeží a rozhodlo se řešit svoji energetickou budoucnost na principu soběstačnosti, nikoliv na racionálním principu spolupráce se sousedními státy. Tedy nemá a nebude mít vodík tak levný, jak levný jej mají a budou mít přímořské státy.

Z hlediska aplikace v dopravních prostředcích mají vodíkové technologie ještě dva další závažné limity:

- V částečně elektrizované železniční síti postačuje dvouzdrojovým elektrickým trakčním jednotkám trolej/akumulátor (BEMU) pro zastávkovou regionální osobní železniční dopravu dojezd cca 80 až 100 km. Po zhruba dvou až třech hodinách cesty přijedou do liniově elektrizované železniční stanice. Zde mohou po zdvižení sběrače proudu okamžitě nabíjet trakční akumulátorovou baterii, a to i při obsazení cestujícími. A to jak staticky (v průběhu stání v liniově elektrizované železniční stanici) tak i dynamicky (v průběhu jízdy po liniově elektrizované železniční trati). Toto nabíjení je možno příležitostně využít několikrát denně. Jízda po liniově elektrizované části železniční sítě je pro

BEMU výhodná nejen tím, že ji lze využít k nabíjení trakční akumulátorové baterie, ale i tím, že při ní není čerpána energie z trakční akumulátorové baterie (naopak je do ní dodávána).

V kontrastu s tím lze do vodíkových vozidel doplňovat energii jen ve speciální k tomuto účelu vybudované plnicí stanici, která zpravidla bývá vybudována z prostorových, logistických i bezpečnostních (safety i security) důvodů mimo veřejně přístupné prostory nádraží. Tedy není reálné doplňovat zásoby vodíku do HMU v době obratu mezi vlaky, ale zpravidla až večer po ukončení provozu vlaků v pravidelném taktu.

Navíc na určité vlakové lince nocuje zhruba jedna polovina vozidel v jedné koncové železniční stanici a druhá polovina vozidel nocuje v druhé koncové železniční stanici. Pokud nemají být pro vlakovou linku budovány dvě plnicí vodíkové stanice, je u vozidla HMU nutné dimenzovat dojezd na dva dny. To je zpravidla v regionální osobní dopravě 800 km až 1000 km, tedy 10krát větší než jak postačuje u vozidla BEMU, které je schopno kdekoliv se operativně nabíjet z trakčního vedení 25 kV i bez budování speciálních provozně i investičně nákladných infrastrukturních energetických zařízení. Při kratším dojezdu než dva dny, by bylo nutno pro HMU budovat velké množství provozně i investičně nákladných plnicích stanic.

- Palivové články vyžadují ustálený pracovní režim, práci stálým výkonem a neumí zpětně přijímat (rekuperovat) elektrickou energii. Naopak elektrický trakční pohon vozidel vyžaduje v čase proměnný výkon a generuje při brzdění elektrickou energii. K docílení okamžité výkonové rovnováhy je proto u vodíkových vozidel (HMU) mezi palivové články a elektrický trakční pohon vkládána vyrovnávací akumulátorová baterie.

Jde o technické řešení podobné hybridnímu elektrickému automobilu, avšak namísto spalovacího motoru s elektrickým generátorem je použit palivový článek. Palivové články jsou dosti drahé (platinová konstrukce), a proto je u vodíkových vozidel velmi výrazně využíván princip navyšování výkonu energií uloženou ve vyrovnávacím akumulátoru. Jejich palivový článek je úsporně dimenzován jen na cca 20 až 30 % plného trakčního výkonu. Tímto způsobem jsou z ekonomických důvodů řešena prakticky všechna dosud průmyslově vyráběná vodíková vozidla.

U městských autobusů či u regionálních osobních zastávkových vlaků pro rovinnaté území s neustálým cyklickým střídáním rozjezdů a brzdění je to postačující, avšak pro dálkovou osobní či nákladní dopravu, při kterých je nutností vytrvalá jízda plnou rychlostí, tedy s vysokým výkonem, či v kopcovitém terénu, nejsou taková vozidla použitelná. Jejich vyrovnávací akumulátor je schopen pokrýt plný výkon jen po dobu několika minut. Po tomto čase klesá disponibilní výkon vozidla na hodnotu odpovídající výkonu samotného palivového článku, tedy jen na 20 až 30 % plného výkonu vozidla. To činí vodíková vozidla v dálkové dopravě neupotřebitelnými.

7. Dvouzdrojové (duální) lokomotivy trolej/diesel

Pro bezemisní osobní regionální dopravu jsou k dispozici dvě řešení:

- dvouzdrojové trakční jednotky trolej/akumulátor (BEMU),
- vodíkové palivočlánkové trakční jednotky (HMU).

Ani jedno z těchto vozidel však není vhodné pro dálkovou osobní či nákladní dopravu:

- vozidla s akumulací eklektické energie do litnoiontových akumulátorů na bázi sekundárních elektrochemických článků mají při současném stavu techniky pro účely dálkové osobní či nákladní dopravy příliš malou akumulovanou energii, a tedy krátký dojezd,
- vodíková palivočlánková vozidla se pro dálkovou osobní či nákladní dopravu nehodí, neboť jsou dimenzována pro cyklický zastávkový režim, nemají dlouhodobou stabilitu plného výkonu, nezbytnou pro použití v dálkové dopravě.

Proto se dálková osobní i nákladní železniční doprava v částečně elektrizované železniční síti orientuje na nízkoemisní dvouzdrojové lokomotivy trolej/diesel. Ty jsou řešeny na bázi tradiční motorové lokomotivy s elektrickým přenosem výkonu, doplněné o vstupní obvody pro napájení trakčních a pomocných zařízení nejen z naftovým motorem poháněného trakčního generátoru, ale i z trakčního vedení 25 kV (sběrač proudu, vn přístroje, transformátor, IGBT čtyřkvadrantový měnič).

Takto řešené dvouzdrojové (duální) lokomotivy nacházejí efektivní uplatnění v dálkové osobní či nákladní dopravě, kde ve srovnání s dvojicí tradičních řešení přinášejí významné benefity:

- oproti dopravě vlaků v celé délce trasy motorovou lokomotivou výrazně snižují spotřebu energie a produkci emisí, neboť minimalizují použití naftového motoru, ten je aktivován jen při práci na tratích bez liniové elektrizace,
- oproti nácestné výměně lokomotiv šetří dobu cesty a významně zvyšují produktivitu využití vozidel i personálu.

Oblastí použití dvouzdrojových vozidel trolej/diesel je lokomotivami zajišťovaná dálková osobní i nákladní železniční doprava po částečně elektrizované železniční síti. Pro aplikaci v regionální osobní dopravě se však dvouzdrojová vozidla (trakční jednotky) trolej/diesel (DEMU) nehodí. Při dopravě osobních vlaků by byly (podobně jako DMU) na tratích bez liniové elektrizace vysoce energeticky náročné, neboť nemají schopnost rekuperačního brzdění. Neumí znovu využívat cyklicky vznikající kinetickou energii vlaku, měnili by ji opakovaně na ztrátové teplo.

8. Koexistence bezemisních a nízkoemisních vozidel pro neelektrizované tratě s rozvojem liniové elektrizace

Základní orientací budoucí železniční dopravy je rozvoj liniové elektrizace. Proto je nutné i řešení bezemisních a nízkoemisních železničních trakčních vozidel pro neelektrizované železniční tratě vnímat nikoliv izolovaně, ale ve stále rozsáhlejší síti elektrizovaných železnic:

- **Dvouzdrojové lokomotivy trolej/diesel** jsou využitelné k vozbě dálkových vlaků osobní i nákladní přepravy v částečně elektrizované síti i v období rostoucího poměru délky elektrizovaných a neelektrizovaných tratí. Spolu s postupným poklesem délky sítě neelektrizovaných železnic bude klesat i počet provozuschopných motorových lokomotiv. Dvouzdrojové lokomotivy trolej/diesel budou proto stále potřebnější i pro operativní nasazení při:
 - o obsluze vleček a nakládkových a vykládkových a vykládkových míst, kde z důvodu manipulací nemůže být trakční vedení,
 - o plánovaných napěťových výlukách (opravy, stavby, konverze) a odklonech,
 - o neplánovaných napěťových výlukách (poruchy pevných trakčních zařízení),
 - o přepravách za stavu nebezpečí, stavu ohrožení státu, nouzového stavu nebo válečného stavu (zákon č. 77/20022 Sb., §17),
 - o vojenských přepravách.

Dvouzdrojové lokomotivy trolej/diesel jsou vhodným doplňkem k čistě elektrickým lokomotivám, a v zásadě i nezbytnou součástí železničního systému i v éře výrazného zvyšování podílu liniově elektrizovaných železničních tratí.

- Podobně jsou i **dvouzdrojové elektrické trakční jednotky trolej/akumulátor** (BEMU) vhodným doplňkem k čistě elektrickým trakčním jednotkám EMU i v éře výrazného zvyšování podílu liniově elektrizovaných železničních tratí. Mezi rozvojem elektrizace železnic a zavedením dvouzdrojových elektrických trakčních jednotek trolej/akumulátor (BEMU) je řada synergických vazeb:
 - o existence BEMU umožňuje soustředit elektrizační kapacity na dopravně silně zatížené tratě, na kterých přináší liniová elektrizace nejvyšší efekt, a bezemisní dopravu na dopravně méně zatížených tratích zajistit přechodně či trvale vozidly BEMU,
 - o v oblastech alespoň částečné elektrizace železničních tratí systémem 25 kV není zpravidla pro BEMU nutné budovat žádná speciální bodová nabíjecí zařízení, vozidlo lze přímo staticky či dynamicky nabíjet přes sběrač proudu z liniového trakčního vedení, a to i velmi vysokými výkony,
 - o využití pevných trakčních zařízení liniové elektrizace k napájení nejen vozidel, provozovaných na předmětné trati, ale i vozidel BEMU

- provozovaných na okolních tratích bez liniové elektrizace, zvyšuje ekonomickou efektivitu liniové elektrizace,
- rozvoj liniové elektrizace dalších železničních tratí zkracuje neelektrizovaná vozební ramena a tím usnadňují provoz BEMU (není potřeba tak mohutná trakční akumulátorová baterie),
 - rozvoj liniové elektrizace dalších železničních tratí vytváří nové příležitosti pro statické či dynamické nabíjení BEMU,
 - BEMU využívají každý nový úsek trakčního vedení k jízdě v režimu trolejového napájení, šetří si tím energii uloženou v trakční akumulátorové baterii pro úseky bez trakčního vedení,
 - v případě významného pokroku v rozvoji liniové elektrizace železnic lze v polovině technického života vozidla BEMU již jeho trakční akumulátorovou baterii neobnovovat a provést upgrade trakční jednotky z BEMU na EMU (princip dvojího schválení typu).
- **Vodíkové palivočlánkové trakční jednotky** (HMU) s nosným trendem liniové elektrizace železnic v ČR nesouznějí:
- vyžadují zcela odlišné infrastrukturní energetické zázemí (vodíkové plnicí stanice),
 - vozidla HMU nedokážou využívat trakční vedení, které se stále více stává standardem,
 - vodíková vozidla a spolu s nimi i vodíkové plnicí stanice jsou schopny zajistit jen regionální osobní dopravu, nikoli dálkovou osobní dopravu a nákladní dopravu; vozidla pro dálkovou osobní dopravu a nákladní dopravu vyžadují jiné než vodíkové infrastrukturní energetické zázemí (standardní interoperabilní liniovou elektrizaci 25 kV),
 - je obtížné soustřeďovat regionální železniční tratě do uzlových bodů vhodných pro vybudování společně využitelných vodíkových plnicích stanic. Železniční uzly již jsou nebo budou propojeny sítě elektrizovaných železnic,
 - jak vodíková vozidla, tak i vodíkové plnicí stanice představují značnou hodnotu s předpokladem využívání po dobu 30 let, tedy v horizontu let 2030 až 2060. Vázat v určité lokalitě na tak dlouhou dobu vodíkové řešení místo stále více standardní liniové elektrizace je velmi neatraktivní.

Zvážení všech těchto objektivních fyzikálních a geografických okolností vedlo k tomu, že budoucnost české železnice je ve schválené Koncepti rozvoje elektrické trakce v ČR jednoznačně orientována na rozvoj liniové elektrizace 25 kV. Doplnkovými trendy na přechodné i cílové období jsou dvouzdrojové trakční jednotky trolej/akumulátor (BEMU) a dvouzdrojové (duální) lokomotivy trolej /diesel.

Závěr

Železnice má v epoše dekarbonizace dopravy v ČR velmi důležitou roli. Jejím posláním je především přispět mohutnými extramodálními úsporami energie k zásadnímu snížení energetické náročnosti dopravy. Prostá náhrada importovaných fosilních paliv pro dopravu obnovitelnými zdroji energie by byla v současné dimenzi 80 TWh/rok ze strany energetiky do roku 2050 nezajistitelná. A ani to není potřebné. Odklon od používání spalovacích motorů v dopravě všeobecně a převedení silných a pravidelných přeprav osob a věcí umožní snížit energetickou náročnost dopravy tak, aby náhrada fosilních zdrojů energie obnovitelnými zdroji energie byla reálně proveditelná. Zásadními kroky k tomu jsou výstavba vysokorychlostního železničního systému i zvýšení výkonnosti a atraktivity konvenčního železničního systému.

Lektorovali:

Ing. Vít Sedmidubský,

Ministerstva dopravy ČR

Doc. Ing. Radovan Doleček, Ph.D.,

Správa železnic, státní organizace

7. Intermodální přepravy

Václav Cempírek, Michal Turek⁴¹

Klíčová slova

Kombinovaná přeprava, infrastruktura, železniční vůz, intermodální přepravní jednotka

Keywords

Combined transport, infrastructure, railway car, intermodal transport unit

Anotace

Vývoj kombinované přepravy podporují nařízení EU, které se zaměřují na přiděl kapacity pro železniční tratě. Výkony jsou závislé i na vhodných železničních vozech, které odpovídají používaným intermodálním přepravním jednotkám.

Abstract

The development of combined transport is supported by EU regulations that focus on the allocation of capacity for railway lines. Performances also depend on suitable railcars that correspond to the intermodal transport units used.

1. Úvod

Ve druhém čtvrtletí roku 2024 byl vykázán nárůst výkonnosti kombinované přepravy o 4,25 %, protože některá narušení z předchozích měsíců se neopakovaly. Odvětví kombinované přepravy na Evropské úrovni bylo opět v letních měsících ovlivněné stavbami na infrastruktuře jako na trase přes Simplon, u Passau, v údolí Rýna, v části Sofia-Nis a v Budapešti. Špatná koordinovanost prací na infrastruktuře ovlivňuje kvantitu a kvalitu služeb kombinované přepravy v několika regionech Evropy. Vliv na výkony mají i obavy z prodlužování války a nevýrazný hospodářský růst. Operátoři kombinované přepravy přesto pokračují v investicích do nových dopravních a terminálových kapacit a také do digitálních řešení, aby dále zvýšili svou konkurenceschopnost. K posílení podnikatelské důvěry, která je velmi důležitá pro rozvoj efektivních služeb kombinované přepravy, je zapotřebí podpora politiků.

2. Podpora Evropské komise Pro kombinovanou přepravu

Reindustrializace Evropy vyžaduje více služeb kombinované přepravy. Evropský parlament má tři výbory, které se zabývají legislativou ovlivňující kombinovanou přepravu, Doprava (TRAN), Průmysl a energetika (ITRE) a Životní prostředí (ENVI). Zpracovatelé politik EU představí pro Evropskou kombinovanou přepravu dokument „Očekávání dopravní politiky Společenství na legislativní období 2024–2029“,

⁴¹ Prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D. – rektor, Vysoká škola logistiky, o.p.s. Přerov
Ing. Michal Turek, Ph.D. – odborný asistent, Vysoká škola logistiky, o.p.s., Přerov

konkrétně pro členskou základnu UIRR (International Union of Combined Road-Rail Transport Companies).

Maďarské předsednictví naznačilo svůj záměr zahájit co nejdříve dialog o nařízení pro řízení kapacity železniční infrastruktury. Změna směrnice o kombinované přepravě byla označena za prioritu předsednictví. UIRR bude pomáhat členským státům a Evropské komisi s implementací revidovaného nařízení TEN-T (2024/1679 – zveřejněno 28. června) prostřednictvím prováděcích pozičních dokumentů. Do budoucna pokyny pro státní podporu a nařízení o blokové výjimce pro dopravu, jakož i pokyny pro zpoplatnění přístupu na železniční infrastrukturu podpoří účastníky kombinované přepravy. To je zvláště důležité, protože několik členských států oznámilo výrazné zvýšení poplatků za přístup na železniční infrastrukturu pro uživatele nákladní dopravy. Společenství pro kombinovanou přepravu UIRR požaduje vytvořit kompenzační systém, který by hradil mimořádné provozní náklady vyplývající z neobvykle nadměrných poruch v jízdách řádech souvisejících s výlukovými pracemi a objízdovými trasami. Konkurenceschopnost sazeb kombinované přepravy může být zachována pouze tehdy, pokud bude taková pomoc poskytnuta. Kombinovaná přeprava "od dveří ke dveřím" poskytuje současně energetickou, pracovní, infrastrukturní a ekologickou účinnost v rozsahu, který její alternativa dálková nákladní silniční doprava nemůže překonat. Na tomto principu by kombinovaná přeprava měla být základním stavebním kamenem evropské konkurenceschopnosti, odolnosti a reindustrializace.



Ilustrační foto: railcargo.com

3. VOZIDLOVÝ PARK

Nárůst vozového parku pro kombinované přepravy členů UIRR o 12,7 %, tj o 1 572 vozů během roku 2023 vytváří značnou dodatečnou kapacitu. Členové UIRR zaznamenali v roce 2023 snížení počtu přepravených intermodálních přepravních jednotek o 10,57 %. Ztráta v tunokilometrech byla nižší o 9,39 %. Lépe si vedla přeprava celých silničních souprav systémem RoLa (Rollende Landstrasse – pojezdne dálnice), která ve srovnání s předchozím rokem vykázala nárůst o 2,7 % v přeshraničních relacích. Průměrná vzdálenost železniční nákladní dopravy se zvýšila na 823 km, což je o 2,85 % více než 800 km v roce 2022.

U kombinované dopravy od dveří ke dveřím klesla její konkurenceschopnost ve srovnání s unimodální alternativou dálkové silniční nákladní dopravy kvůli následujícím faktorům:

1. Cena motorové nafty se normalizovala na začátku roku 2023, zatímco trakční elektřina zůstala relativně dražší.

2. Snížená poptávka po nákladní dopravě způsobila, že se na trhu objevila nadbytečná kapacita za pod nákladové ceny.

3. Členské státy zpozdily transpozici nedávno přijatých právních předpisů EU, jejichž cílem je napravit nerovnováhu regulačních rámců. V důsledku toho musela Evropská komise zahájit desítky řízení o porušení povinnosti.

Poměr osobních vlaků a nákladních vlaků na evropské síti je mezi 6-8 ku 1. Nadměrný nárůst počtu osobních vlaků ohrožuje přístup nákladní dopravy k síti železniční infrastruktury. V Evropě by měl být přijat nový, jednotný přístup k přidělování kapacity. Společenství UIRR podpořilo záruky poskytované v reformovaném institucionálním rámci, transparentní tvorbu pravidel a regulační rámec, který má být zaveden, aby byla zajištěna účinná implementace.

Nabídka nákladních vozů pro kombinovanou přepravu je velká. Např. Tatravagonka a.s. vyrábí 41stopý vůz Sgmmns 41' s kontejnerem pro přepravu obilovin (Grainbox), který nově definuje technologii přepravy obilovin. Silo kontejner na obiloviny o objemu 70 m³ se manipuluje na přepravní vůz jako kontejner. Užitečná hmotnost je necelých 74 tun. I když je proto užitečné zatížení nižší než u vozů speciálně navržených pro přepravu obilí, Grainbox nabízí výhody v sezónním provozu, mimo sezónu přepravy obilovin lze vůz použít pro intermodální přepravu. Intermodální operátoři mají zájem zrychlit přepravy, proto byl vyroben čtyřnápravový 80stopý vůz Sggns(s) 80'XLs, který je navržen pro rychlost 160 kmh⁻¹. Vůz je vybaven elektro pneumatickou brzdou, čímž se vlastní hmotnost mírně zvýšila na 24,2 t.

Se společností FERRIERE CATTANEO SA byl vyroben kapsový vůz určený pro přepravu silničních návěsů vertikálně překládatelných, kontejnerů ISO řady 1 a výměnných nástaveb na tratích s rozchodem 1 435 mm a na Pyrenejském poloostrově s rozchodem 1 668 mm. Šestinápravový TEN GE kapsový vůz s vyměnitelným dvojkolím disponuje největším ložným obrysem typu „e“ pro klové kapsové vozy podle IRS 50 596-5 a umožňuje přepravu kodifikovaných návěsů do 40 t, nekodifikovaných návěsů pomocí speciálního zdvihacího přípravku, např. R2L Loading Pocket Kässböhrer / Vega, kontejnerů a výměnných nástaveb s a bez příční podpory třídy A (40-45'), třídy B (30') a třídy C (20', 22', 23'', 24').

Výměna návěsů je možná na všech terminálech kombinované přepravy, které jsou vybavené zdvihacím zařízením s kleštinami. Vůz je vybavený háky pro zdvih rámu podvozku za účelem výměny dvojkolí pro rozchod 1 435 mm/1 668 mm.

Čtyřnápravové vozy pro přepravu kontejnerů Sggn(s) 80'XLs odpovídají závazným předpisům TSI, platným vyhláškám UIC, úmluvě o vzájemném používání nákladních vozů v mezinárodní přepravě AVV, doporučením ERRI a normám EN. Vůz je vhodný na přepravu ISO kontejnerů 20', 26', 30', 40' a 45 klasifikovaných v IRS 50592.

Výroba vozů 80' (Sggnss) probíhá od roku 2012. Vozy objednala společnost METRANS pro přepravy lehkých kontejnerů. Společnou konstrukcí bylo navrženo několik řešení, které jsou vyráběny. Původní kloubový vůz 80' se 3 podvozky, byl zkrácen, odstraněno kloubové spojení s podvozkem ve středu vozu, tím se snížil valivý odpor vozu a tedy i potřebná tažná síla hnacího vozidla na rozjezd vlaku, čímž se zvyšuje efektivita přepravy snížením spotřeby energie. Vlaková souprava se stejným počtem přepravních kontejnerů na vozech Sggnss dosahuje úspory energie až 20%. Použití kotoučové brzdy snížilo úroveň naměřeného hluku pod hranici 78 db. Tato brzda je výhodná u železničních vozů s ročním proběhem 70 tis. km. Nová verze vozů s označením XL jsou připraveny pro zabudování DAC (Digital Automatic Coupling); zvýšení přepravní kapacity o 4 t.

Tyto vozy nahrazují v provozu vozy řady Sggrss 80', které jsou 8-nápravové a určené pro přepravu kontejnerů. Vůz sestává ze dvou dílů s délkou 40', které jsou nakrátko spráhnuté. Tím došlo jednak ke zkrácení vozu, a zároveň byl ze dvou krátkých 40' vozů postaven jeden dlouhý 80', což umožňuje sestavit delší vlakovou soupravu.

4. ZÁVĚR

Jednou z cest pro naplnění globálních klimatických cílů v dopravě je přesun přepravy zboží ze silniční na železniční a vodní nákladní přepravu mimo jiné i s využitím kombinované přepravy. Kombinovaná přeprava významně přispívá ke snížení energetické náročnosti dopravy a k dosažení uhlíkové neutrality. Měla by být koncipována tak, aby byly plně využity přednosti jednotlivých druhů dopravy. Snížení emisí v dopravě se dosáhne rozvojem efektivního, provázaného a multimodálního dopravního systému. Synergické využití předností více přepravních módů nabízí kombinovaná přeprava.

V současné době jsou vhodně nastaveny podmínky pro rozvoj kombinované přepravy z pohledu přepravních jednotek a dopravních prostředků. Silniční návěsy i železniční plošinové vozy jsou technickými parametry optimálně nastaveny pro efektivní přepravy intermodálních přepravních jednotek, tj. kontejnerů, výměnných nástaveb i silničních návěsů.

Literatura

- [1] ŠIROKÝ, J. Intermodální přeprava. Vývoj a inovace. Vydání první. Univerzita Pardubice, 2023. 285 stran. ISBN 978-80-7560-495-8.
- [2] CEMPÍREK, V. a kol. Logistické systémy pro obsluhu regionů, In Logistika – měsíčník hospodářských novin, ročník XIII, číslo 5, vydavatelství Economia, 2007, str. 54-56, ISSN 1211-0957.
- [3] CEMPÍREK, V., RATHOUSKÝ, B., JIRSÁK, P., 2020. The intermodal transportation systems of semitrailers, Perner's Contacts, Univerzita Pardubice, DFJP, Pardubice, r. 15, č. II, 18 str., ISSN 1801-674X, dostupné z: <<http://pernerscontacts.upce.cz/>>.

- [4] CEMPÍREK, V., SEIDLOVÁ, A., ŠIROKÝ, J., NACHTIGALL, P., KAMPF, R., 2007. Application of logistic systems into regional service via road cargo transport, In Railway Transport and Logistics, Electronical technical journal for railway transport and carriage, logistics and management, No. 2, Year 2007, Volume III., University of Zilina, Fakulty of Operation and Economics of Transport and Communication, Department of Railway Transport, str. 48-53, ISSN 1336-7943, dostupné z: <<http://zdal.utc.sk/>>.
- [5] JAGELČÁK, J., DÁVID, A., ROŽEK, P., 2010. Námorné kontejnery, EDIS Žilinská univerzita v Žiline, Žilina. ISBN 978-80-554-0207-9.
- [6] LIŽBETIN, J., 2009. Moderné intermodálne prepravné a dopravné prostriedky, In Železničná doprava a logistika, Elektronický odborný časopis o železničnej doprave, preprave, logistike a manažmente, Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra železničnej dopravy, č. 3, r. V., str. 72-77, ISSN 1336-7943, dostupné z: <<http://zdal.utc.sk/>>.
- [7] LIŽBETIN, J., 2023. Dopravní logistika, VŠTE v Českých Budějovicích. ISBN 978-80-7468-205-6.
- [8] MAJERČÁK, P., CENIGA, P., 2007. Inovační rozvoj v oblasti nákladových jednotek kombinované dopravy, In Doprava a logistika, Odborný mesačník vydavatelstva Ecopress, r. 2, 9/2007, str. 36-38, ISSN 1337-0138.

Internetové odkazy

- [9] www.uirr.com
[10] www.mdcr.cz

Lektoroval:

Doc. Ing. Rudolf Kampf, Ph.D., MBA

Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích

Doc. Ing. Peter Blaho, Ph.D., MBA

Železnice Slovenskej Republiky

8. O kontrolních činnostech

**Karel Marek,
Přemysl Šrámek,
Endre Tóth⁴²**

Klíčová slova

Kontrolní činnost; řídicí procesy; kontrolní akce; ovládání; auditování; zpětná vazba; obchodní právo, občanské parvo

Keywords

Control activity; management processes; controlling action; controlling; auditing; feedback; business law, civil law

Abstract

Řízení a kontrola jsou důležitým faktorem prosperity podnikatelských společností. Řízení je založeno na porovnání a vyhodnocení skutečných stavů a procesů se stavy požadovanými. Na základě zjištěných rozdílů jsou přijímány úpravy a další opatření. Proces kontroly je nezbytný pro spojení moderních disciplín, zejména controllingu a auditu. Obě tyto disciplíny mají své postupy a nástroje. Příspěvek zkoumá souvislosti mezi kontrolními činnostmi a zkoumá jejich funkce v řízení podniku. Věnuje se též smlouvě o kontrolní činnosti.

Abstract

Management and control are an important factor in the prosperity of companies. The control is based on a comparison and evaluation of actual states and processes with the desired states. Based on the identified differences, corrections and other plans are accepted. The inspection process is now necessary to combine modern disciplines, especially controlling and auditing. Both of these disciplines have their own procedures and tools. The paper examines the connections between control activities and examines their functions in business management. It also deals with the contract on control activities.

PRÁVNÍ PŘEDPISY: zák.č. 513/1991 Sb., obchodní zákoník (v úplném znění), zák.č. 89/2012 Sb., občanský zákoník (v úplném znění)

⁴² prof. JUDr. Karel Marek, CSc., UNOB Brno, Ing. Přemysl Šrámek, Ph.D., CISA, Správa železnic, státní organizace, doc. Ing. Endre Tóth, DrSc., VŠFS Praha

1. Úvodem ke kontrolním procesům

V blízké budoucnosti by bylo velmi žádoucí, aby došlo k dalšímu rozvoji investic, a to zejména též v oblasti dopravní infrastruktury (projektování a budování vysokorychlostních tratí, obnovy vozového parku, obnovy staničních budov, automatizaci dopravy, rozšiřování dálniční sítě), automatizaci výrobních procesů i v oblasti zajištění obranyschopnosti atd. To bude zajišťováno řadou podnikatelských subjektů.

Přítom je klíčovým faktorem úspěšné činnosti a prosperity podnikatelských subjektů bezesporu jejich účinné řízení. Toto řízení je určující silou efektivity, dalšího růstu i fungování všech podnikatelských subjektů. Je specifickou „meta energií“ prosakující celou organizací, všemi jejími lidskými, informačními, sociálně ekonomickými i přírodně technickými jevy a ovlivňuje i vztahy k okolí. Nese sebou i chyby a nedostatky, které mnohdy vedou ke krizím až k úpadku, je však silou která napravuje pochybení. Jediněčnou součástí řídicího působení je pak naplňování kontrolní funkce. Hospodářské procesy nesou v sobě mnoho činností. Ty se z pohledu řízení projevují jako neurčitosti, které lze, a v zájmu prosperity je nutné, nepřetržitě odstraňovat. Neurčitosti se v procesech vyskytují zákonitě, vyskytovaly již v minulosti a budou vyvstávat i v budoucnosti. Jsou eminentní součástí veškerého podnikatelského dění, zejména však lidského jednání a konání, a to na úrovni jednotlivců, skupin i celé dané organizace. Kontrola je pak aktivitou, která významně přispívá k posilování určitostí a to zmírňováním či odstraňováním neurčitostí a nastolováním normalit (organizovanosti).

Neurčitosti v podnikovém dění jsou přítomny ve zjevné ale i méně zjevné podobě. Jsou četné, mají různou věcnou podstatu, liší se co do významnosti, příčin i výskytu v čase. Zjevné neurčitosti mohou být spolehlivě rozpoznány a také uvědomovány. Méně zjevné neurčitosti jsou skryty ve spleťtých vztazích podnikových struktur i procesů i ve vztazích k okolí. Některé z nich jsou i cíleně utajované, záměrně zneužívané a případně mohou nést stigmata trestných činů. Společným jmenovatelem neurčitostí je, že jsou povětšinou anomálií a odchylkou od normativity a povětšinou tvoří nežádoucí jevy, neboť způsobují škody, ztráty, a to ekonomické, sociální i psychické. Mohou mít i rysy hlubokých krizí či úpadku. Ze širšího pohledu platí paradox: „Chyby způsobilo řízení, a odstraňovat je může opět řízení“. Kontrola je tak stěžejním instrumentem jejich možné i nutné nápravy.

Z manažerského aspektu se při odstraňování neurčitosti kontrolou vynořují dva póly problematiky. První, výchozí pól tvoří požadovaný, tj. chtěný, ideální a očekávaný, stav, tedy „jaký má být“. Je vždy předurčený minulými rozhodnutími. Je tak ztělesněn minulým jednáním řídicího subjektu, ale též zákonnými normami, interními předpisy či jinými instrumenty řízení závodu. Na jejich základu se odpovídají podnikatelské otázky: co, kdo, kolik, kdy, kde, jak, jaké, proč apod. V praxi jsou ztělesněny přijatým plánem, úkolem, zadáním, programem, normou, usnesením, příkazem apod. Tento pól v mechanismu kontroly tvoří primát – výchozí bod, jehož parametry se kontrolují. Druhý pól tvoří stavy „jaké jsou“ ve skutečnosti. Odráží vyvstálé hodnoty, skutečnosti a parametry podnikové objektivní reality v čase, prostoru, hodnotě i věčnosti.

Kontrolou je pak relační aktivita, jejíž prostřednictvím se identifikuje, měří, porovnává a hodnotí vztahy mezi tím „co má být“ a „co je“. Příkladem je kontrola relace mezi skutečností a naplánovaným ziskem, resp. zdrojů a struktury zisku, kontrola daňově uznatelných nákladů, posouzení regulérnosti rozhodnutí a manažerských postupů apod. Velmi často se zkoumá také dodržování či porušování

zákonných norem a podnikových předpisů, zapříčinění pochybení, včetně případných trestněprávních deliktů.

Kontrolou se zpravidla zjišťuje i míra shody či neshody mezi polaritami. V popředí jsou neshody, které jsou primárně změřené, zhodnocené a popsány, a závěry jsou postoupeny odpovědným orgánům závodu. Kvalitní kontrolní aktivity pak konstruktivně přispívají k udržení dobrého a cíleného fungování. Nekvalitní kontrola pak posiluje a zatěžuje administrativu, vyvolává marné snažení, deprese a petrifikaci problémů.

Mechanismus kontrolního procesu je ze systémového hlediska rozložen na logickou triádu: požadovaný stav – skutečný stav – zjištění neshody (shody). Participují se na něm kontrolující subjekt a kontrolovaný objekt. Kontrolující subjekt ve svém působení využívá řadu metod kontroly, postupy, uplatňuje styl, má mít náležité zmocnění i odborné způsobilosti i zkušenosti. Lze tak hovořit o technologii kontrolního procesu. V každém z kontrolních procesů se prostřednictvím aktérů prosazují i subjektivní aspekty, především zájmy, motivy, stimuly, pravomoc, formální i neformální autority a jiné momenty jednání a chování lidí.

2. Kontrola v procesech řízení

Kontrola se v teoretických ani praktických konceptech procesu řízení nevyskytuje jako izolovaná aktivita, ale vždy ve spojitosti s ostatními procesními veličinami, ať jsou popisovány jako fáze, etapy, kroky řízení či jinak. Takto byla interpretována již ve slovním Fayolově cyklu⁴³ řídicího procesu, kde kontrola uzavírá pětičlívku hlavních funkcí řízení. Kontrolu vzhledem k jejím funkcím nalzáme i ve všech „post fayolovských“, ale i soudobých interpretacích procesu řízení (Toth, 2014).

Rozpoznávání hlubších sociologických, psychologických i ekonomických souvislostí řízení, ale i nástup informačních a komunikačních a marketingových technologií diversifikuje i samotný proces kontroly. Kontrolní aktivity tak prorůstají s funkčně blízkými obory, především s vnitropodnikovým účetnictvím, s podnikovou ekonomikou, rozpočtováním, krizovým řízením, propojují se i s právními a sociologickými disciplínami. Výsledkem tohoto pohybu je krystalizace dnes již relativně samostatných disciplín, jako je controlling, audit, monitoring, compliance a další. Hranice těchto disciplín jsou spíše volnější než rigidní, a každá z nich preferuje svůj vlastní metodický aparát. Přirozená složitost procesu řízení i kontroly od počátků vědeckého řízení přináší různé výklady, existují pak i výklady tendenční.

Ze systémového nadhledu je nutné si uvědomovat, že samotná kontrola i všechny blízké disciplíny mají společného jmenovatele ve „zpětné vazbě“. Ta byla explicitně formulována „kybernetikou“⁴⁴, a má neopomenutelná stigmata i v dnešních procesech. Zpětnovazební smyčku Wiener trefně přirovnal ke slepecké holi, která nevidoucímu dává zpětnou informaci o jeho stavu a pohybu a ovlivňuje tak jeho následující pohyby.

⁴³ Henri Fayol je s Frederickem Winslowem Taylorem pokládán za otce moderního managementu (Karlöf a Lövingston, 2000).

⁴⁴ Princip zpětné vazby se přisuzuje Norbertu Wienerovi zakladateli kybernetiky, i když byla objevena a využívána dávno před ním v mnoha oborech (např. u parního stroje).

Funkční logika zpětné vazby vychází z „premisy“, že řídicí prvek svým řídicím působením na řízený prvek iniciuje jeho žádoucí stavy a chování. Od řízeného prvku pak řídicí prvek zpětně získává informace o jeho skutečném chování i reálných stavech. Tyto informace pak zpracovává a vyhodnocuje, a podle výsledku rozhoduje a opětovně ovlivňuje jednání řízeného prvku. Zpětná vazba v řízení je tedy založena na informační smyčce a je jádrem každého řídicího působení. Přinesla a přináší nejen nové impulzy do řízení osob včetně dodržování zákonnosti, ale patří mezi nové poznatky moderní doby. Má klíčové postavení ve více směrech, např. v hardwarové i softwarové výbavě počítačů, v automatizaci a průmyslové regulaci, elektroakustice, ekologii, biologii, zdravotnictví a jinde.

V řídicích procesech se zpětnovazební smyčky využívá ve formě kladné a záporné vazby. Záporná vazba signalizuje odklon od žádoucích stavů, což umožňuje řídicímu prvku reagenčními zásahy udržet žádoucí stavy, ale také odstranit odklony od normativů a nastolit žádoucí rovnovážný a funkční stav. Kladná zpětná vazba zase iniciuje pozitivní síly a pohyby dopředu k vyšší prosperitě. Zpětné vazby v polaritě působení kontrolujícího na kontrolovaného jsou převážně regulační povahy a umožňují využít i prvky sebeřízení a sebekontroly. Sebekontrola každého jednotlivce, zejména i manažerů, ale i podniku jako podnikatelského celku je v moderní složité ekonomice ještě nedostatečně využitým zdrojem prosperity. Zpětné vazby se kontrolou na podnikové platformě se objevují níže uvedených případech:

- vlastnickou kontrolou – uplatňuje se ve společnostech působností valné hromady a dozorčí rady, a to v intencích zákona i podnikatelských zájmů;
- kontrolním útvarem podniku – každý podnik si jej zřizuje dle vlastních potřeb, kdy útvar je zpravidla podřízen vrcholovým vedoucím a je relativně nezávislou jednotkou s profesionálními kontrolory;
- specifickými oborovými kontrolními aktivitami – mají mnoho podob a jsou situačně rozptýleny v každém podniku, zpravidla zahrnují vstupní a výstupní kontrolu, cenovou kontrolu, kontrolu bezpečnosti práce a další;
- manažerskou řídicí kontrolou a sebekontrolou – je součástí každé manažerské činnosti a může být vymezena např. pracovní náplní nebo jinou organizační normou, přičemž její skutečný výkon je výrazně ovlivněn osobností, profesionalitou, zkušenostmi i morální výbavou každého manažera;
- externě zajišťovanou kontrolní činností.

3. Právní zakotvení kontrolní činnosti

Situační a věcná různorodost činností a situací přináší i různé možnosti pro realizaci Smlouvy o kontrolní činnosti dle zákona č. 89/2012 Sb., občanského zákoníku (ve znění pozdějších předpisů). Účastníci tohoto smluvního vztahu jsou: podnikatelský subjekt, který kontrolní činnost objednává a kontrolor, který jí vykoná. Kontrolor se touto smlouvou zavazuje zjistit nestranně stav určité věci nebo ověřit výsledek určité činnosti a vydat o tom kontrolní osvědčení. Objednatel určí předmět, způsob a čas kontroly a zavazuje se zaplatit kontrolorovi odměnu. K ujednání, jímž se kontrolorovi ukládá povinnost, jež by mohla ovlivnit nestrannost kontroly nebo správnost kontrolního osvědčení, se nepřihlíží.

3.1 Úvodní souvislosti

Podle českého občanského zákoníku č. 89/2012 Sb., ve znění pozdějších předpisů, nemohou všechny osoby shodně postupovat. Při výkladu právních jednání (právní jednání nahrazuje dosud vžitý pojem právní úkon) se nově liší jednání v právním styku podnikatelů od jednání ostatních osob. V právním styku podnikatelů se totiž (kromě výkladu podle ustanovení § 555 až 558 odst. 1 občanského zákoníku, který vychází z dřívější obchodněprávní úpravy) přihlíží podle ustanovení § 558 odst. 2 občanského zákoníku k obchodním zvyklostem zachovávaným obecně, anebo v daném odvětví, ledaže to vyloučí ujednání stran nebo zákon.

Není-li jiné ujednání, platí, že obchodní zvyklost má přednost před ustanovením zákona, jenž nemá donucovací účinky (tedy před dispozitivními ustanoveními, která lze smluvním ujednáním změnit), jinak se může podnikatel zvyklosti dovolat, prokáže-li, že druhá strana musela určitou zvyklost znát a s postupem podle ní byla srozuměna.

Co se týká formy právních jednání, každý má právo zvolit si pro právní jednání libovolnou formu (písemnou, ústní či konkludentní), není-li ve volbě formy omezen ujednáním nebo zákonem.

Navazující ustanovení § 564 občanského zákoníku pak určuje, že vyžaduje-li zákon pro právní jednání určitou formu, lze obsah právního jednání změnit projevem vůle v téže nebo přísnější formě; vyžaduje-li tuto formu jen ujednání stran, lze obsah právního jednání změnit i v jiné formě, pokud to ujednání stran nevyklučuje (tato úprava za středníkem je obsahově blízká dřívější úpravě v § 272 obchodního zákoníku).

Úpravě smluv se pak v občanský zákoník věnuje ustanovení § 1724 až 1784. V ustanovení § 1725 se obecně určuje, že je smlouva uzavřena, jakmile si strany sjednají její obsah. V mezích právního řádu je stranám ponecháno na vůli svobodně si smlouvu ujednat a její obsah určit. To se může jevit shodně s právní úpravou předchozí.

Jsou zde však i speciální ustanovení. Smlouvy, které se uzavírají s použitím úprav smluvních typů, by měly obsahovat tzv. podstatné náležitosti. Je však určeno v § 1726, že považují-li strany smlouvu za uzavřenou, ač si ve skutečnosti neujednaly náležitost, již měly ve smlouvě ujednat, hledí se na projev jejich vůle jako na uzavřenou smlouvu, lze-li zvláště s přihlédnutím k jejich následnému chování, rozumně předpokládat, že by smlouvu uzavřely i bez ujednání této náležitosti. Otázkou pak zůstává, zda to může být náležitost jakákoli, a to i ta, která by byla pro daný smluvní typ určující. Text zákona náležitosti nijak neomezuje, na otázku lze tedy zřejmě odpovědět kladně. Daná smlouva by se pak měla řídit právní úpravou příslušného smluvního typu.

Ustanovení § 1726 pak dále uvádí, že dala-li některá ze stran již při uzavírání smlouvy najevo, že dosažení shody o určité náležitosti je předpokladem k uzavření smlouvy, má se za to, že smlouva uzavřena nebyla, pokud nedošlo k dohodě o této náležitosti; tehdy ujednání o ostatních náležitostech strany nezavazuje, ani byl-li o nich vyhotoven zápis. Zde může jít o jakoukoli, byť obecně nepodstatnou náležitost, která se takto stává podstatnou.

3.2 Úprava smlouvy o kontrolní činnosti

Smlouva o kontrolní činnosti byla dříve upravena v Zákoníku mezinárodního obchodu a posléze v obchodním zákoníku. Dnes je tato právní úprava v Česku obsažena v §

2652-2661 občanského zákoníku. Lze předpokládat, že kontrolorem (dříve definovaným jako vykonavatelem kontroly) bude začasť podnikatel s příslušným předmětem činnosti.

3.2.1 Základní ustanovení

Podle základního ustanovení se podle smlouvy o kontrolní činnosti kontrolor zavazuje zjistit nestranně stav určité věci nebo ověřit výsledek určité činnosti a vydat o tom kontrolní osvědčení a objednatel se zavazuje zaplatit mu odměnu. Podstatné náležitosti smlouvy tvoří:

- závazek kontrolora k nestrannému zjištění stavu určité věci nebo ověření výsledku určité činnosti,
- závazek kontrolora k vydání kontrolního osvědčení o tomto zjištění nebo ověření,
- závazek objednatele k zaplacení odměny kontrolorovi.

Nejde o subtyp smlouvy o příkazu ani smlouvy o dílo. Nejde o obstarání záležitosti ani o vytvoření díla. Jde o zvláštní smlouvu, která slouží ke zjištění objektivního stavu.

Nejedná se přitom jen o případné ověření množství nebo jakosti zboží, může být sjednána jakákoliv kontrolní činnost (např. porovnávání výsledků s parametry plánovanými, kontrola vedení účetnictví nebo manažerského účetnictví, evidence majetku, hospodaření řízených organizací či jednotek, postupů při zadávání zakázek, provádění údržby, dodržování právních nebo interních předpisů při činnosti kontrolované osoby nebo organizační jednotky, správnosti nakládání se svěřenými hodnotami; může jít však také např. o provádění revizí elektroinstalací, zkoušek před převzetím stavebních objektů a technologických zařízení, pevnostní zkoušky konstrukcí, zkoušky výtahů a zvedacích zařízení, těsnostní zkoušky potrubí apod.). Předmětem této smlouvy může být kontrola různých činností při zajišťování controllingu a auditu. Přesné vymezení předmětu kontroly je věcí konkrétního ujednání ve smlouvě.

3.2.2 Nestranný způsob kontroly

K případnému ujednání, jímž se kontrolorovi ukládá povinnost, jež by mohla ovlivnit nestrannost kontroly nebo správnost kontrolního osvědčení, se nepřihlíží. Kontrolor provede kontrolu s odbornou péčí podle stanoveného způsobu kontroly, doby, místa a rozsahu kontroly, se zřetelem i ke stavu, v jakém se předmět kontroly nacházel v době jejího provádění. Zjištěný stav popíše v kontrolním osvědčení.

Kontrolní osvědčení může být různého dohodnutého druhu nebo druhu stanoveného zvláštními předpisy; může se např. jednat o osvědčení o jakosti a kompletnosti (potvrzující kvalitativní ukazatele zboží a osvědčující, že zboží obsahuje stanovená příslušenství), o atest (osvědčující zvláštní vlastnosti zboží), mj. i o revizní zprávy elektroinstalací (kterými se ve stanovených obdobích potvrzuje provozuschopnost zařízení odpovídající právním předpisům, závazným technickým předpisům a normám) apod. Kontrolní osvědčení může být mj. jedním z dokumentů při platbách s využitím dokumentárních akreditivů i při sjednání dokumentárních inkas. Může být též dohodnuto v kupní smlouvě, že toto osvědčení bude přílohou dodacího listu apod. Dále se v praxi může sjednávat mj. též kontrola vedení účetnictví či manažerského účetnictví a kontrola nejrůznějších činností při realizaci controllingu a auditu.

Též může jít o vystavení osvědčení při zjišťování stavu zásilky či kvality provedeného díla. (Výčet příkladů jen naznačuje široké možnosti realizace smlouvy.)

Neplatnost ujednání smluvního vztahu není vázána až na přímé ovlivnění nestrannosti, ale stačí pouhá možnost takového ovlivnění. Charakteristickým rysem této smlouvy je totiž právě nestrannost.

3.2.3 Kvalita, rozsah, způsob, doba a místo kontroly

Kontrolor provede kontrolu v rozsahu a způsobem obvyklým při obdobných kontrolách. Má se za to, že kontrola má být provedena bez zbytečného odkladu v místě, kde se předmět kontroly nachází. Objednatel oznámí kontrolorovi včas, kde se má kontrola uskutečnit. Objednatel poskytne kontrolorovi součinnost nutnou k provedení kontroly, zejména mu umožní potřebný přístup k předmětu kontroly. Mezi ostatní části smlouvy bude tedy zpravidla patřit způsob kontroly (zajišťující nestrannost), doba, místo a rozsah, jakož i popsání stavu předmětu kontroly. Kontrolor musí kontrolní činnost nestranně provést; nestranné provedení však znamená, že výsledky kontroly také nesmí v kontrolním osvědčení nijak zkreslit, zatajit nebo jinak změnit. Podrobnosti týkající se způsobu a rozsahu kontroly by měly být sjednány ve smlouvě. Toto řešení lze jen doporučit. Avšak pokud by tomu tak nebylo, bude se provádět výše popsaným postupem - v rozsahu a způsobem obvyklým při obdobných kontrolách.

3.2.4 Úplata a náklady

Právo kontrolora na odměnu vzniká provedením kontroly a vydáním kontrolního osvědčení. Společně s právem na odměnu vzniká kontrolorovi i právo na náhradu nákladů, které při provedení kontroly účelně vynaložil, ledaže z povahy těchto nákladů vyplývá, že jsou v odměně již zahrnuty. Kontrolor má tedy nárok na úplatu po splnění povinnosti provést kontrolu a vydání kontrolního osvědčení. Není-li úplata smluvně, je objednatel povinen zaplatit úplatu obvyklou v době uzavření smlouvy se zřetelem k předmětu, rozsahu, způsobu a místu kontroly.

3.2.5 Vztah ke třetím osobám, vady kontroly, náhrada škody

Provedení kontroly se nedotýká právních poměrů mezi objednatelem a jinými osobami, zejména osobami, jimž je určen nebo od nichž pochází předmět kontroly. Provedení kontroly je vztahem mezi dvěma subjekty smlouvy a nedotýká se jiných právních vztahů. Kontrolní osvědčení vystavené kontrolorem vůči objednateli kontroly, jehož stejnopis může být předán např. prodávajícímu zboží, nemůže nahradit oznámení vad kupujícím, nemůže obecně nahradit ani prohlídky zboží kupujícím. Jestliže kontrolor neprovedl kontrolu řádně, nevznikají mu nároky na odměnu, resp. na nutné a účelně vynaložené náklady, a objednatel může po uplynutí doby stanovené pro provedení kontroly od smlouvy odstoupit. Objednatel pak může postupovat podle ustanovení upravujících odpovědnost za škodu, případně uplatnit smluvní pokutu, byla-li sjednána.

Kontrolor je povinen nahradit škodu způsobenou porušením povinnosti provést řádně kontrolu, jen pokud tato škoda nemůže být nahrazena uplatněním nároku objednatele vůči osobě odpovědné za vadné plnění, jež je předmětem kontroly. Prvotní je vždy náhrada škody odpovědné osoby; odpovědnost kontrolora je až druhotná. Kontrolor nahradí škodu způsobenou porušením povinnosti provést

kontrolu řádně v tom rozsahu, v jakém objednatel nemůže účinně dosáhnout náhrady uplatněním práva z vadného plnění vůči tomu, kdo plnil kontrolovaný předmět.

Kontrolor povinnost k náhradě škody nemá, opomenul-li objednatel vymáhat své právo vůči třetí osobě včas, nebo nemůže-li je vymáhat vzhledem k tomu, co s třetí osobou ujednal - viz ustanovení § 2660 odst. 1 občanského zákoníku. Omezení podle § 2660 odst. 1 neplatí, ujistil-li kontrolor objednatele, že bez ohledu na rozsah a způsob kontroly zjistí všechny vady, nebo ujistil-li objednatele, že kontrolní osvědčení je úplné a správné. Půjde-li o případy, kdy je vykonavatel-kontrolor povinen nahradit škodu způsobenou porušením povinnosti provést řádně kontrolu, přecházejí na něho zaplacením této náhrady nároky, které má objednatel vůči osobě odpovědné za vadné plnění předmětu kontroly tak, jako by mu byly tyto nároky postoupeny. Jedná se o případ zákonné cese (postoupení).

I při realizaci tohoto smluvního typu je třeba věnovat pozornost konkrétnímu smluvnímu ujednání.

Rovněž vzhledem ke stručnosti právní úpravy lze jen doporučit, tak jako i u jiných smluvních typů, vydání příslušných obchodních podmínek a usnadňovat kontraktaci smluvním odkazem na tyto podmínky (v obchodních podmínkách je možno také mj. stanovit i otázky placení, případně fakturování, splatnosti faktur, úroků atp.).

Význam smluvního jednání je zřejmý právě ze široké smluvní volnosti, kterou zákoník umožňuje, a ze skutečnosti, že dílčí okruhy problémů zákoník neřeší a ponechává je smluvním partnerům. Při kontraktaci je přitom možno vycházet z praktických poznatků. Příznivý průběh obchodních případů (bez nepříznivých důsledků), realizace, event. aplikace právních ustanovení je po našem soudu limitován zejména úrovní právních předpisů, úrovní smlouvy i kvalitním dokladováním průběhu plnění smlouvy a rychlostí a kvalitou rozhodování sporů.

Z těchto předpokladů k úspěšné realizaci a aplikaci práva přispívá tedy i kvalifikované uzavírání smluv (jasných, srozumitelných, určitých) a dokladování průběhu plnění smlouvy, které je v možnostech subjektů práva. Rozhodující význam přitom má výběr smluvního partnera a vhodná volba zajišťovacích prostředků.

Při uzavírání smluv bychom se měli snažit vyvarovat „klasických nedostatků“. Začasté zjišťujeme, že dohody učiněné mezi smluvními stranami nejsou v souladu se zákonem nebo nejsou voleny příliš vhodně. Přestože se může jednat o známé otázky, řada nedostatků se stále opakuje. Připomínáme, že značné procento smluv trpí nedostatkem již při určení subjektů. Další neméně důležitou otázkou je používání nevysvětlených pojmů a zkratk. Smluvním stranám lze jen doporučit, aby pojmy použité ve smlouvě (které nejsou pojmy právních předpisů a ani jejich obsah není dán obchodními zvyklostmi) v úvodu smlouvy definovaly; totéž platí o zkratkách.

4. Controlling, kontrola a řízení

4.1 Funkce a užitečnost controllingu

Složitější ekonomika i její komplikovanější řízení již dlouhou dobu vyžadovaly účinnější metody hodnocení, kontroly i regulaci hospodářských procesů. Významnou snahou v tomto směru byl rozmach manažerského účetnictví, které se od tradičního účetnictví orientovalo již i na plánování výnosů a nákladů, účinnější vyhodnocování podnikatelské prosperity ve vnitropodnikových souvislostech a s důrazem na reálný čas procesů. Z této orientace se ve XX. století pozvolna formoval i controlling, který časem přerostl v samostatnou disciplínu, a dnes se dále kultivuje.

Horváth (2004) – vůdčí průkopník controllingu v Evropě – již na počátku devadesátých let prosazoval, že „Controlling je koncepce řízení zaměřená na výsledek, která překračuje hranice funkcí a koordinuje plánování, kontrolu a informační toky“. Havlíček (2011) obdobně uvádí, že „Podstatou controllingu je proces porovnání skutečně dosažených výsledků s plánem, vyhledávání a následné řešení odchylek. Musí stanovit priority, abychom mohli vyřešit problém, který zatěžuje podnik a brání mu, aby dosáhl strategických nebo operativních cílů. Je orientován na budoucnost, o minulost se controlling zajímá zejména v případech, že mu poskytuje podněty pro budoucí řízení“.

Na počátku se controllingu přisuzovala detailnější registračně – evidenční funkce, čímž plnil pasivnější, ponejvíce zpravodajskou, signalizační úlohu. V pozdějších etapách se již zaměřil na hodnocení, kontrolu, verifikaci a signalizaci míry hospodárnosti a nehospodárnosti s těsnější vazbou na manažerské řízení. Rozvoj pak i vlivem komputelizace vyústil k přesnější monitorování a navigaci důležitých podnikových dějů v reálném čase, čímž se silně posílilo zpětné sepětí controllingových aktivit s operativním i taktickým řízením.

Funkční a věcný záběr controllingu je dnes široký. Z hlediska časového dosahu se nejčastěji hovoří o operativním, taktickém a strategickém controllingu. Z věcného hlediska se rozlišuje controlling finanční, nákladový, pracovního kapitálu, zásob, pohledávek, průběžné likvidity, nákupních činností, projektový, logistický, znalostní, inovační, investiční, organizační, personální a další. Z hlediska vztahu k okolí lze rozlišit controlling orientující se na vnitřní situaci podniku, vnější vztahy (věřitelé, konkurence ap.) Z dalšího hlediska lze rozlišit statutární a výkonný controlling. Ne zcela přesná definice controllingu jeho praktický přínos nesnižuje. Někdy si podniky svůj systém controllingu pokládají za know-how a náležitě jej utajují.

4.2 Nástroje a metody controllingu

Nástroje controllingu dnes tvoří poměrně pestrou skupinu, a odráží interpretační různorodost (Koptik, 2019). Nástroje se nejčastěji člení na operativní, které jsou využívány pro operativní plánování a kontrolu, a strategické nástroje, které jsou nasměrovány především na vývoj, produkty, postupy, řízení či technologie. Mezi často uváděné metody se řadí např. „Analýza kritických bodů“, jehož pomocí se stanovuje kritický bod, kdy je nutné volit nové postupy, aby se generoval zisk. Jinými metodami jsou „optimalizace objemu zakázky a objednávky“, „analýza konkurence“, „portfoliová analýza“, „analýza ABC“ a další metody. Jindy se interpretuje controlling jako nástroj řízení nebo systém pravidel (Karlöf a Lövingston, 2000). Další významná autorka Gallová (2014) rozlišuje nástroje takto:

- strategické nástroje – analýza konkurence, portfoliová analýza, analýza životního cyklu výrobku, analýza silných a slabých stránek, řízení jakosti, strategická mezera, technika scénáře, potenciálová analýza;
- operativní nástroje – analýza ABC, analýza návratnosti investic, analýza kritických bodů, hodnotová analýza, analýza pracovního času, výpočet krátkodobého hospodářského výsledku, výpočet příspěvku na úhradu, analýza XYZ.

Někdy se za nástroje controllingu pokládají: analýza rabatu, optimalizace objemu zakázky, analýza konkurence, portfoliová analýza, odvětvová analýza a další.

Ať je náplň firemního controllingu definována jakkoliv, rozhodujícím společným jmenovatelem většiny definic, i praktických aplikací je, že controlling je disciplínou

zpětnovazební, orientující se na zjišťování odchylek od požadovaného stavu a je organickou součástí systému řízení podniku.

4.3 Euforie a slabé stránky controllingu

Aplikační popularita controllingu a blízké vazby na příbuzné disciplíny přinášejí i nejistoty a slabiny. Níže poukážeme na typické problémy (Toth, 2014):

- konkurenční vztahy a duplicity v controllingu – existují názory, že controlling a manažerské účetnictví jsou pojmy pro to samé, nebo také že controlling je druhem cílově programového či procesního a je reprezentován metodami: (a) Balanced Score Card; (b) ABC; nebo (c) portfoliová analýza. Někdy se propaguje, že controlling je filosofií řízení;
- transfinitní (překračující hranice, neohraničená, nekonečná) interpretace controllingu; controllingu jsou přisuzovány účinky mimo jeho funkční způsobilosti, např. když se controlling považuje za „prostředek obsluhy krize“, nebo za „jádro řízení rizik“, kdy funkční neohraničenost způsobuje i souběh činností (duplicity), nebo i potlačování jiných aktivit, např. operativního řízení; nedůsledné interpretace mohou způsobit i záměnu „prostředku“ za „cíle“;
- problémy reálného času a metriky v controllingu – hodnoty controllingových informací mimo reálný čas procesů klesá, opožděné signály mohou být irelevantní až dezorientační a posilovat byrokratické prvky v řízení, špatná metrika dostatečně nevypovídajících informace způsobují dezorientaci a škody.⁴⁵

5. Audit versus řízení a kontrola

Auditování, audit, auditing jsou dnes frekventovanými termíny nejen manažerů, ale pronikly i do neekonomických oborů. Jejich interpretace je poměrně široká, pokud není konkrétní druh auditu upraven právním předpisem⁴⁶. Výraz „audit“ se sémanticky nejvíce váže k českému ekvivalentu „přezkoumání“⁴⁷. Běžně znamená přezkoumání určitých činností, stavů a situací, s cílem prověřit jejich validitu (platnost). Přezkoumání se pak děje podle určitých kritériích, a mělo by být objektivní, spolehlivé a užitečné. V manažerském auditu se zpravidla jedná o cílené získávání a vyhodnocování informačních faktografických podkladů pro potřeby řízení. Získané informace mají podobu ukazatelů, účelových šetření, cílených propočtů a analýz apod. Týkají se vždy konkrétních podnikatelských subjektů (podniku, závodu, jejich jiných složek, nebo jejich činností, stavů a událostí). Smyslem auditu je zjistit míru shody (neshody) mezi zjištěnými skutečnostmi a požadovanou realitou. Požadovaná realita je představována plánem, normami, předpisy, očekávaným jednáním či chováním. Výsledkem přezkoumání je pak auditorská zpráva, která vypovídá v o míře „shod“ či „neshod“ předmětu auditu.

V dané souvislosti je důležité konfrontovat dvě aktivity a to „kontrolu“ a „audit“. Jejich vztah bývá často předmětem teoretických sporů i praktických aplikací. Audit

⁴⁵ Pro controlling vícenásobně platí Druckerovo: „Pokud to nemůžete měřit, nemůžete to zvládnout“ (www.citaty.net).

⁴⁶ Interní audit ve státní správě je upraven zákonem o vnitřní kontrole organizace, statutární audit zákonem č. 254/2000 Sb. o auditorech, jiné předpisy platí pro oblast řízení kvality (Normy ISO).

⁴⁷ Je odvozen z latinského audiencia, což již ve středověku znamenalo prošetření, vyšetřování, vyšetření.

zkoumá především systémové souvislosti a validitu uskutečňovaných procesů a stavů, a kontrola se zaměřuje na ověření již konkrétní reálně nastalých (ex post) situací, stavů, postupů a jevů. Z manažerského nadhledu se v praxi audity vyskytují ve více aplikačních směrech.

- **Audit jako zákonná povinnost**

Uplatňuje se z titulu konkrétního právního předpisu. Klasickým představitelem je statutární audit, kdy jsou ověřovány účetní výkazy „Rozvaha“, „Výkaz zisků a ztrát“, „Výkaz peněžních toků“ a „Výroční zpráva“. Těžištěm je ověření, zda vykázané informace podávají věrný a poctivý obraz o situaci účetní jednotky.⁴⁸

- **Situační (účelový) audit**

Může být nařízen vnějším oprávněným subjektem, např. ministrem, soudem, vyšetřujícím orgánem, insolvenčním správcem ap. Prošetřují se zpravidla mimořádné případy⁴⁹ související s dodržováním či porušováním zákonů či jiných právních předpisů. Příkladem je forenzní audit⁵⁰, kontrolní audit, audit výběrového řízení, prověrka jednání statutárního orgánu, apod. Může jej provést registrovaný auditor, pokud je pověřen, také ale soudní znalec, odhadce, či jiná odborně způsobilá osoba.

- **Audit jako iniciativa subjektu podnikání**

Uplatňuje se z rozhodnutí kompetentního orgánu, např. valné hromady, statutárního orgánu, vrcholového manažera apod. Má různorodou podobu, nejčastější případy jsou:

- audit jakosti – uplatňuje se při zkoumání kvality výrobků a často je spojována s tzv. ISO normami, audity nemají právní závaznost, získání certifikátu je prestižní záležitostí, posilují pozici a image firmy v konkurenčním i širším prostředí a může jej iniciovat i obchodní partner před uzavřením smlouvy;
- výrobní audit – orientuje se především na posouzení konformity výrobku s deklarovanými požadavky a parametry, má značný význam i pro snižování rizik a při reklamacích;
- ekologický audit – má poměrně široký věcný záběr a neustále se rozrůstá, auditují se např. „šetrné“ (přátelské) suroviny, materiály, technologie poškozující životní prostředí, taktéž obnovitelné energetické zdroje, vhodnost materiálu a obalů k recyklaci a může se uskutečnit dle nomy ISO 14000;
- systémový audit systému managementu – prověřuje systém managementu organizace, často s využitím standardů (např. ISO 14001, ISO 9001, ISO 15001 apod.) ale i jiných metodických postupů;
- audit personální a sociální – se zaměřuje na hodnocení efektivnosti řízení a využití lidských zdrojů s cílem zvýšit kvalitu a produktivitu živé práce, využívá se v přípravě na reorganizace, fúzi či jiné přeměny společností;
- audit webových stránek – zkoumá zpravidla vypovídací schopnost, reprezentativnost a technologickou vhodnost webových stránek, popř. webových aplikací;

⁴⁸ Ověření účetní závěrky ukládá ustanovení zákona o účetnictví a také zákona o auditorech.

⁴⁹ Často se pro tyto účely jmenuje externí auditor, soudní znalec či jiný znalostní aktér.

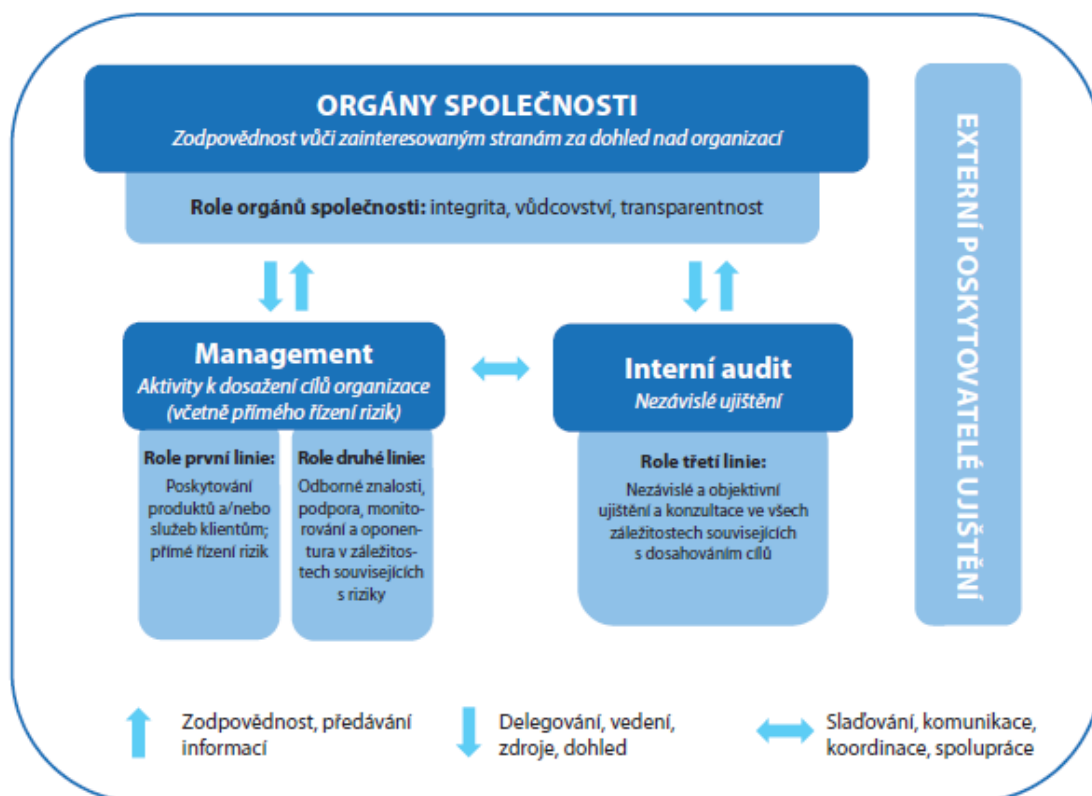
⁵⁰ Zvaná někdy jako forenzní analýza.

- finanční audit – se stává aktuálním při získávání úvěrů, finanční výpomoci a půjček, při dluhové analýze firmy, při zkoumání míry zadluženosti, při hrozbě předlužení, schopnosti plnění závazků;
- organizačně právní audit – prověřuje promítnutí obecných legislativních předpisů do interních směrnic a instrukcí a hodnotí dosažení shody (neshody) těchto norem v dané organizaci;
- audit bezpečnostních událostí – se zaměřuje na cílené sledování a kontrolu počítačů, serverů a domén.

Z hlediska výkonu a ofiiality lze rozlišit: externí audit a interní audit. Externí je prováděn nezávislou pověřenou osobu – auditorem, popř. auditorskou společností, která je k výkonu daného auditu autorizována. Interní audit je prováděn interním auditorem dané osoby, popř. jinou (i externí) pověřenou osobou s náležitou kvalifikací. Ať už uplatněný audit má tu nebo onu formu, jeho výsledná účinnost je určena kvalitou jeho provedení a také manažerským využitím výsledků auditu.

6. Řídící a kontrolní systém manažera železniční infrastruktury

Kontrolní činnosti manažera železniční infrastruktury v českém právním prostředí jsou implementovány v rámci modelu 3 linií obrany (7), který je zobrazen na Obr. 1.



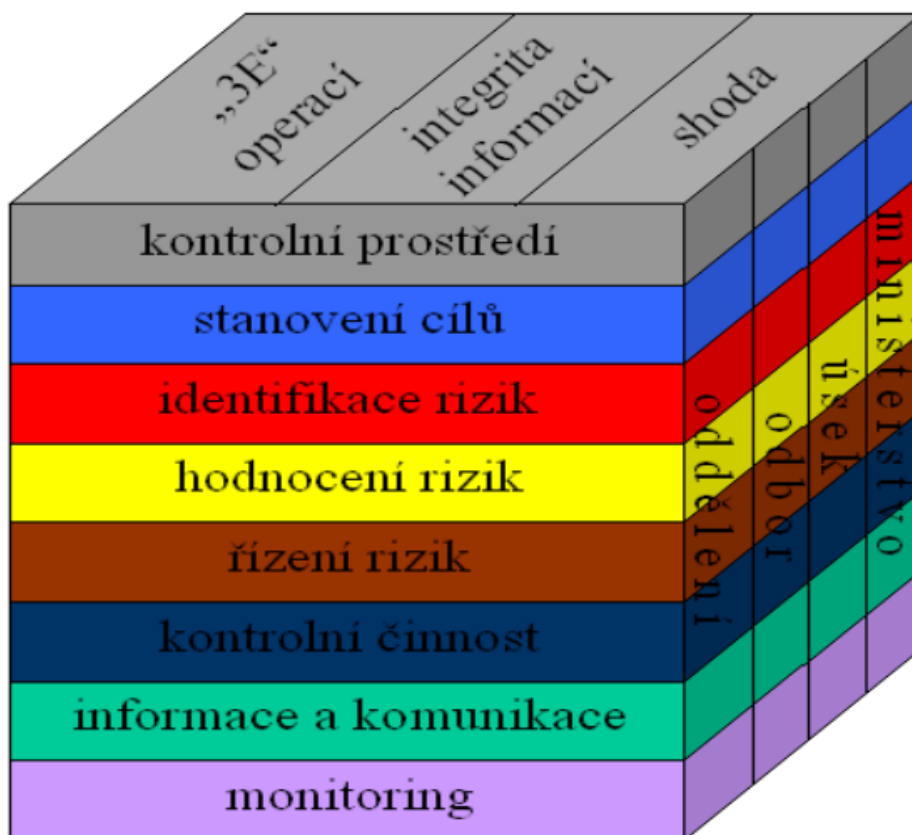
Obr. 1: Tři linie obrany (7)

Jedná se v podstatě o využití dvou složek řídicího a kontrolního systému dle zákona o finanční kontrole, kdy první složkou je řídicí kontrola (předběžná, průběžná,

následná) v odpovědnosti příslušných vedoucích zaměstnanců v první linii s podporou druhé linie, druhou složkou poté interní audit jako organizačně oddělené, funkčně nezávislé přezkoumávání a vyhodnocování přiměřenosti a účinnosti řídicí kontroly (třetí linie obrany). Nezbytným pro celkovou funkčnost vnitřního řídicího a kontrolního systému a dosažení přidané hodnoty je vysoká kooperace jednotlivých linií obrany tak, aby nepracovaly v oddělených vertikálách (tzv. silech). Komplexnost ujištění orgánů společnosti o funkčnosti vnitřního řídicího a kontrolního systému je poté v rukou útvaru interního auditu. Funkčnost tohoto systému je poté verifikována mimo jiné i formou externích kontrol dohledových orgánů.

6.1 Vnitřní řídicí a kontrolní systém

Manažer železniční infrastruktury postupuje v českém, resp. mezinárodním právním prostředí dle metodiky COSO. Model COSO ERM je model, který definuje řídicí kontrolu jako proces, který je vykonáván vedoucími zaměstnanci orgánů státní správy tak, aby zajišťoval dosažení cílů ve třech kategoriích: a) účinnost, efektivnost a účelnost operací, b) spolehlivost vnitřního řízení a kontroly, včetně ochrany majetku, c) soulad s příslušnými zákony a nařízeními. Nastavení systému řízení rizik podle COSO ERM pomocí nástrojů jako jsou etika, efektivní řídicí a kontrolní mechanismy a "Corporate Governance" snižuje možnost výskytu rizik v orgánech státní správy. Systém COSO ERM je postaven na 8 základních prvcích, které je možné graficky vyjádřit pomocí následující krychle (8).



Obr. 2: Osm základních prvků COCO ERM (8)

Ačkoliv existují již modernější implementace COSO ERM (např. šroubovice), jsou dále popsány procesy dle jednotlivých komponent tzv. COSO krychle, která je manažerem železniční infrastruktury prakticky využívána:

- kontrolní prostředí – je nastaveno prostřednictvím organizačních řádů jednotlivých organizačních složek s jasně definovanými povinnostmi a kompetencemi. Tyto povinnosti a kompetence se propisují jednotlivým zaměstnancům do pracovních náplní,
- stanovení cílů – probíhá na bázi každoročního stanovení klíčových ukazatelů vrcholového vedení (tzv. KPI), jejichž plnění je dohlíženo zřizovatelem (Ministerstvo dopravy České republiky),
- identifikace, hodnocení a řízení rizik – manažer železniční infrastruktury využívá v této oblasti SW nástroj, umožňující evidenci, pravidelné hodnocení a řízení rizik v rámci centralizovaného řízení rizik organizace. Probíhá pravidelná revize všech rizik s tím, že mohou být identifikována rizika nová (primárně jejich vlastníky a analytiky). Koordinace řízení rizik je v gesci oddělení rizik,
- kontrolní činnost – je jednak součástí manažerského řízení (manažerská kontrola – 1. linie obrany), jednak je vykonávána kontrolní činnost dle plánu kontrol na příslušný rok. Manažer železniční infrastruktury disponuje vnitřním předpisem, upravujícím tuto oblast, který obsahuje i vzory jednotlivých zpráv z kontroly,
- informace a komunikace – informovanost zaměstnanců o klíčových procesech manažera železniční infrastruktury je zajištěna formou zápisů z porad, kdy vrcholově je distribuován tzv. zápis z gremiální porady (porada vrcholového vedení). Obdobným způsobem je zajištěna informovanost v rámci projektových týmů a skupin,
- monitoring – je řešen prostřednictvím rozpadu sledování klíčových ukazatelů vrcholového vedení organizace (KPI) na jednotlivé dílčí činnosti, procesy a úkoly. Pro tento monitoring je využívána SW podpora, umožňující jeho centralizovanou správu a řízení.

6.2 Externí kontroly

Jelikož je manažer železniční infrastruktury v českém a evropském právním prostředí hospodářem s veřejnými prostředky, příjemcem dotací a současně také správcem kritické informační infrastruktury státu, je kontrolním subjektem celé řady pro tento účel zřízených orgánů. Kontrolní orgány ve věci provádění kontrol postupují především dle zákona č. 255/2012 Sb., o kontrole (kontrolní řád) a dle zákona č. 500/2004 Sb., správní řád. Manažer železniční infrastruktury využívá pro evidenci externích kontrol (zahájení, průběh, ukončení, nápravná opatření) SW nástroj, umožňující centralizovaný náhled na všechny kontroly, kde byl kontrolním subjektem. Tato centrální evidence je periodicky předkládána na vědomí orgánům organizace, stejně jako slouží k prevenci duplicit při provádění a plánování interních kontrol a auditů. Externí kontroly jsou u manažera železniční infrastruktury prováděny např. následujícími kontrolními orgány (výčet rozhodně není kompletní):

- Ministerstvo financí České republiky (na základě zákona č. 320/2001 Sb., o finanční kontrole),
- Finanční úřad,
- Celní úřad,
- Státní fond dopravní infrastruktury (financování),

- Ministerstvo dopravy České republiky (zřizovatel),
- Drážní úřad,
- Drážní inspekce,
- Úřad pro ochranu hospodářské soutěže,
- Nejvyšší kontrolní úřad,
- Národní bezpečnostní úřad,
- Národní úřad pro kybernetickou a informační bezpečnost,
- Úřad práce,
- Státní úřad inspekce práce,
- Evropská komise,
- Evropský účetní dvůr.
-

7. Poznámka závěrem

Kontrolní aktivity mají i v moderní tržní ekonomice nejen nezastupitelnou úlohu, ale jejich tradiční funkce se rozrůstají a čím dále tím více zasahují do procesů řízení. Tento trend však může s sebou přinášet i řadu věcných a metodologických problémů. Zvýšená pozornost věnovaná otázkám celého spektra kontrolních aktivit je výzvou doby, neboť tato kvalitní činnost je cestou ke zvyšování efektivity nejen řízení podnikatelských subjektů, ale i moderní ekonomiky.

Současně je možné také dosáhnout synergického efektu externích kontrol a vnitřního řídicího a kontrolního systému, např. u manažera železniční infrastruktury, a to díky zavedení centralizovaného přehledu externích kontrol, který poskytuje adekvátní ujištění a možnost spolehnout se (na závěry těchto kontrol) při plánování a realizaci interních kontrol a auditů.

LITERATURA

- [1] GALLOVÁ, L.: *Nástroje a metody controllingu*, 2014. [online]. Dostupné z: <[http://se.arch.czu.cz/Gallova Ludmila](http://se.arch.czu.cz/Gallova%20Ludmila)>.
- [2] HAVLÍČEK, K.: *Management & controlling: malé a střední firmy*. Praha: Vysoká škola finanční a správní, 2011.
- [3] HORVÁTH, P.: *Nová koncepce controllingu: cesta k účinnému controllingu*. Praha: Profess Consulting, 2004.
- [4] KARLÖF, B., LÖVINGSTON, F. H.: *Management od A do Z*. Praha: Computer Press. 2000.
- [5] KOPTIK, Z.: *Moderní controlling*, 2019. [online]. Dostupné z: <<http://www.moderni-controlling.cz/13x%20-%20o%20controllingu/>>
- [6] TÓTH, E.: Quo vadis Controlling? In *Controlling in SME's: Beyond Numbers*. Praha: Vysoká škola finanční a správní, 2014, s. 406-422.
- [7] IIA.: *Internal audit*, 2024. [online]. Dostupné z: <<https://internalauditor.theiia.org/en/>>, úprava autor.

- [8] MINISTERSTVO FINANCÍ, CENTRÁLNÍ HARMONIZAČNÍ JEDNOTKA PRO FINANČNÍ KONTROLU.: Metodická pomůcka k nastavení řídicí kontroly podle COSO ERM se zaměřením na řízení rizik v orgánech státní správy, 2007. [online]. Dostupné z: https://www.mfcr.cz/assets/attachments/Methodika_2007-01-31_Methodika-Financni-kontroly-Rizeni-rizik-v-org-statni-spravy-2007-01-31.pdf.

Lektorovali:

Ing. Libor Neupauer

České dráhy, a.s.

Miroslava Polakovičová

Ministerstvo dopravy Slovenskej republiky

9. Automatic train control systems as a challenge for the capacity in the Czech Republic

Erik Tischer⁵¹,
Petr Nachtigall⁵²,
Jaromír Široký⁵³

Klíčová slova

Kapacita, OpenTrack, simulace, systémy ATC

Keywords

Capacity, OpenTrack, simulation, ATC systems

Anotace

Tento článek vychází z disertační práce prvního autora. Disertační práce se zabývá vlivem zavedení automatického řízení vlaků na kapacitu tratí. To je v současné době, kdy se počátkem roku 2025 chystáme zahájit výhradní provoz systému ETCS, velmi důležité téma. Teoretická část analyzuje systémy automatického řízení vlaků se zaměřením na ETCS. V praktické části jsou simulovány různé úrovně systému ETCS. Tyto simulace vycházely z praktických dat z provozu EMU (Moravia) v Jihomoravském kraji. V závěru je úvaha, zda má ETCS pozitivní nebo negativní vliv na kapacitu.

Abstract

This article is based on the dissertation thesis of the first author. This dissertation thesis focuses on the impact of the implementation of automatic train control systems on the capacity of lines. This is very important now, as we start with the exclusive operation of the ETCS early in 2025. The theoretical part analyses automatic train control systems focusing on ETCS. In the practical part, different levels of the ETCS system are simulated. These simulations were based on valuable data from the operation of EMU (Moravia) in the South Moravia Region. The conclusion considers whether the ETCS positively or negatively impacts the capacity.

⁵¹ Ing. Erik Tischer, Ph.D., graduate of the Faculty of Transport Engineering at University of Pardubice, Deputy head of Operational District, PO Brno, Správa železnic, tischer@spravazeleznic.cz

⁵² Doc. Ing. Petr Nachtigall, Ph.D., assoc. prof., department of Transport Technology and Control, Faculty of Transport Engineering, University of Pardubice

⁵³ Doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D., assoc. prof., department of Transport Technology and Control, Faculty of Transport Engineering, University of Pardubice

Introduction

Suppose we want to analyse and evaluate the impact of the implementation of automatic train control systems on the capacity of railway lines. In that case, we need to do deep research on all functions and operational rules that are valid for the Czech railway manager. This is one of the key research tasks in railway infrastructure capacity research. However, the impact of implementing these systems on the line capacity hasn't yet been satisfactorily described and comprehensively evaluated by the research work produced so far. Therefore, the research team and the primary author prepared the dissertation thesis by focusing on an overview of the automated train control systems, the automated train guidance systems, and the analytical and simulation methods used to determine line capacity.

Based on the analysis, the goal was to design a simulation model for train operation under the supervision of automatic train control systems. Using the results of this model, the degree of influence of this system's implementation on the lines' capacity is sought. The application part of the research is a three-level simulation model for train operation in different modes of automatic train control systems. Based on this analysis, specific conclusions are drawn to determine the impact of automatic train control systems on the capacity of railway lines. A case study supported the confirmation of the results, which is coupled.

1. State of the art

Analysis of the current state of scientific knowledge can be divided into three main parts: Analysis of the current state of development of automatic train control systems, Current state in the use of simulation tools and Analysis of the current state of scientific knowledge. Here, a deep literature review has been conducted.

Analysis of the state of the development of automatic train control systems – automatic train control systems significantly impact the train journey. The study shows that there are two dominant systems in the world, ERTMS and CBTC, each primarily targeting a different subsystem of the rail transport system. The ERTMS has been developed mainly for main and high-speed lines. The CBTC systems, on the other hand, are aimed at urban and suburban lines. However, from the point of view of traffic operation, it is advantageous to link these two systems. In principle, it would be an ETCS L2-based CBTC system for operation in fixed blocks and an ETCS L3-based CBTC system for operation in moving blocks. Based on the analysis results, the further focus is on the ERTMS (ETCS L2 and ETCS L3) in the proposal part of the article.

Analysis of the state of the art in using simulation tools – the study shows many usable simulation tools. The essential condition for selecting a simulation tool is the possibility of implementing an ATC system in the model. During the research, the authors selected a simulation tool that allows the simulation of ETCS (or CBTC). Regarding simulation details, the authors decided to use a microsimulation tool. From the results of the analysis carried out, the tools Villon [1], RailSys [2], PULsim [3], INCONTROL [4] and OpenTrack [5,6] seem to be suitable. For this research, OpenTrack software was finally chosen. This tool meets the criteria for implementing the ATC system in the model and the required details of the simulation model. At the

same time, this SW is available in the Department of Transport Technology and Control laboratory.

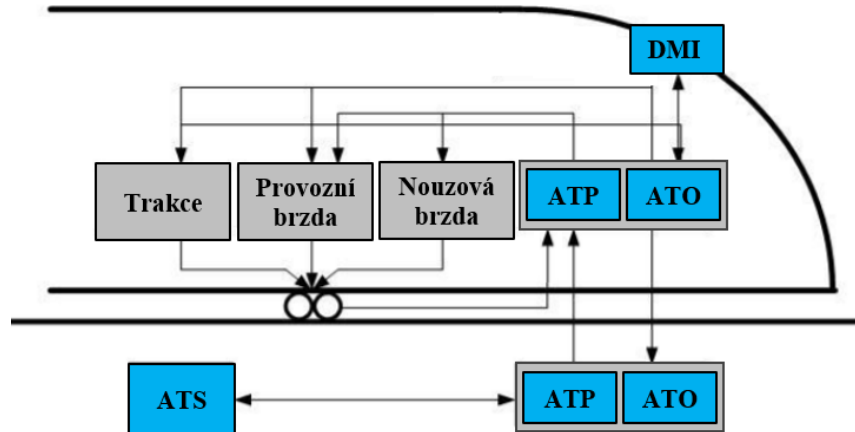


Figure 1 – Basic structure of the ATC system

The summary of the analysis of the state of the art is divided into three parts. The first part refers to analysing regulations and standards that deal with capacity. The essential documents that are relevant are:

- UIC Code 406 [7,8],
- Směrnice SŽDC SM 124 [9],
- Směrnice SŽDC č. 104 [10].

The second part deals with the search for scientific papers and articles related to the topic. A significant contribution of this analysis was the development of an overview of the approaches and methods used to address the research objective. The third part deals with the overall summary of the analysis. It was found that approximately 65% of the studies dealing with capacity use simulation or combined methods [11]. The simulation tools used are OpenTrack (Switzerland), MultiRail (United States), RAILSIM (United States), SIMONE (Netherlands), RailSys (Germany), DEMIURGE (France), RAILCAP (Belgium) and CMS (United Kingdom). In the analysis, the author needed to find sufficiently informative publications dealing with the topic in the conditions of the Czech and Slovak Republics. This confirms the correctness of the chosen aim of the thesis.

2. Research methods

System decomposition – is a task of system analysis in which the decomposition of the system into sub-systems is solved. The decomposition is performed according to predefined aspects. Topological, functional, factual, and hierarchical decomposition can be distinguished by subdivision. The essential prerequisite for successfully constructing a model is the decomposition of the system. The decomposition of the simulation model is based on the knowledge obtained from the analysis of the regulations and standards used to solve the capacity of the lines. The system decomposition method is used in this thesis to identify the critical elements of the systems from which the simulation model will be constructed, and which may

influence the capacity of railway lines. These fundamental elements are the starting point for the selective approximation of the developed model. This approximation is necessary for a practical model fitting, which allows the inclusion of only elements that impact the evaluated indicators [12].

Transport systems modelling – is a research technique that, in principle, replaces the actual system with the system model. Depending on the details of the model, the input characteristics are approximated to the desired level of detail [13,14]. This model is built at the microscopic level. The construction of the simulation model takes place in four phases: inputting infrastructure parameters, inputting path parameters, inputting vehicle parameters, and inputting timetable parameters. A short overview of the different phases of model preparation is given in the following figure.

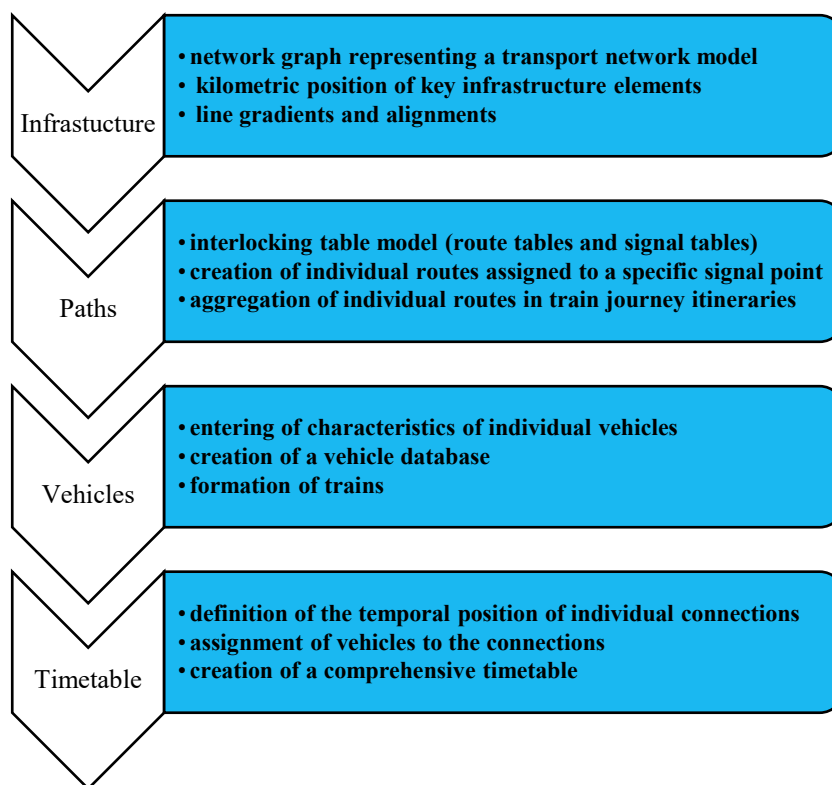


Figure 2 – Schematic representation of the different stages of simulation model preparation

Computer simulation is a research method with a simulation model representing a selected system's performance. The model validation check is done in three steps, which are referred to as model verification, calibration, and validation. Simulation techniques are the best tool for observing the performance of a natural system. The simulation model and simulation are the core parts. All simulation scenarios are detailed, and the proposed parameters are evaluated.

Statistical analysis is a discipline that deals with the acquisition, processing, and analysis of data for decision-making in systems. It investigates the state and evolution of mass phenomena and the development of relationships between them by making mass observations. Its use is appropriate in multiple repetitions of experiments and data evaluation. Statistical analysis can be used to examine the probability of different operational scenarios. The authors used probability theory,

random variables, and regression analysis in this research. The statistical analysis methods are used to support the processing of simulation scenarios and to determine the effect of changing input parameters on the outputs. For the random variable, this mainly involves determining the values of the input delay at the input to the model. However, this method can also cause delays in the model during the simulation. Regression analysis compares the change in each input's values to the simulation model's output values [15].

3. Simulation model design

At the same time, a simulation model for the applied part of this research is formulated. The model is further developed, and the simulation results are continuously evaluated. In the final section, the results are generalised, and specific conclusions in the defined area of research are established. Previous department research [21-24] was tight with the ATC problems. There were included topics like the modelling of automatic metro operation, modelling of railway operation on a closed loop line, modelling of operation on a line with a simplified railway interlocking system, technical possibilities of increasing the capacity of the intermediate section on a monorail line, dependence of the increase in traction energy consumption on the rise in line speed and simulation of ATC systems operation.

Three-level simulation model – it is designed to research the capacity of railway infrastructure from multiple perspectives. Each of the three levels of this simulation model has further sublevels (variants), which are defined based on several types (levels) of ATC track equipment. The model is divided into the following three levels: main line (track) - first level (T), station head – second level (S) and combined operation - third level (K). A schematic of the three-level simulation model is shown in the following figure 3.

The conditions for preparation of the simulation model – the primary conditions are defined by UIC code 406 [7], Směrnice SŽDC SM 124 [9] and Směrnice SŽDC č. 104 [10]. Other standards and regulations that are important to respect for the correct creation of the simulation model are SŽ Z8 Part IV European Train Control [16], SŽ TSI CCS/MP1 Methodological Guideline Principles for the design of the ERTMS track-side part for lines with the exclusive operation of European Train Control [17], selected technical specifications for the design and operation of ETCS, SŽ SM069 - Guidelines for Timetable Development and Allocation and Use of Track Capacity [18], SŽ D1 PART ONE [19] and SŽDC S3 Railway Structure Part IX Switches and Switch Structures [20].

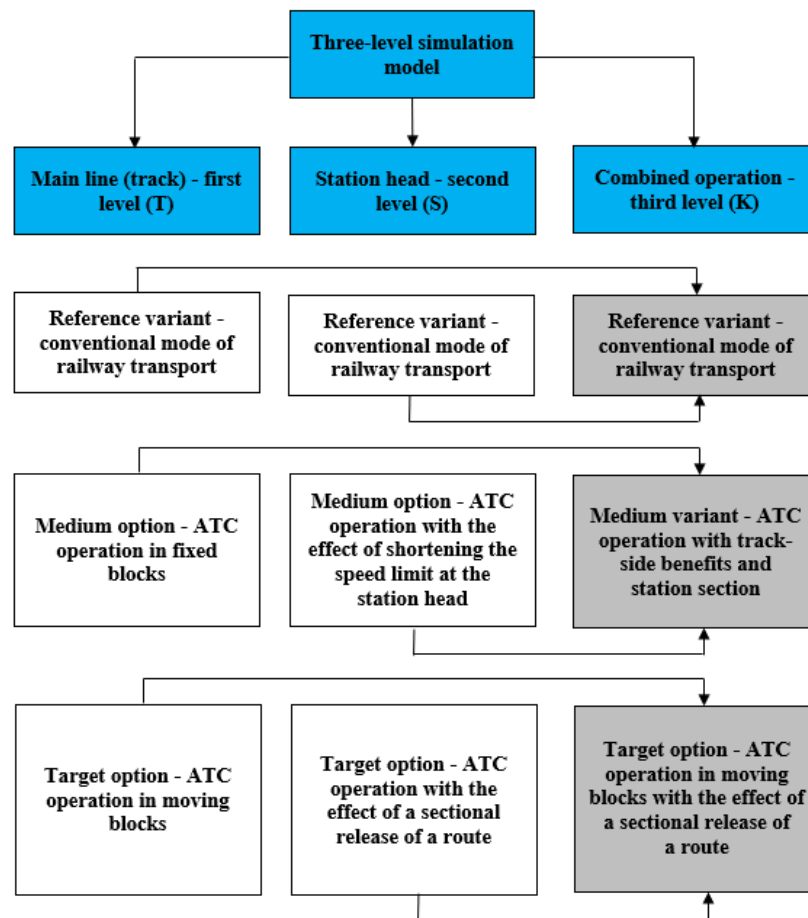


Figure 3 – Three-level simulation model

Modelling speed braking curves is one of the essential tasks in preparing traffic simulations in OpenTrack software. The braking curves for operation without ETCS are based on the "UIC model". From the point of view of ETCS braking curve modelling, the most critical curves for the calculation are the service braking curve - Service brake deceleration (SBD) and the emergency braking curve - Emergency brake deceleration (EBD). From them, the curve - Indication (I) is derived and used in the model as the curve for service braking. EraTool, the official tool for generating braking curves, models the ETCS braking curves. All considered trainsets were modelled as alpha trains. Figure 4 compares the distance required to stop for the braking curves modelled according to the UIC model and for the braking curves modelled by EraTool.

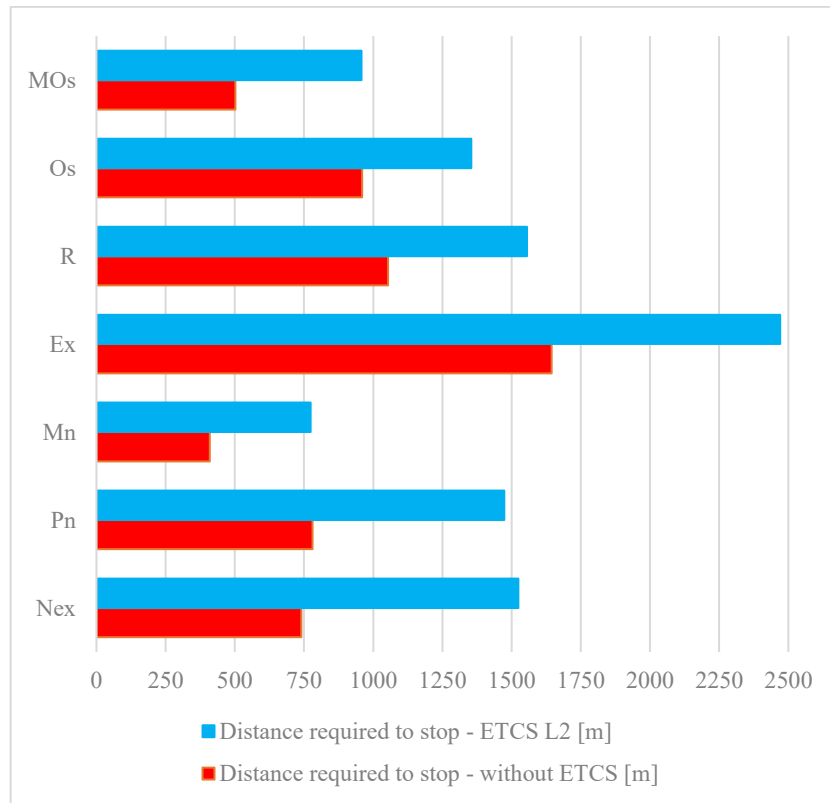


Figure 4 – Braking curve comparison

This section describes the simulation process for each part of the three-level simulation model for each level.

The main line (track) simulation – first level (T) – is performed on a 10 km long test track. To evaluate the results of the simulation of the main line, the method of comparing the size of successive intermediate periods according to the sequence of individual trains is used. The integrated tool of OpenTrack software called Headway Calculator determines the headway. This tool tests, using a multiple simulation, the values of the headway. The half-interval method is then used to determine the resulting value. To confirm the correctness of the calculation of headway, 2,352 replications were performed. Thus, each pair of trains was tested several times on each line model created with the corresponding size of the fixed block.

Station head simulation – second level (S) – the simulation model created for this level is built to observe the effect of the station head configuration and the type of ATC system used during the headway period. The station head length is determined for each of the four simulated variants. The design speed of the turnouts determines the station's head length. The distance of the entrance signals of the fictive station is always 5 km. A total of 4 station head variants were tested, representing speed groups of 40, 60, 80 and 100 km·h⁻¹ at the train speed to the turn. As in the simulation of the main line (track) - first level (T), the integrated tool of the OpenTrack SW – Headway Calculator is used to provide the values of the headways. A total of 7,056 replications were performed in this level of the model. Each train pair was tested on 12 prepared infrastructure models.

The combined operation – third level (K) – is a model of a complete infrastructure network, which methodologically follows the two previous levels of the three-level simulation model. A model of a single-track line with a total length of 34.6 km was built. There are four stations on the line, each with four traffic tracks. The stations are labelled Station A, Station B, Station C, and Station D. The intermediate lines are always 5 km long. The station tracks have a consistent length of 800 m. The size of the station head, the station head, and the speed of the switches to the branch line respect the distribution from the second level of the model (S). In contrast to the previous simulation level, a test timetable had to be constructed for this level. The delay increment method was chosen to evaluate the combined simulation. The delay increment is the difference between the input and output delay.

Simulation evaluation and conclusions – this section evaluates the results of each level of the three-level simulation model.

Evaluation simulation main line (track) - first level (T) – the first output of the model is the determination of the total average headway value for the reference variant, which is 122 s. This corresponds to the average headway value for block sections of 0.5 km using ETCS level L2. The second output is an illustrative assessment of the effect of the type of signalling equipment used and the length of the fixed block (using ETCS L2) or the use of a moving block (using ETCS L3). The results obtained are shown in Figure 5.

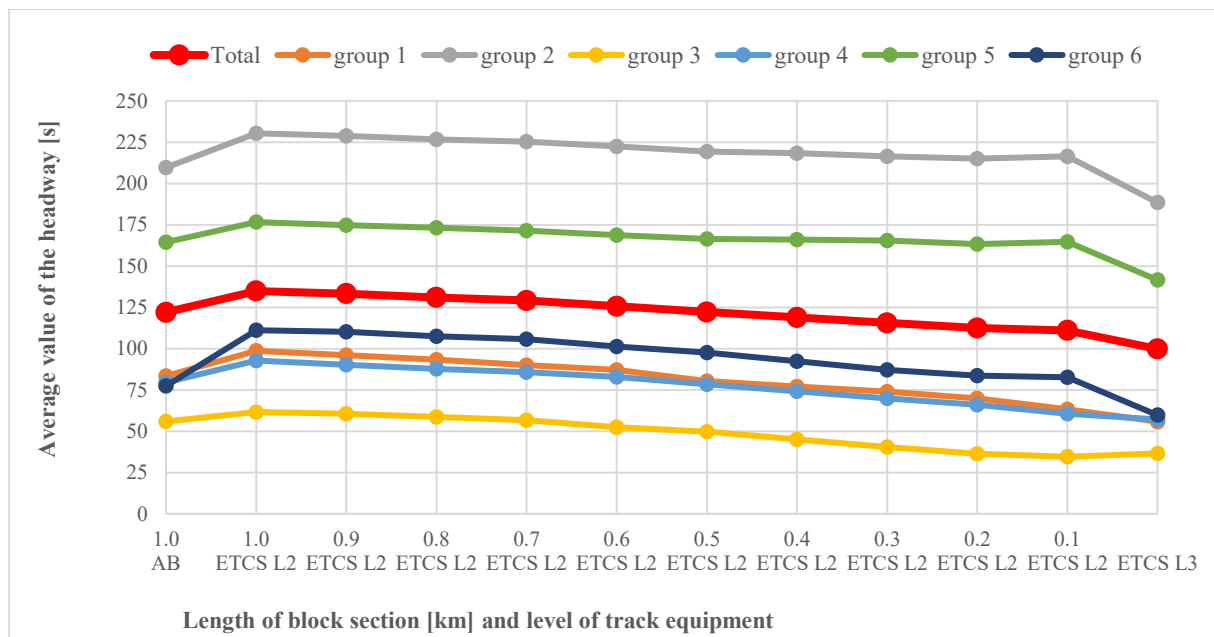


Figure 5 – Headway on different block section lengths

Evaluation of the station head simulation – second level (S) – this variant aimed to assess the behaviour of the simulation model when simulating different types of station heads. A significant output of this level of simulation is the finding that, in terms of total measured values, the deployment of ETCS L2 with benefits (at a fixed block size of 0.5 km) results in an improvement in the values of the headway period for all train groups. In total, by 6% for ETCS L2 and 21% for ETCS L3 when operating in moving blocks. It can also be considered significant that the most remarkable improvement in the values of the headway period when switching from conventional operation occurs at station headways where the switches are run in the diverging

direction at lower speeds (40 km·h⁻¹; 60 km·h⁻¹). Conversely, these values may deteriorate as the speed of the turnouts increases in the diverging direction (80 km·h⁻¹; 100 km·h⁻¹). A comparison of the values achieved in the headway periods is shown in Figure 6.

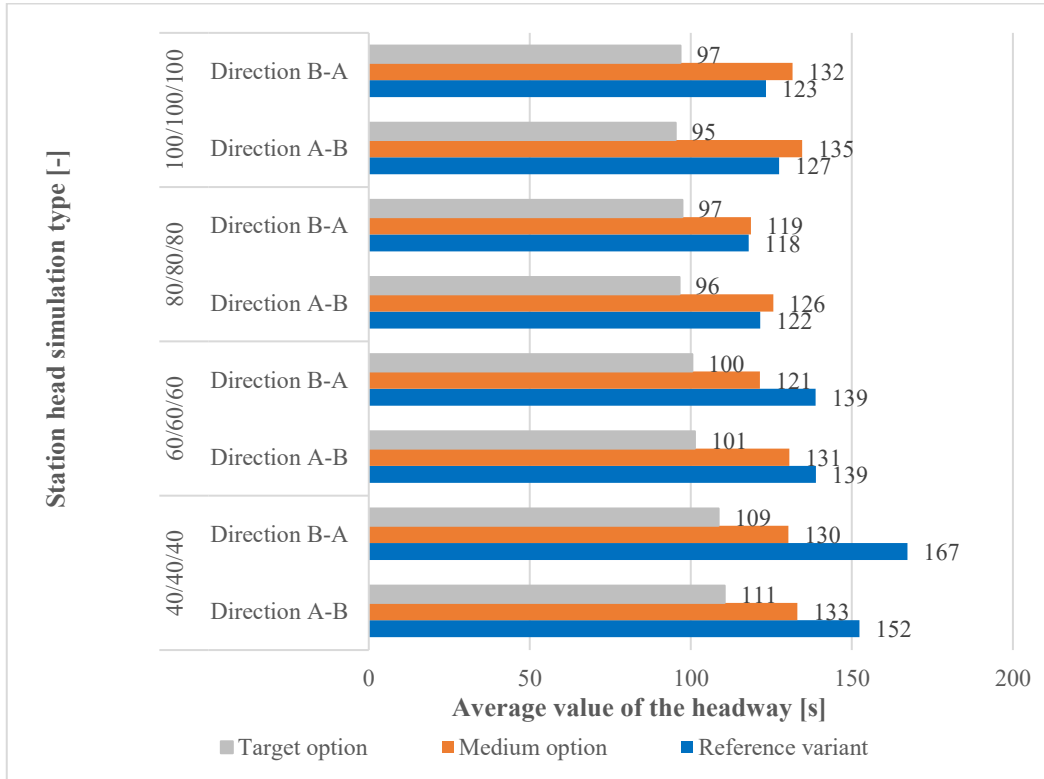


Figure 6 – Average results for each variant

Evaluation of the combined operation – third level (K) - In this section, the results of the test values and the total output delay for each simulation variant are presented. The results show that all levels of the simulation achieve overall negative values for the incremental delay, demonstrating the ability of the timetable to cope with the delays incurred. In the reference variant, the total delay increment is -3,081 s, while the transition variant achieves slightly worse values, with a total delay increment of -2,169 s. The best delay increment values in the target option are achieved at -3,247 s. The following table shows the results converted to average delay increment values by category (according to [9]). The results of the individual simulation groups are coloured yellow for the risky level of traffic quality and green for the optimal traffic quality.

	Value of the average delay increment [min]			
	Long-distance passenger transport	Regional passenger transport	Freight transport	Total
reference variant	0.027	-0.016	-0.139	-0.043
medium option	0.024	-0.015	-0.122	-0.038
target option	0.038	-0.033	-0.137	-0.044

Table 1 – Average delay increment values by train category

The delay simulation did not show a significant negative effect of the change of the train protection device on the delay increment; in the case of the transition variant, the value deteriorated by 12%; in the case of the target option, the value improved by 3%.

4. Case study

An essential condition to verify the validity of the proposed method is to test the simulation model on actual infrastructure. For this purpose, line No. 326A was selected, according to the track ratio tables (TTP), in the section Brno-Maloměřice (outside) - Rájec-Jestřebí (inclusive). In this section, there are a total of four transport stations: junction Svitava, station Adamov, station Blansko and station Rájec-Jestřebí. The method of operation is not yet in line with exclusive ETCS operation. As part of the verification operation, trainsets are deployed in ETCS L2 mode. The line is operated until 1.1.2025 in a mode with additional operational measures. Regarding the trainsets used, the author decided to use practical knowledge from the test operation of the new units No. 530 and No. 550 marked MORAVIA (in 2024, they are operated by České dráhy, a. s.). Simulations and practical measurements in the field were also carried out on the 530 unit.

Conducting field measurements – the field research was divided into two parts. In the first part, observations were made at the driver's station; in the second part, it was necessary to obtain some input materials about the signalling equipment that could not be obtained in digital form. The author was present at the driver's station during all test runs. For the detailed development of the infrastructure model, data on station, train, and track-side signalling equipment was also necessary. The complete final tables are stored directly at the station or the relevant professional administration of the railway operator. To make the simulation as close to the actual infrastructure, the author verified the construction of potential paths and fixed elements on the simulations of individual unified control places.

Comparison of achieved journey times – the actual simulation was carried out on a simulation model, where itineraries correspond precisely to the real journey of trains Os 4732, 4746, 4741 and 4757. The initial simulation results were compared with the timetable, and then the model was calibrated so that the achieved journey times corresponded to the established timetable. Corresponding values were achieved by setting the maximum available power utilisation and maximum speed to 95% and 98% in the case of train delay in the simulation. Subsequently, the individual train routes were re-simulated.

The results of the comparison of journey times confirm that, in terms of compliance with the timetable, a risky phenomenon is compliance with journey times when the train stops at the stop Babice nad Svitavou. In other cases, the journey times were always observed, while the total deviation of the journey times determined by the simulation from the journey times set by the timetable is 12.6% for train Os 4732, 14.4% for train Os 4746 and 14.1% for trains Os 4741 and 4757. The total deviation of journey times is 13.8%. Since the deviation of journey times, except for the section ŽST Blansko – Blansko město stop, does not exceed 0.5 minutes, the results of the simulation model can be considered valid.

In all cases, the simulation results and the recording of the actual train run confirm the validity of the values obtained by the simulation. The overall deviation of

the journey times from the actual train journeys from the journey times determined by simulation is 11.3% for train Os 4732, 9.2% for train Os 4746, 9.5% for train Os 4741 and 12.6% for train Os 4757. The total variation in journey times is 10.6%. This deviation may be due to the individual driving control of the train by the driver. In addition, the ATO system was used to guide the train on the run of train Os 4757. In both cases, neither the driver nor the ATO system is making maximum use of the unit's power or the braking curve limits.

Comparison of tachographs of simulation and real train running – it is evident from the tachographs that in real train running when the driver controls braking, the curve of the actual train running does not copy the curve generated by the simulation model in the initial braking phase. This is mainly because the driver does not follow the limit (identical to the Indication curve) displayed on the DMI. In addition, a deviation at the stopping point is visible. This is mainly due to the driver stopping at the usual stopping point, whereas the simulation model assumes a stop before the platform end level. The following figure shows the track tachograph junction Svitava – railway station Adamov.

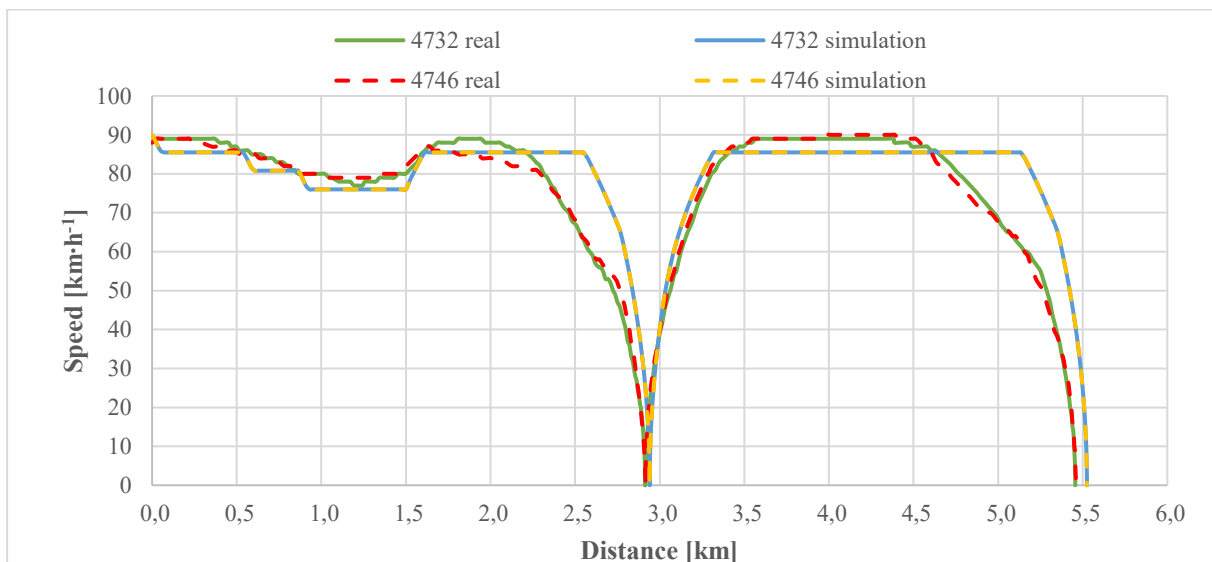


Figure 7 – Tachograph from the case study

The simulation results were compared with the results of actual measurements in terms of achieved travel times. It was confirmed that the maximum deviation of the achieved journey times for individual test runs ranged between 9-15%. Furthermore, the driving behaviour on individual tachographs was investigated, where it was possible to observe the deviation of the actual train running from the simulation. In this comparison, it was found that the driver needs to make maximum use of the limits of the braking curves in his driving, and especially at the start of braking, there is a noticeable deviation from the simulation. The applicable maximum power and maximum speed level were tested by repeating the simulations and comparing them with the already established timetable.

Conclusion

Based on the dissertation thesis [25], this article deals extensively with the operation of automatic train control systems. The author has described a comprehensive theoretical introduction to automatic train control systems. Based on the analysis, he also decided to continue the research on the impact of the introduction of ERTMS on line capacity. This was a logical step, as the introduction of ERTMS is currently a very topical issue in the Czech Republic. The authors decided to use simulation modelling of traffic at the microscopic level to accomplish the research.

The authors proposed the simulation model to verify the influence of track capacity on the deployment of automatic train control means by simulation. Based on a set of experiments, the authors have successively developed a three-level simulation model that can be used to assess the natural effect of these systems comprehensively. Based on the evaluation of the results of the three-level simulation, it was possible to draw concrete conclusions that describe the impact of the implementation of automatic train running control systems on the capacity of the railway lines.

During the research, the complexity of the whole problem became apparent, and it was necessary to focus further research on some areas, as others could no longer be covered. This includes, for example, the simulation of the impact of automatic train control and CBTC systems on railway line capacity, as well as the simulation assessment of the suitability of each system according to the type of operation of the railway infrastructure. Another crucial scientific issue is the design of a system that combines the advantages of all the systems applied so far in automatic train control. Efficient management of traction energy is also an essential aspect of automation, where the train runs interact with each other as part of the optimisation process. It is, therefore, necessary to describe the impact of such systems on railway line capacity in the future. The automation of traffic management and how the infrastructure is operated also affects line capacity, and it is desirable to describe the impact of the introduction of such modifications on line capacity in this area as well. The above topics can be investigated as part of the follow-up scientific work in the training facility.

This article proposes one of the possible approaches to assess the capacity of a given part of the railway infrastructure. The stated objective of the thesis, i.e. the design of a simulation model for train operation under the supervision of automatic train control systems, has been fully met. Based on a detailed analysis of the current state of scientific knowledge and the author's research, a three-level simulation model for capacity assessment of railway lines equipped with ETCS at L2 and L3 levels was developed.

The three-level simulation model allows for assessing the influence of automatic train control systems at three levels. In the first level, the simulation main line (track) - first level (T) is assessed separately, where it was crucial to determine the influence of the length of the created fixed blocks on the size of the subsequent gap in the given section, followed by the impact of the ETCS L3 deployment and the operation in moving blocks partitions. At the next level, station heads are considered. In the

third level, the simulation is performed on a complex railway line model in which ETCS deployment's impact on timetable adherence quality is studied. The three-level simulation model found that, when considering a wide line, a shortening of the fixed blocks to a length of 0.5 km is required to obtain equivalent values of the headway time when changing the line protection from the automatic block to ETCS L2. An overall summary of the change in the specified parameters is given in the following table.

Level of simulation model	ETCS L2 Indicator value change [%]	ETCS L3 Indicator value change [%]
Mainline (track) - first level (T)	0	18
Station head – second level (S)	6	21
Combined operation – third level (K)	-12	3

Table 2 – Simulation results

The author concluded that using ETCS can positively impact railway line capacity if the potential of ETCS L2 with benefits is exploited and equipment modifications are implemented to allow operation in shortened block compartments.

Acknowledgement

The work was supported as part of the sustainability of the project "Cooperation in Applied Research between the University of Pardubice and companies in the Field of Positioning, Detection, and Simulation Technology for Transport Systems (PosiTrans)" (No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/17 049/0008394) supported by ERDF.

Sources

- [1] MARTON, Peter a Robert ADAMKO. Villon - A tool for simulation of the operation of transportation terminals. *Komunikacie* [online]. 2010, 10(2), 10-14 [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/261608524_Villon__A_tool_for_simulation_of_operation_of_transportation_terminals
- [2] GOVERDE, Rob. Punctuality of Railway Operations and Timetable Stability Analysis [online]. Delft (Netherland), 2005 [cit. 2021-8-22]. Dostupné z: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aa40ae4f1-1732-4bf3-bbf5-fdb8dfd635e7>. Dissertation thesis. Technische Universiteit Delft. Supervisor I.A. Hansen.
- [3] CUI, Yong, Ullrich MARTIN a Jiajian LIANG. PULSim: User-Based Adaptable Simulation Tool for Railway Planning and Operations. *Journal of Advanced Transportation* [online]. 2018, 2018, 1-11 [cit. 2021-8-22]. ISSN 0197-6729. Dostupné z: doi:10.1155/2018/7284815

- [4] INCONTROLSIM. Incontrol Simulation Software, 2021 [online]. [cit. 2021-8-22]. Dostupné z: <https://www.incontrolsim.com/application-areas/public-transport-hubs/>.
- [5] NASH, Andrew B. OpenTrack - Simulation of Railway Networks, version 1.10. Zürich (Švýcarsko): OpenTrack Railway Technology Ltd., ETH Zurich Institute for Transport Planning and Systems, 2020.
- [6] ETH Zürich. OpenTrack Railway Technology [online]. Dostupné z: http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_e/opentrack_e.html [cit. 2021-8-22].
- [7] International Union of Railway. UIC CODE 406. 2. Paris (Francie): 2013.
- [8] KRÝŽE, Pavel. Nová metodika zjišťování kapacity dráhy. Vědeckotechnický sborník Správy železnic, státní organizace č. 3/2020 [online]. Praha: Správa železnic, státní organizace, 2020, s. 112-130 [cit. 2021-8-22]. ISSN 2694-9172. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/117048102/VTS+Spr%C3%A1vy+%C5%BEEleznic+3-2020.pdf/c23181d5-bb63-466c-93ad-009205f44933>
- [9] Správa železniční dopravní cesty, státní organizace. Směrnice SŽDC SM 12. Zjišťování kapacity dráhy. Praha. 2019.
- [10] Správa železniční dopravní cesty, státní organizace. Směrnice SŽDC č. 104. Provozní intervaly a následná mezidobí. Praha. 2013.
- [11] POURYOUSEF, Hamed, Pasi LAUTALA a Thomas WHITE. Railroad capacity tools and methodologies in the U.S. and Europe. Journal of Modern Transportation [online]. 2015, 23(1), 30-42 [cit. 2021-8-22]. ISSN 2095-087X. Dostupné z: doi:10.1007/s40534-015-0069-z
- [12] BULÍČEK, Josef. Systémová analýza: studijní opora. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 9788073956301.
- [13] BULÍČEK, Josef. Modelování technologických procesů v dopravě. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011. ISBN 978-80-7395-442-0.
- [14] BULÍČEK, Josef. Transport modelling: studijní opora na CD. Ed. 1st. Pardubice: University of Pardubice, Jan Perner Transport Faculty, 2014. ISBN 978-80-7395-792-6.
- [15] ZVÁRA, Karel. Regresní analýza. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0125-5.
- [16] Správa železnic, státní organizace. SŽ Z8 díl IV (prozatímní) Evropský vlakový zabezpečovač ETCS. Praha, 2019.
- [17] Správa železnic, státní organizace. SŽ TSI CCS/MP1: Zásady pro projektování traťové části ERTMS pro tratě s výhradním provozem evropského vlakového zabezpečovače. Praha, 2022.
- [18] Správa železnic, státní organizace. SŽ SM069: Směrnice pro tvorbu jízdního řádu a přidělování a využívání kapacity dráhy, 2021.
- [19] Správa železnic, státní organizace. SŽ D1 ČÁST PRVNÍ: Dopravní a návěstní předpis pro tratě nevybavené evropským vlakovým zabezpečovačem., 2024.

- [20] Správa železnic, státní organizace. Předpis SŽDC S3: Železniční svršek, 2021.
- [21] NACHTIGALL, Petr, Jaromír ŠIROKÝ and Erik TISCHER. Assessing the efficiency of increasing the track speed in the line section Rokycany – Plzeň hl. n. Sustainability. 2020. Vol. 18, 12, p. 1-13. ISSN: 2071-1050.
- [22] ŠIROKÝ, Jaromír, Petr NACHTIGALL, Erik TISCHER and Josef GAŠPARÍK. Simulation of Railway Lines with a Simplified Interlocking System. Sustainability. 2021. Vol. 13, 3. ISSN: 2071-1050.
- [23] NACHTIGALL, Petr, Jaromír ŠIROKÝ, Josef BULÍČEK and Erik TISCHER. Improving single-track railway line capacity using extended station switch point area. Journal of Rail Transport Planning & Management. Vol. 24. 2022. doi.org/10.1016/j.jrtpm.2022.100354.
- [24] NACHTIGALL, Petr, Jaromír ŠIROKÝ and Erik TISCHER. The use of simulation modelling for determining the capacity of railway lines in the Czech conditions. Open Engineering. 2020. Vol. 10, no. 1, s. 224-231. ISSN: 2391-5439.
- [25] TISCHER, Erik. Implementation of Automatic Train Control Systems and their Influence on the Capacity of Railway Lines, Dissertation Thesis, 2024, University of Pardubice.

Reviewers:

prof. Ing. Jozef Gašparík, PhD.,

Žilinská Univerzita v Žilině

doc. Ing. Josef Bulíček, Ph.D.,

Univerzita Pardubice