

**Vědeckotechnický sborník
Správy železnic,
státní organizace
č. 7/2022**

ISSN 2694-9172

Vydavatel: Správa železnic, státní organizace

Sídlo: Dlážďená 1003/7, 110 00 Praha 1

IČ: 709 94 234 DIČ: CZ 709 94 234

Obsah:

Název a autoři	Strana
1. Co přinesla 40. konference konsorcia RailML Autor: Robert Číhal	3
2. Modelování zemního spojení pomocí programu EMTP – ATP Autor: Jiří Cigánek	16
3. Železniční elektrárny Autor: Roman Štěrba	26
4. Německý přístup v případě přetížení kapacity železniční dopravní cesty Autor: Pavel Purkart	43
5. Bezemisní železniční vozidla a infrastruktura pro jejich provoz Autor: Jiří Pohl	55
6. Zavedení taktové dopravy na trati Pardubice – Havlíčkův Brod Autor: Josef Zitko	79
7. Návrh koordinace objednávek dopravní obslužnosti v železniční dopravě ČR Autor: Filip Baran	103
8. Porovnání metodik hodnocení kvality geometrie koleje Autoři: Daniel Joudal, Pavel Kulich, Otto Plášek	122

1. Co přinesla 40. konference konsorcia RailML

Robert Číhal¹

Klíčová slova

metodiky RailTopoModel, railML, IFC Rail, Informační systém SŽ, Digitální technická mapa,

Anotace

Obsah příspěvku aktualizuje poznatky o pokrocích konsorcia RailML v oblasti vývoje dvou základních směrů jeho orientace na aplikační úlohy (tzv. use case) konkretizující uplatnění jazyka railML na drahách evropských železnic tak, jak o nich bylo jednáno na 40. konferenci konsorcia. Ta se konala 10. 11. 2021 v Göteborgu. Tím tento příspěvek navazuje na předchozí sdělení věnovaná metodice RailTopoModel (RTM) a jazyku railML prezentovaná jak ve VTS, tak na jiných odborných fórech.

Abstract

The content of the contribution updates knowledge about the progress of the RailML consortium in the field of development of two basic directions of its orientation on application tasks (so-called use cases) specifying the application of the railML language on European railways as discussed at the 40th conference of the consortium. It took place on 10 November 2021 in Gothenburg. This contribution follows on from the previous communication dedicated to the RailTopoModel (RTM) methodology and the railML language presented both in VTS and on other professional forums.

1. Úvod

Tradiční, a veřejnosti nejznámější, formou popisu železniční sítě a událostí na ní se odehrávajících je jízdní řád, formálně vyjádřený jako tabelární datová struktura ve dvourozměrném prostoru, zahrnujícím:

- liniové, tedy 1 rozměrné (zjednodušené, s vlastním systémem staničení a omezenou přesností) zobrazení příslušné dopravní cesty (trati)
- čas, synchronizovaný pro dobu jeho platnosti mezinárodně a evidovaný s přesností na minuty.

¹ Ing. Mgr. Robert Číhal CSc., 1946, ČVUT Praha, fakulta stavební, ekonomika stavebnictví, systémový specialista pro dopravní inženýrství a telematiku, KPM CONSULT a.s. Brno, Purkyňova 648/125, PSČ 612 00

V posledních letech, přinejmenším však od r. 2005 v návaznosti na řešení a realizaci směrnice EU INSPIRE, se však do popředí v mnoha železničních aplikacích podpořených výpočetními technologiemi (IT) různé úrovně, dostává přesnější prostorový popis železniční sítě, pracující ve 2D prostoru i bez časové souřadnice a zobrazující dráhu v širším kontextu území státu. Pro projekční účely se pak úroveň i přesnost těchto zobrazení dále zvyšuje do 3D a časová souřadnice (rozšíření do 4D) se také nemusí týkat jen jízdy vlaku, ale třeba i doby výstavby částí dráhy.

Projekční i provozní praxe ukázala, že původní představy směrnice EU INSPIRE o zobrazování území, vhodné např. pro ekologické a podobné aplikace a pracující s relativně malými měřítky map i s poměrně chudým sortimentem atributů popisovaných entit, pro železniční aplikace nestačí. Řešení bylo nalezeno v návrhu směrnice UIC IRS30100 [1], která definuje metodiku RailTopoModel, a na jejíž bázi byl mezinárodním konsorciem RailML vyvinut specializovaný klon jazyka XML (resp. GML pro prostorové aplikace), označený jako railML [2, 3]. Jeho první verze (až do v. 2.4) a aplikační úlohy vedly tradičně primárně do oblasti sestavy jízdního řádu, s cílem zvýšit standardizaci jeho zpracování v mezinárodním prostředí. Přinejmenším od r. 2015 však začaly být vyvíjeny i další aplikace spojené s aktuálně zaváděnou a prostorově přesnější verzí railML 3.2, které se začaly zaměřovat i na úlohy výstavby (s výhledem k metodice BIM) a správy prostorových zařízení železniční infrastruktury. To si vyžádalo jak podstatně vyšší přesnost popisu topologie i geometrie drah, tak zvětšení sortimentu popisných atributů nad úroveň původních potřeb IT podpory drážního provozu.

Tento vývoj však byl později modifikován, ale nikoli plně zastaven, nástupem aplikací založených na standardu IFC [4 - 7] a pro dráhy podpořeným mj. zkušenostmi z jeho aplikace v Číně [8]. Aktuální stav této problematiky v EU a ČR byl předmětem projektu TAČR [9] a jeho výstupů pro potřeby SŽ a MD (naposledy šlo o metodiky [10, 11]).

Tyto výstupy však stačily pouze zaznamenat, nikoli podrobněji komentovat zcela poslední vývoj zaměření činnosti konsorcia RailML, který přinesla jeho 40. konference. Ta se konala 10. 11. 2021, prezenčně v Göteborgu s účastí cca 25 přednášejících a posluchačů, ovšem s rozšířením formou videokonference, již se zúčastnilo více než 60 účastníků. Ve svých 13 hlavních příspěvcích (výběr dále použitých viz [12 a-i]) přinesla tato konference nejen rekapitulaci výsledků konsorcia od 39. (video)konference, ale naznačila i další vývoj sledované problematiky a podmínkám jejich realizace. Jim je věnován tento článek.

2. Zaměření věcně nejvýznamnějších příspěvků

2.1. Všeobecné poznatky

Jak je ukázáno v následujících podrobnějších komentářích k vybraným příspěvkům, lze současný směr aktivit celé komunity RailML charakterizovat takto:

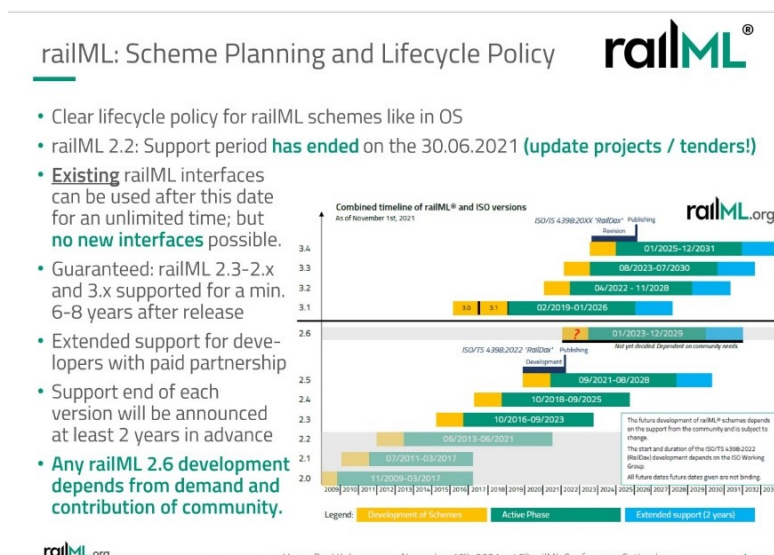
- a. za stále prioritní je komunitou RailML považován rozvoj metodiky i aplikací orientovaných na podporu **provozování drážní dopravy**, proto také poslední

- verze 2.4 není plošně nahrazována verzí 3.1, ale předpokládá se její další samostatný vývoj (předběžně k verzi 2.6)
- b. jedním z významných důvodů toho rozhodnutí je ale i proces prosazovaný zejména Norskými drahami, směřující k **uznání railML jako standardu** navrženého a uplatňovaného podle **pravidel ISO**; požadavky ISO přitom mj. obsahují podmínku 5 let úspěšného používání kandidáta, což verze 3.1 zatím nesplňuje
 - c. návazně na **současné dopravně orientované projekty** převážně směřující do okruhů **přípravy GVD**, by měla přijít nová řešení rozšiřující působení metodiky do oblastí výměny dat **o tabulkách traťových poměrů** a dalších oblastí drážního provozu, vč. úloh typu plánování **oběhu vozidel a organizace směn** provozních zaměstnanců a některých dalších aplikací, většinou spojených s přesnější vazbou na prostorové aspekty, objevují se však i jiné, ne zcela prostorově orientované aplikace, zaměřené na IS pro cestující v drážních vozidlech
 - d. souběžně vedle tohoto zaměření však jsou rozvíjena i více **technicky orientovaná** řešení postavená na prostorově přesnější v. 3.1 (s výhledem k v. 3.4); to se zejména týká uplatnění vazeb railML a mechanismů používaných **v systému ETCS**
 - e. tím se **přesností** prostorového popisu kolejí budou takovéto aplikace blížit **technologickým popisům území** geodetickými metodami a správou, resp. projektováním, železniční infrastruktury
 - f. na pomezí ryze dopravně provozních a více infrastrukturně (územně) zaměřených úloh stojí podpora **Prohlášení o dráze**, prezentující technický stav drah jednotlivých provozovatelů drah (PI) dopravním operátorům
 - g. od typicky stavebně-technicky orientovaných úloh se přitom dopravní úlohy zásadně odlišují způsobem vyjádření **směrových charakteristik dopravní cesty**, které jsou:
 - i. v dopravních aplikacích zásadně postaveny ve **směru jízdy vlaků** stabilizovaném orientací návěstidel a dalšími prostředky
 - ii. v geodetických a stavebních aplikacích postavených na **směrech systémů staničení** daných úseků sítě a v detailu (např. v konstrukcích výhybek) na **technicky určené** vztažné soustavě
 - h. mezi všemi možnými pohledy by však měla být v datových modelech navrhovaných s využitím nástrojů railML **vytvářena základní metodická shoda** s realitou dané úrovně **přesnosti a funkčnosti**
 - i. v uvedeném směrování aplikací je zřetelná mj. i úloha **velkých firem** (SIEMENS, ALSTOM, STADLER aj.) stojících v pozadí některých aplikací; naopak v diskusích členů konsorcia se (zatím) neobjevují témata komunikace **drážních subjektů se státní správou**, aktuálně v ČR spojená s řešením Digitální technické mapy (DTM) podle vyhlášky [13].

2.2. Rozvoj verzí jazyka railML

Technická vylepšení obsahu jednotlivých verzí jazyka railML, vycházející jak ze zkušenosti a praxe provozovaných aplikací, tak ze záměrů budoucích potřeb nově

navrhovaných use case, jsou realizována především vlastními silami centrály RailML, k jejichž návrhům jsou podpůrnou formou na portálu RailML vedeny řešitelské diskuse příslušných odborných týmů, zahrnujících i specialisty národních drážních a dalších přihlášených organizací. Práce na use case je organizována podle zájmu jednotlivých členů komunity a je vždy orientována na předem určené praktické použití. Proto neexistuje žádná „teoreticky úplná“ aplikace, která by využila všechny nástroje jazyka railML obsažené v jeho XSD souborech současně. Dílčí výsledky úprav těchto souborů dosažené v jednotlivých směrech aplikací byly na konferenci předmětem příspěvku [12a]. Pro potřeby tohoto sdělení jde však o příliš velký detail, zájemci by se s ním proto měli seznámit v originálu. To se ovšem netýká současné představy o časovém horizontu prací na jednotlivých verzích, která byla uvedena v příspěvku [12g] a v tomto příspěvku je prezentována na obr. 1.



obr. 1 Harmonogram vývoje životních cyklů verzí 2.x a 3.x jazyka railML

2.3. Obsah záměru uplatnění railML jako metodiky ISO

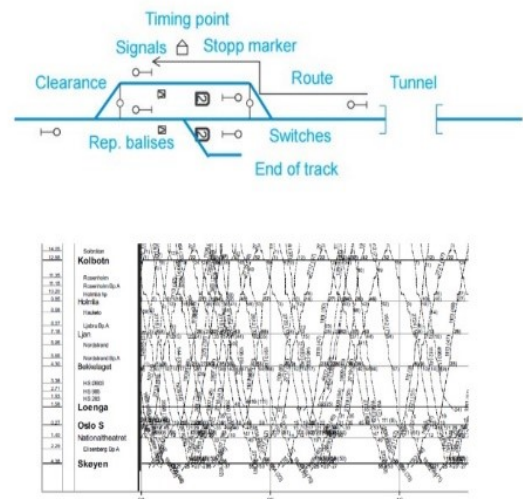
K hlasování o přijetí railML mezi standardy ISO mělo podle informace uvedené v příspěvku [12b] dojít 7.12. Do doby zpracování tohoto článku (leden 2022) však nebyla zveřejněna žádná informace o jeho výsledku, na němž se měli podílet zástupci normalizačních institucí (za ČR jde o Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví - ÚNMZ) z celého světa, pracující podle pravidel a postupů ISO. Podrobnější představa o obsahu ke standardizaci navrhovaných postupů označených v rámci ISO jako TS 4398 RailDax je uvedena na obr. 2. Sám dokument má standardizovanou osnovu v podobě:

- Scope (základní přehled)
- Terms and Definitions (pojmy a definice)
- Normative References (normativní reference)

- Modelling Concepts (koncepty modelování – zde se uplatňují principy RTM – viz obr.2)
- RailDax High Level Description (popis RailDax ve vyšší úrovni)
- Use Cases (příklady použití)
- Annexes (přílohy)
 - A. Mapping with other initiatives (mapování vazeb s jinými iniciativami)
 - B. Agreements/ licensing and metadata registr (dohody, licencování, registr metadat)

RailDax Use cases for «service planning»

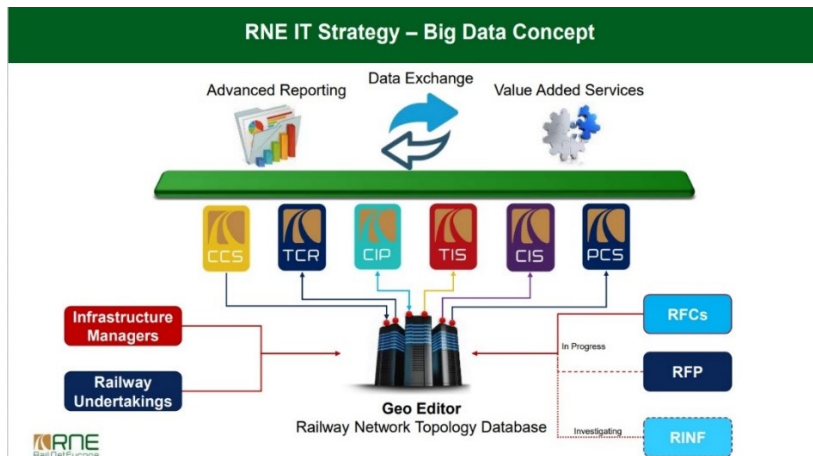
1. Operational timetable planning
2. Runtime calculations
3. Passenger assets of rolling stock for operational planning
4. Schematic track plans for infrastructure planning
5. Operational timetable simulation
6. Network Statement of an infrastructure manager annex asset descriptions



Obr. 2 Prezentace věcného zaměření datových modelů

2.4. Záměry IS agentury RailNetEurope (RNE)

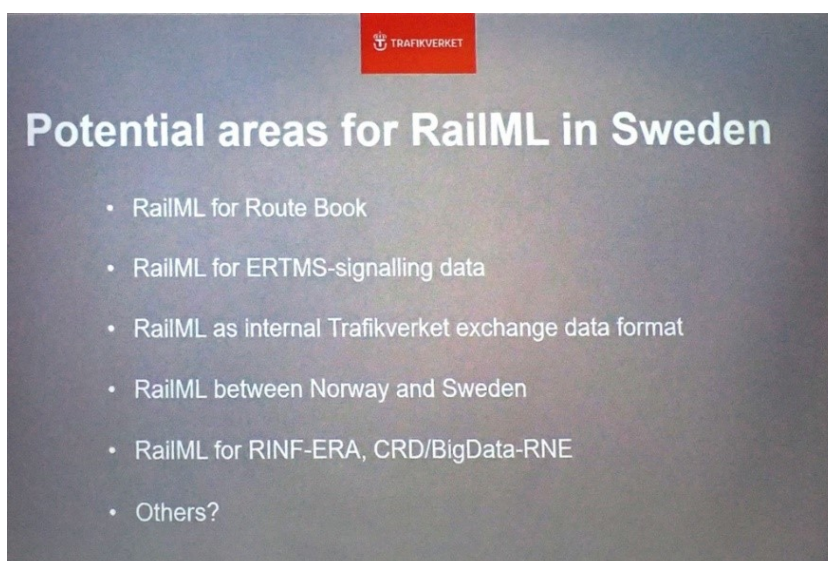
Významné informace ve směru k vrcholové podpoře celé metodiky RTM i jazyka railML obsahoval příspěvek zástupce **agentury RNE** [12c] o záměru vybudování nového IS této agentury, pokrývajícího její potřeby a okruh působnosti (viz obr. 3).



Obr. 3 Informační strategie RNE

Jedním z předpokladů jeho vybudování je přitom i standardizace tvorby datových rozhraní mezi různými aplikacemi vytvořená na bázi railML. Jako celek by měl mít tento IS následující vlastnosti:

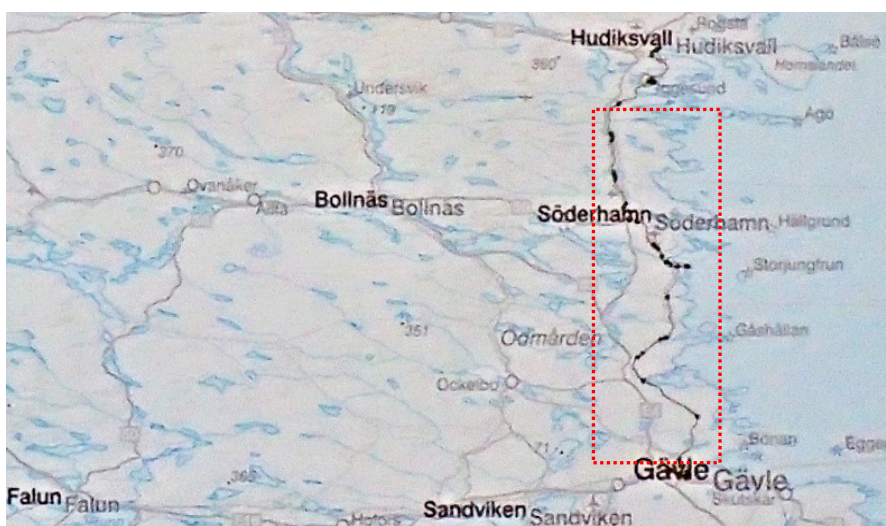
- i. výrazně **prostorovou orientaci** s plným využitím principů RTM
- ii. základní úroveň tohoto zobrazení v měřítku Evropy má být primárně úroveň „**mezo**“ (odpovídá dopravní hraně mezi uzly) s budoucí možností přechodu k úrovni „**mikro**“ (základem jsou stavební ,
- iii. jednou z hlavních funkcí tohoto IS by měla být informační podpora „**Prohlášení o dráze**“,
- iv. jeho **dílní částí** mají být i postupy dosud sledované v aplikaci **RINF**, vytvořené agenturou **ERA**;
- v. modelování provozních a funkčních detailů stavebně-technických **prvků se však nepředpokládá**,
- vi. výstavba tohoto systému má být ukončena v r. 2023



Obr. 4 Zaměření aktivit Trafikverket (SE)

2.5. Využití railML ve Skandinávii

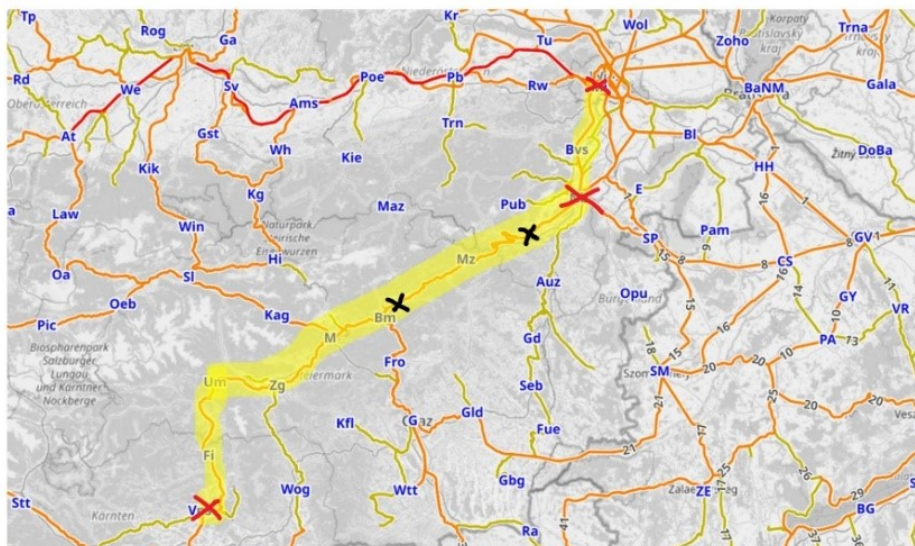
Již z místa konání konference, a návazně i z obsahu několika příspěvků (zejména [12b, d, h]), byla zřejmá vysoká podpora nejen obecně skandinávských, vzájemně úzce spolupracujících drah, ale i je podporujících firem (ALSTOM, BOMBARDIER aj.) směřujících k praktickému využití metodiky RTM jazyka railML. Zatímco ale Norové stojí za přímou metodikou popisu sítě ve verzích 2.x i jejím uplatněním v ISO, Švédské dráhy a je podporující firmy v praxi již testují use case rozsáhlejšího **použití v. 3.2** a její případné návaznosti na **IFC Rail**. A to především se zaměřením na využití **systému ETCS**, ale i další aplikace souhrnně formulované na obr.4. Testování výsledků je pak realizováno na speciálně vybrané trati (obr.5).



Obr. 5 Lokalizace zkušební dráhy Švédských drah pro ověření postupů podporovaných railML

2.6. Uplatnění prostorového přístupu při podpoře dopavně provozních úloh

Pracovní skupina konsorcia RailML označená Working group SHFT a podporovaná rakouskými drahami (ÖBB) se zaměřila na zcela jinou a pro aplikaci jazyka railML novou oblast jeho použití. Ta směřuje k organizaci standardních úloh plánování a využití sil a prostředků (obr. 6, příspěvek [12e]) s využitím prostorově podmíněných přístupů a jim odpovídajících nástrojů.

Overlapping of a personal shift and train


Obr. 6: Prostorové vymezení části sítě, pro niž se řeší úlohy plánování využití sil a prostředků

Tato skupina úloh je v podmínkách SŽ pokryta zejména již dlouhodobě provozovanou aplikací ISOR a několika dalšími na ní navazujícími. Rozdíl v jejich přístupu k řešení oproti novému konceptu použití railML by měl podle záměru řešitelů vést k těsnějšímu propojení (rozhraní) s úlohami správy zařízení infrastruktury, a tím např. i účinnější koordinaci provozu na výlukách a podobných prostorově závislých skutečnostech.

2.7. Nový přístup k vnitropodnikovému použití railML

Z tohoto hlediska byl zcela novátorský přístup k využití railML v. 2.5 prezentován v příspěvku zástupce švýcarského výrobce drážních vozidel STADLER [12f]. Zde se prostorová (1D s kótovaným časem) koncepce uplatňuje při návrhu prezentačních zařízení instalovaných ve vagonech a informujících cestujících o okamžité poloze vlaku a dalších významných událostech při jízdě vlaku. V tomto pohledu se ale railML stává i integrujícím prvkem IS rozsáhlejší mezinárodně působící organizace, jehož vozidla (byť vyrobená např. v Polsku) využívá a servisuje m.j. LEO Expres. Podobně je railML využíván i u ALSTOMu a částečně i SIEMENSu.

2.8. Organizační a koncepční novinky z činnosti konsorcia RailML

Stejně, jako na všech předchozích konferencích, byly v příspěvku [12g] shrnuty nejvýznamnější organizační změny a koncepční záměry obecnějšího významu. Z pohledu ČR je zajímavé, že od poslední konference se komunita RailML rozšířila o 8 členů, z toho dvou působících na našem území – mezinárodní **Arriva** a lokální (rakovnicko) **Anexia**. Podle odhadu hlavního koordinátora RailML Ing.

Kolmorgena, by se měl po dořešení v. 2.5 také vrátit většinový zájem členů konsorcia i k některé z verzí 3.x. V plánech rozvoje RailML se proto aktuálně tento vývoj spojuje až s v. 3.4, s vazbami na **IFC Rail** a úlohy správy zařízení infrastruktury.

K pokroku však dochází i v obsahu a formě základního nástroje seznamujícího odbornou veřejnost s obsahem jazyka railML a označeného „railWiki“ (dostupné pro verzi jako railML 2 Wiki, pro verzi 3 po dohodě s koordinátory). Právě nedokončenost tohoto přechodu však byla důvodem, proč nebyly do češtiny v rámci projektu [9] přeloženy původně předpokládané rozsáhlejší pasáže vysvětlení funkcí railML (jsou k dispozici anglicky, německy a francouzsky) a zůstalo jen u obecnější informace v rámci základní Wikipedie (obr. 7).

Wikipedia about railML



WIKIPEDIA
The Free Encyclopedia

- The Wikipedia article about railML is available in further languages
- Important for newcomers: Wikipedia content is high-rated in search engines in the Internet
- Community members provided translations into
 - Czech (CZ)
 - Spanish (ES)
 - French (FR)
 - Dutch (NL)
 - Norwegian (NO)
 - Mongolian (MN)
 - Russian (RU)
 - German (DE)
- Not updated: German (due to strict community restrictions)
- Complementing expertise from the railML community welcome!
- **Important:** <https://en.wikipedia.org/wiki/RailML> ≠ <http://wiki.railML.org/>
- A translation support of railML's Wiki (<http://wiki2.railML.org> and <http://wiki3.railML.org>) is **available** Content needed



railML.org

Vasco Paul Kolmorgen > November 10th, 2021 > 40th railML Conference, Gothenburg

11

Obr. 7: Přehled jazykových verzí základní informace o RailML ve Wikipedii

Plné znění prezentací a podrobnější i aktuálnější informace o současném dění v RailML lze získat na prezentačním portálu railml.org.

3. Závěr

Z uvedených základních tezí o rozvoji metodiky RTM (resp. railML) a jejich vztahu k rozvíjející se aplikaci IFC Rail (aktuálně probíhá jeho druhá, realizační fáze) plyne, že jde o hlavní proud budování standardizovaných a universálně (tedy nejen prostorově) orientovaných IS o železnici v EU. Prezentace ze 40. konference ukázaly na hlavní přínosy této metodiky a její další směřování. Její praktická aplikace zásadně mění přístupy a postupy výstavby IS drah (a o drážním provozu z nejrůznějších hledisek).

Díky její implementaci místo dosud (historicky nutně převládajících) **pokusů** o realizaci zadání takovýchto IS vycházejících pouze z **prakticky vnímaných potřeb** budoucích uživatelů a individuálních znalostí řešitelů – vítězů výběrových řízení, jsou zde k dispozici **standardizované metodiky popisu** sítě z různých hledisek, vycházející z **nadnárodní zkušenosti** a ukazující, jaké by měly mít takovéto systémy, sloužící jak úlohám provozu dopravy, tak v hlavních rysech i správě zařízení infrastruktury, **základní komponenty**, datové struktury a funkcionality.

Takováto změna vede od aplikací **metod „pokus – omyl“** s mnoha rysy téměř „základního výzkumu“ ke zcela **standardní inženýrské praxi** s mnoha důsledky jak pro realizátora SW řešení, tak ale i pro zadavatele. Na rozdíl od „zcela IT“ postupů spojených např. s technologiemi šifrování webové komunikace nebo práce s bodovými poli vycházejícími z LIDARových skenování apod., které mají k dispozici korektní matematicko-fyzikální modely základů algoritmizace úloh, jde v těchto IS ve většině případů stále o **hledání shody datového modelu a reality** v míře **přijatelné** zadavatelem/uživatelé a **realizovatelné** IT projektantem. Jak bylo ukázáno v metodice [11] i příspěvcích 40. konference RailML, **žádná z nadnárodních metodik** přitom přímo **nezahrnuje národní specifiky** typu způsobů identifikací částí sítě, konstrukčních typů objektů apod.

Tyto styčné body mezi zcela standardními postupy založenými na **celosvětově použitelných** fyzikálně-technických základech, obecných matematických modelech různého typu (vč. např. geodetických základů) a IT technologiích a **národními a podnikovými zvláštnostmi**, musí být **identifikovány** a do výsledku **doplněny** vhodnou **modifikací připravených nástrojů**. A to vyžaduje přiměřeně přesnou a účinnou komunikaci mezi zadavatelem a dodavatelem, založenou ovšem nově na oboustranně známých normativních podmínkách z obou prostředích.

Potřeba **sledování vývoje návaznosti metodik popisu železniční sítě a území státu** jako celku, realizované v řadě paralelně řešených projektů a příprav nové legislativy v oblastech funkcí **orgánů a IS VS** (zejména v oblasti geodetické a stavební jde o projekty DTM, NIPI a BIM) jde ovšem nad rámec současného vývoje přeci jen úžeji zaměřeného vývoje nástrojů podporovaných konsorciem RailML. Zde se totiž metodicky uplatňuje i požadavek na integrace (resp. transformace) železničně orientovaných projektů informačně-technických (zpravidla pro railML již na bázi GIS a web) s projekty stavebně-technickými a s uplatněním metodického (BIMovsky teoretického) principu **„digitálního dvojčete“**. Tam by se podle závěrů 40. konference měla dostat verze railML 3. 4 a vyšší.

To potvrzuje, že jde o dlouhodobý a náročný proces, který je v podmínkách ČR významně urychlován závazným termínem nasazování metod projektování technikami **BIM pro velké stavby** realizované ve veřejném zájmu již od **r. 2022**. To se v praxi drah ale bude zřejmě nejintenzivněji týkat hlavně tzv. **„rychlých**

spojení jako kvalitativně vyšší úroveň staveb, v zásadě s minimalizovaným kontaktem s existující a různými historickými zátěžemi poznamenanou současnou sítí, které efektivnost diskutovaných moderních postupů významně omezují. Metodické principy prezentované na konferenci však mají daleko obecnější dosah, a proto si jejich vývoj zaslouží soustavnou a dlouhodobou pozornost.

Literatura

1. RailTopoModel, IRS 30100 *Railway Network Description* UIC, RTM Workgroup, Paris, 27.04.2015
2. railML.org Wiki: *Use case Network Statement*. In: <https://wiki.railml.org/index.php?title=UC:IS:NetworkStatement>; last access: 03.04.2018
3. ČÍHAL R. Ke dvěma možným použitím metody RailTopoModel a formátu railML při zobrazování objektů a procesů probíhajících na železniční síti, Vědeckotechnický sborník SŽ, Praha, duben 2020, ISSN 2694-9172, dostupné z <https://www.szdc.cz/o-nas/publikace/vts>
4. EN ISO 16739 (73 0100) Datový formát Industry Foundation Classes (IFC) pro sdílení dat ve stavebnictví a ve facility managementu, duben 2017 dostupné z: <https://eshop.normservis.cz/norma/csneniso-16739-1.4.2017.html>
5. kol. IFC RAIL PROJECT, WP2 – Requirement Analysis Report, buildingSMART 1.9.2019 dostupné z: https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2019/10/RWR-IFC_Rail-Requirement_Analysis_Report_-__.pdf
6. kol. IFC RAIL PROJECT. *WP3 Conceptual Model Report. Overview and content of the business-related part of the Railway UML model*. dostupné z: <http://docplayer.net/163522523-Ifc-rail-project-wp3-conceptual-model-report-overview-and-content-of-the-business-related-part-of-the-railway-uml-model-status-1.html>
7. ČÍHAL R., Ke dvěma možným použitím metody RailTopoModel a formátu railML při zobrazování objektů a procesů probíhajících na železniční síti, VTS SŽ duben 2020, Praha
8. CRBIM1002 - 2015 Railway BIM Data Standard (Version 1.0) Issued on: 2015-12-29 Implemented on: 2016-01-01 CRBIM dostupné z: <https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2017/09/bSI-SPEC-Rail.pdf>
9. Projekt TAČR TL02000312 aplikovaného společenskovedního a humanitního výzkumu, experimentálního vývoje a inovací ÉTA „Lokalizace a implementace metodiky RailTopoModel a značkovacího jazyka railML v. 3 do podmínek prostorového popisu železničních drah v ČR s přihlédnutím k aplikaci metodiky BIM“
10. ČÍHAL R.; KŘIVÁNEK J.; MERVARTOVÁ J. RML – 9 Metodika uplatnění postupů využití UIC IRS30100 (RailTopoModel v.1.1), railML v.3.2 a IFC Rail s přihlédnutím k datovým standardům projektů BIM zpracovaných SFDI v

- rámci IS Správy železnic s.o., KPM CONSULT a.s.Brno, únor 2021, poslední aktualizace srpen 2021
11. ČÍHAL R. RML-11 Metodika uplatnění technologií RailTopoModel railML v.3 a IFC Rail ve vazbě na postupy projektování staveb metodou BIM v rámci rezortu dopravy a její důvodová zpráva KPM CONSULT a.s., Brno, září 2021
 12. 40th railML Conference 10th of November 2021 Göteborg, dostupné z 40th railML Conference SWEDEN - railML.org (EN), zejména:
 - a. RAHMIG Ch., Report from the Infrastructure developers in railML 3.2. and 2.5, RailMLorg (DE)
 - b. BRAND T., Development status ISO 4398:2022 RailDax (NL)
 - c. PADILLA J., Possible railML use in RNE Digital Railway Infrastructure Information System, RailNetEurope (AT)
 - d. HOFŘÉN M., Proof-of-Concept NEST use case at Trafikverket (railML 3.2.beta1), Trafikverket (SE)
 - e. HOLAKOVSKY M. Working group SHFT (ÖBB)
 - f. KABISCH T., Passenger information use case at Stadler with railML 2.5, Stadler (DE)
 - g. KOLMORGEN P.V., railML.org: Governance and organization news, railML.org (DE)
 - h. FREEMAN N., Welcome to 40th RailML.org Conference from Alstom
 - i. LEBERL F. News from the RailML® Wiki
 13. Návrh vyhlášky ČÚZK o digitální technické mapě, pracovní verze ze 7.2.2020

Seznam zkratek

1D	jednodimenzionální (v dané souvislosti ve standardním geometrickém smyslu)
2D	dvoudimenzionální
3D	třídimenzionální
4D	čtyřdimenzionální (v dané souvislosti 3D + čas)
AT	Rakousko - mezinárodní kód ISO
BIM	Building information modelling (management)
CRBIM	zkratka projektu BIM drah Čínské republiky
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DE	Německo - mezinárodní kód ISO
DTM	Digitální technická mapa
ERA	European Railway Agency
ETCS	European Train Control System
EU	Evropská unie
GIS	Geografický informační systém

GML	Game (nebo Geography) Marker Language
GVD	grafikon vlakové dopravy
IFC	Industry Foundation Classes
IFC Rail	část IFC popisující dráhy
INSPIRE	Infrastructure for Spatial InfoRmation in Europe
IRS	International Railway Solution
IS	informační systém
ISO	International Organization for Standardization
ISOR	informační systém operativního řízení
IT	informační technologie
LIDAR	Light Detection And Ranging
MD	Ministerstvo dopravy ČR
NIPI	národní infrastruktura pro prostorové informace
NL	Holandsko - mezinárodní kód ISO
ÖBB	Österreichische Bundes Bahnen
PI	provozovatel infrastruktury
railML	verze jazyka GML pro použití na železnici
RailML	konsorcium pro vývoj jazyka railML
RINF	registr (železniční) infrastruktury
RNE	RailNetEurope
RTM	RailwayTopoModel
SE	Švédsko - mezinárodní kód ISO
SŽ	Správa železnic, s.o
TAČR	Technologická agentura ČR
UIC	Union Internationale des Chemins de fer
UML	Unified Modelling Language
VS	veřejná správa
VTS	Vědecko-technický sborník
XSD	XML Schema Definition

Lektorovali:

Ing. Radomír Havlíček,
Správa železnic, O13

Mgr. Veronika Vybíralová,
Správa železnic, SŽG

2. Modelování zemního spojení pomocí programu EMTP – ATP

Jiří Cigánek ²

Klíčová slova

zemní spojení, modelování, EMTP – ATP

Keywords

ground connection, modeling, EMTP – ATP

Anotace

Trojfázové elektrizační soustavy se mohou provozovat různým způsobem. Na způsobu uzemnění uzlu, tj. na impedanci spojení mezi uzlem soustavy a zemí, závisí napěťové namáhání izolace vodičů a velikost poruchového proudu při spojení určité fáze na zem. Tento článek se zabývá modelováním zemního spojení v sítích s izolovaným uzlem, nebo uzlem přes tlumivku.

Abstract

Three-phase electrical systems can be operated in different ways. The voltage stress of the conductor insulation and the size of the fault current when a certain phase is connected to the ground depend on the method of node grounding, i.e. on the impedance of the connection between the system node and the ground. This article deals with the modelling of the ground connection in networks with an isolated node or a node through a choke.

² Ing. Jiří Cigánek – absolvent inženýrského studia na Fakultě elektrotechniky a informatiky, Technické Univerzity v Ostravě (2006). Nyní student doktorandského studia na Fakultě elektrotechniky a informatiky, Technické Univerzity v Ostravě.

1. Úvod

V elektrizační soustavě z důvodu manipulací vznikají přechodové jevy. Tyto přechodové jevy mohou být takové, které odezní, ale jsou i takové, které neodezní. Jedná se o zkraty a zemní spojení. Zemní spojení vznikají v sítích s izolovaným uzlem, nebo uzlem uzemněným přes tlumivku. Na tyto zkraty a zemní spojení musí být nastavena zkratová a zemní ochrana, aby nedocházelo k nadměrnému přetěžování elektrizačních soustav. Proto je potřeba se těmto jevům věnovat a modelovat jednotlivé průběhy napětí a proudu v místě zkratu a zemního spojení.

2. Teoretický rozbor zkratů

Nejrozšířenějšími poruchami v elektrizační soustavě jsou zkraty. Zkrat vznikne poruchovým spojením fází navzájem, nebo se zemí v soustavě s uzemněným uzlem. Tím dochází ke vzniku nežádoucích zkratových proudů. Hlavní příčinou vzniku zkratu bývají poruchy izolace, způsobené přepětím, přímým úderem blesku, zestárnutím izolačních materiálů a přímým poškozením venkovních vedení a kabelů.

Při zkratu se celková impedance zkratem postižené části sítě zmenšuje, zvětšují se proudy. To vede ke snížení napětí v místech blízkých zkratu.

Jsou-li zkratem postiženy současně všechny tři fáze, mluvíme o zkratu souměrném - trojfázovém.

Všechny ostatní zkraty se nazývají nesouměrné a patří k nim:

- a) dvoufázový zkrat
- b) dvoufázový zemní zkrat
- c) jednofázový zkrat

Podmínky pro výpočet zkratových proudů

Zkratové proudy zjišťujeme buď pro volbu a dimenzování elektrického zařízení na jejich účinky, nebo pro volbu a nastavení ochran ve zkratovém obvodu.

Pro volbu a dimenzování elektrických zařízení určujeme největší možné hodnoty zkratového proudu. Určují se za těchto předpokladů:

- a) zapojení soustavy takové, které v místě zkratu dává největší zkratové proudy,
- b) chod uvažovaných zdrojů s jmenovitým výkonem, napětím a účinníkem,
- c) chod motorů,
- d) při uvažování rezistencí vodičů je jejich teplota 20°C.

Při výpočtu minimálního zkratového proudu pro nastavení ochran se uvažuje:

- zapojení soustavy pro zajištění jen minimálních odběrů (při paralelním spojení transformátorů a vedení se uvažuje jeden transformátor, popřípadě vedení odpojené),
- do zkratu pracuje snížený počet zdrojů naprázdno se jmenovitým napětím,
- vliv motorů se neuvažuje,
- při uvažování rezistancí se uvažuje teplota venkovních 80°C a teplota kabelových vedení maximální přípustná.

Výpočet počátečního rázového zkratového proudu I''_{k2} můžeme provádět ve fyzikálních jednotkách:

$$I''_{k2} = \frac{c \times \sqrt{3} \times U_n}{|Z_1 + Z_2|} \quad [\text{kA}, -, \text{kV}, \Omega]$$

c – napěťový činitel pro zkrat v soustavě vn, 110kV, 220kV

U_n – jmenovité sdružené napětí sítě v místě zkratu

Z_1 – výsledná sousledná impedance zkratového proudu

Z_2 – výsledná zpětná impedance zkratového proudu

Výpočet počátečního rázového zkratového proudu I''_{k2} můžeme provádět v poměrných hodnotách:

$$I''_{k2} = \frac{c \times \sqrt{3} \times I_v}{|Z_1 + Z_2|} \quad [\text{kA}, -, \text{kA}, -, -]$$

c – napěťový činitel pro zkrat v soustavě vn, 110kV, 220kV

Z_1 – výsledná sousledná impedance zkratového proudu

Z_2 – výsledná zpětná impedance zkratového proudu

I_v – vztažný proud

Při výpočtu v poměrných hodnotách volíme vhodně vztažný výkon S_v [MVA]. Vztažné napětí U_v je napětí v místě zkratu. Pro vztažný proud platí vztah:

$$I_v = \frac{S_v}{\sqrt{3} \times U_v} \quad [\text{kA}, \text{MVA}, \text{kV}]$$

Trojfázové elektrizační soustavy se mohou z hlediska zapojení jejich uzlu provozovat různým způsobem. Na způsobu uzemnění uzlu, tj. na impedanci spojení mezi uzlem soustavy a zemí, závisí napěťové namáhání izolace vodičů a velikost poruchového proudu při spojení určité fáze na zem.

Při přímém uzemnění uzlu dochází při zemním spojení některé fáze k jednopólovému zkratu s proudem, omezeným toliko impedancí zkratového obvodu, k níž přispívá uzemňovací odpor v uzlu. Zkrat způsobí vypnutí postižené části sítě.

V sítích s izolovaným uzlem nebo uzlem uzemněným přes tlumivku nedochází při zemním spojení ke zkratu, ale hovoříme o **zemní spojení**.

Sítě s izolovaným uzlem

Za normálních podmínek zemními kapacitami a svodovými odpory každé fáze procházejí kapacitní a svodové proudy, vyvolané fázovými napětími zdroje. V praxi tu bývají určité nesymetrie, takže uzel soustavy má oproti zemi malé napětí (asi 0,5 % fázového napětí). Zanedbáme-li tyto nesymetrie a i svody, prochází k zemi kapacitní proudy:

$$I_{c1} = I_{c2} = I_{c3} = I_c = \varpi * C * U_f \quad (A)$$

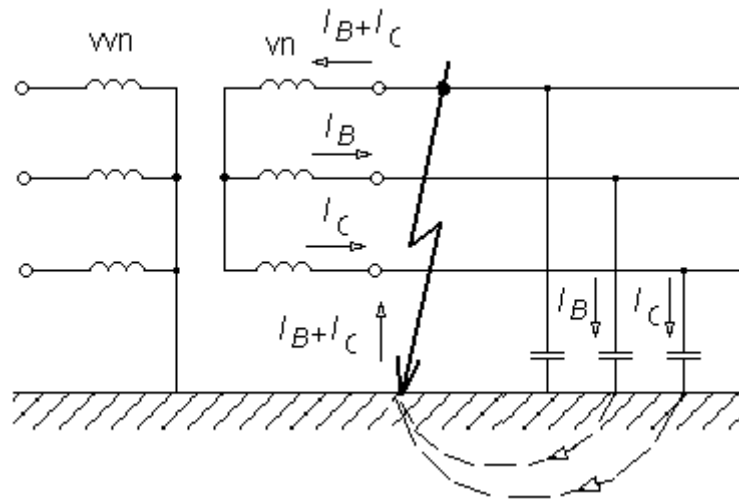
Dojde-li v trojfázové soustavě následkem poruchy ke spojení jedné fáze se zemí, nastává v soustavě s izolovaným uzlem zemní spojení. Při kovovém zemním spojení má postižená fáze potenciál země. Zbývající fáze mají proti zemi sdružená napětí, takže jejich kapacitami procházejí k zemi větší proudy a vracejí se místem zemního spojení a postiženou fází zpět ke zdroji. Kapacitní proudy v neporušených fázích při kovovém zemním spojení jsou:

$$I'_{c1} = I'_{c2} = I'_c = \varpi * C * U_s = \sqrt{3} * \varpi * C * U_f = \sqrt{3} * I_c \quad (A)$$

Poruchový kapacitní proud procházející místem zemního spojení a postiženou fází je dán fázorovým součtem proudů I'_{c1} a I'_{c2}

$$I_{por} = \sqrt{3} * I'_c = 3 * \varpi * C * U_f = 3 * I_c \quad (A)$$

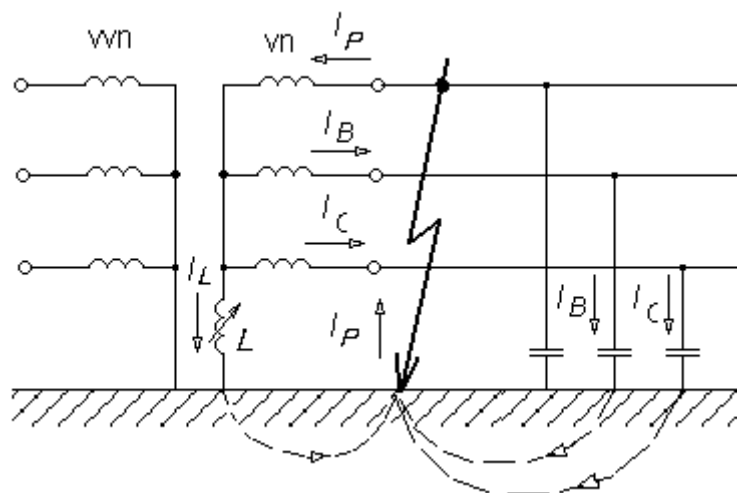
Velikost poruchového kapacitního proudu při kovovém zemním spojení je trojnásobná oproti zemním kapacitním proudům při bezporuchovém provozu.



Obr. 1 Schématické znázornění sítě s izolovaným uzlem při zemním spojení

Sítě s uzlem uzemněným přes indukčnost

Sítě VN jsou v našich podmínkách ČR provozovány většinou s uzlem uzemněným přes tlumivku. Princip spočívá v tom, že mezi uzlem napájecího transformátoru a zem je zapojena proměnná indukčnost nazývaná zhášecí tlumivka. Indukčnost se seřídí tak, že při vzniku zemního spojení protéká cívkou co do velikosti stejný jalový proud jako je poruchový kapacitní proud sítě, ale s opačným smyslem. V místě zemního spojení dochází ke kompenzaci těchto dvou proudů a k jeho proudovému odlehčení.



Obr. 2 Schématické znázornění vlivu zhášecí tlumivky

Podle velikosti přechodového odporu v místě zemního spojení se rozlišují:

- a) odporová zemní spojení – hodnota přechodového odporu je řádově několik set ohmů,
- b) kovová a oblouková zemní spojení – hodnota přechodového odporu je jen několik ohmů, zpravidla zanedbatelná.

Podle doby trvání těchto stavů se rozlišují:

- a) mžiková zemní spojení – do 0,5 s
- b) krátkodobá zemní spojení – do 5 min.
- c) přerušovaná zemní spojení – mžiková nebo krátkodobá zemní spojení několikrát po sobě se opakující
- d) trvalá zemní spojení – až do doby odstranění, zpravidla několik hodin.

Pro nulovou hodnotu poruchového proudu je potřebná velikost indukčnosti tlumivky dána vztahem:

$$L = \frac{1}{3\omega^2 C}$$

kde C je fázová kapacita izolované sítě.

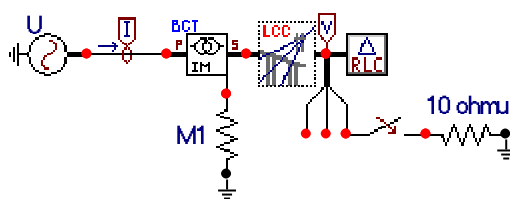
3. Vytvoření modelu bez použití tlumivky

Modelování zkratů a zemních spojení se dá provést pomocí programu EMTP-ATP. Název programu je **ElektroMagnetic Transients Program** a byl vyvinut v USA v Bonneville Power administration (BPA), úřadu U.S. Department of Energy, v městě Portland, státě Oregon a v 80. letech ho upravil Dr. W. S. Meyer a označil ATP (**Alternative Transients Program**). Používá se v elektrotechnickém průmyslu přechodných elektromagnetických dějů. Pro grafické znázornění vypočtených průběhů existuje řada post procesorů jako PlotXY, PCPlot, TPPlot, GTPPlot aj. Základní program a podpůrné programy se stále vyvíjejí a pracuje s nimi celá řada pracovišť na světě, která jsou spojena elektronickou konferencí internetu. Knihovna programu obsahuje lineární i nelineární modely prvků obvodu a program je doplněn o procedury jako Bctran pro vygenerování parametrů modelu transformátoru, nebo Line Constants a Cable Constants resp. Parameters pro vygenerování parametrů vedení, jen zadáním rozměrů a použitých materiálů a požadovaného modelu vedení (až po frekvenčně závislý model vedení s rozprostřenými parametry) a další procedury. Možnosti hybridních počítačů dané procedurou TACS (Transient Analysis of Control Systems) jsou v současnosti vytlačovány jazykem MODELS, kterým lze dále rozšířit možnosti programu ATP doplněním vlastních modelů.

Obvod byl sestaven z prvků programu EMT-ATP. Zdroj byl napěťový transformátor 110/22kV 40MVA v zapojení Dy. Vedení bylo při řešení zemního spojení modelováno pomocí prvku Line/Cable pí článkem a skin efektu s délkou 15 km. Zátěž byla volena v zapojení do trojúhelníku s parametry

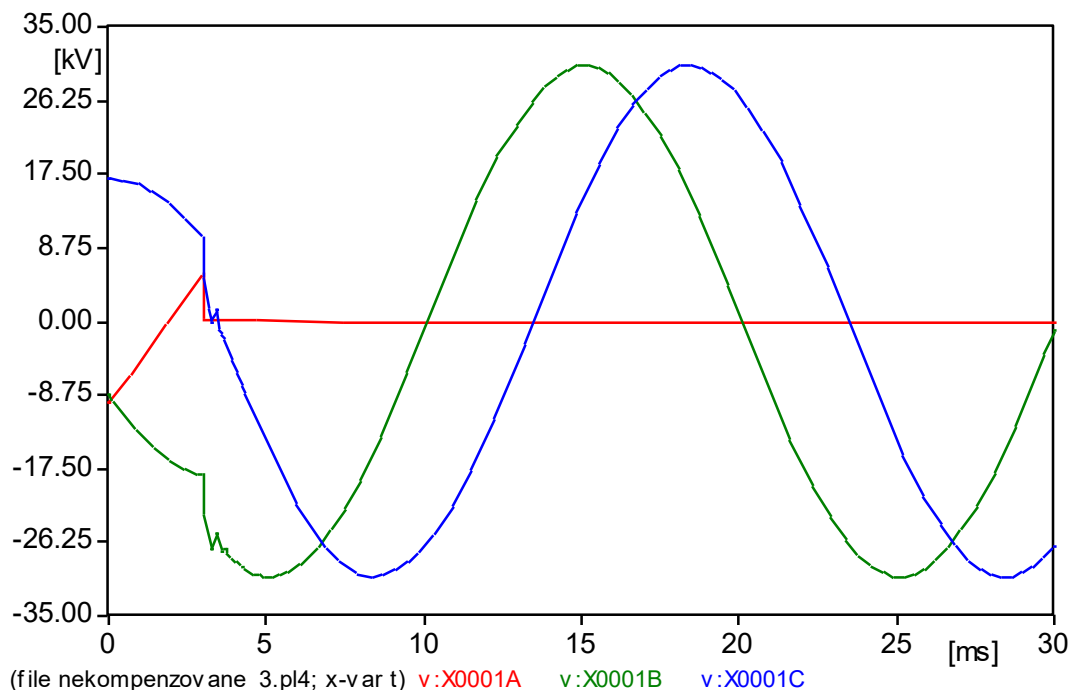
$$R_1 = R_2 = R_3 = 600\Omega$$

Odpor místa zemního spojení byl zvolen 10 Ω. Do obvodu byly přidány měřící transformátory proudu a napětí.

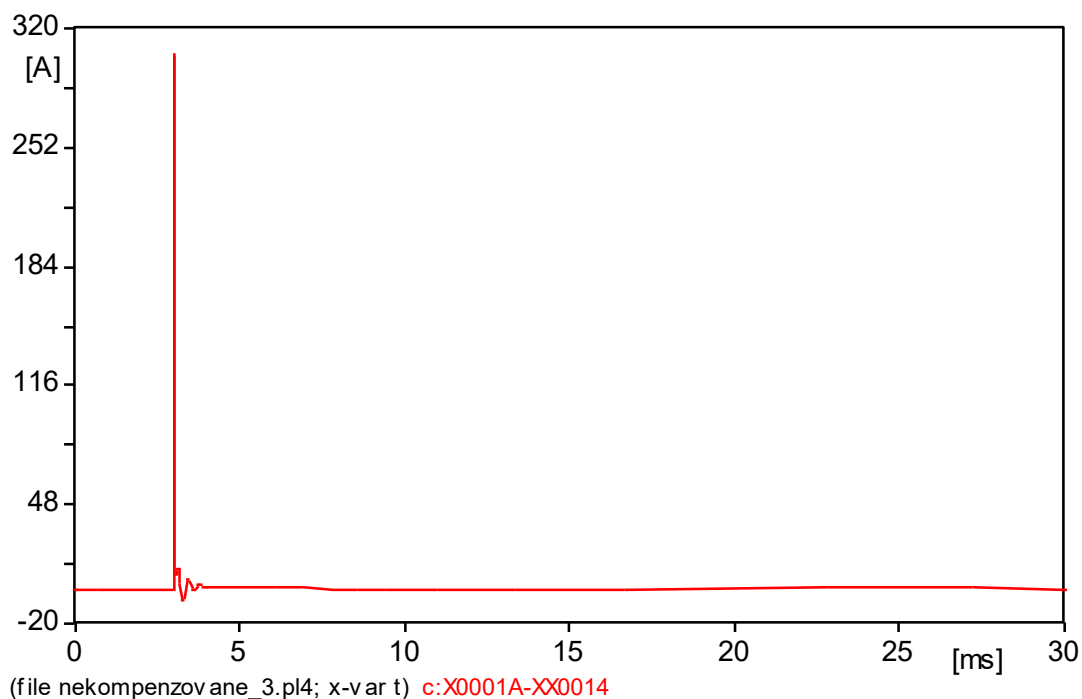


Obr.3 Obvod sítě s izolovaným uzlem při zemním spojení

Takto sestavený a nadefinovaný obvod byl programem přepočítán a byly vygenerovány následující grafy průběhu napětí a proudu v místě zemního spojení:



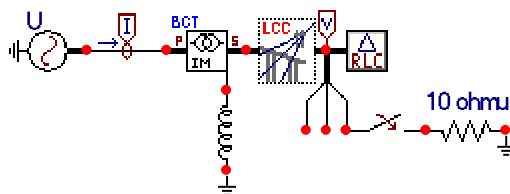
Obr. 4 Průběh napětí v místě zemního spojení



Obr.5 Průběh nekompenzovaného napětí poruchového proudu při zemním spojení

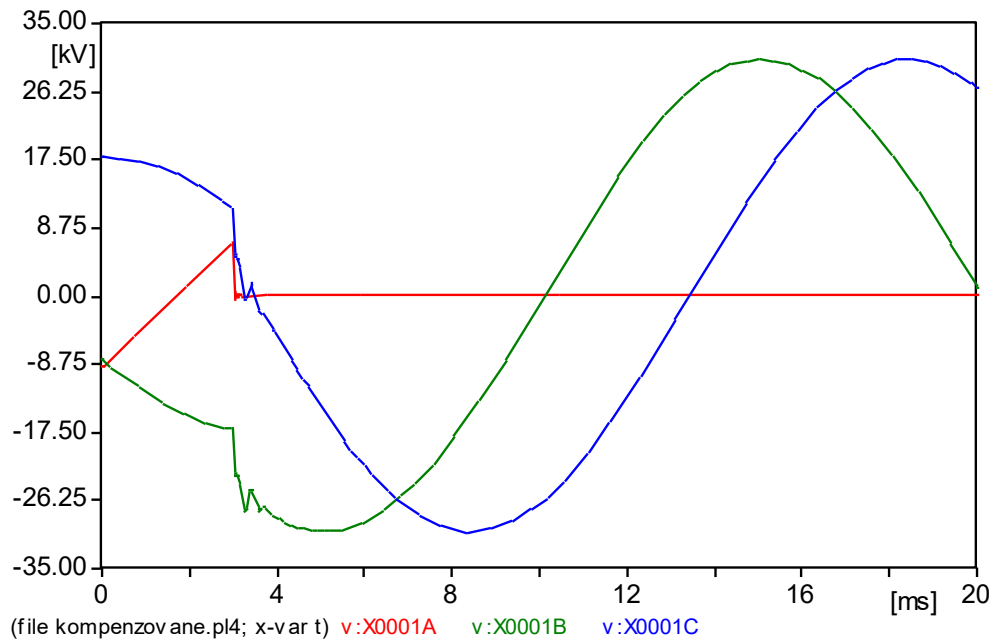
4. Vytvoření modelu s kompenzační tlumivkou

Následně byl sestaven stejný model, akorát s tím rozdílem, že transformátor byl nepřímo uzemněn na straně vn přes tlumivku s indukčností 4,87 H. Schéma modelu je na obr. 6.

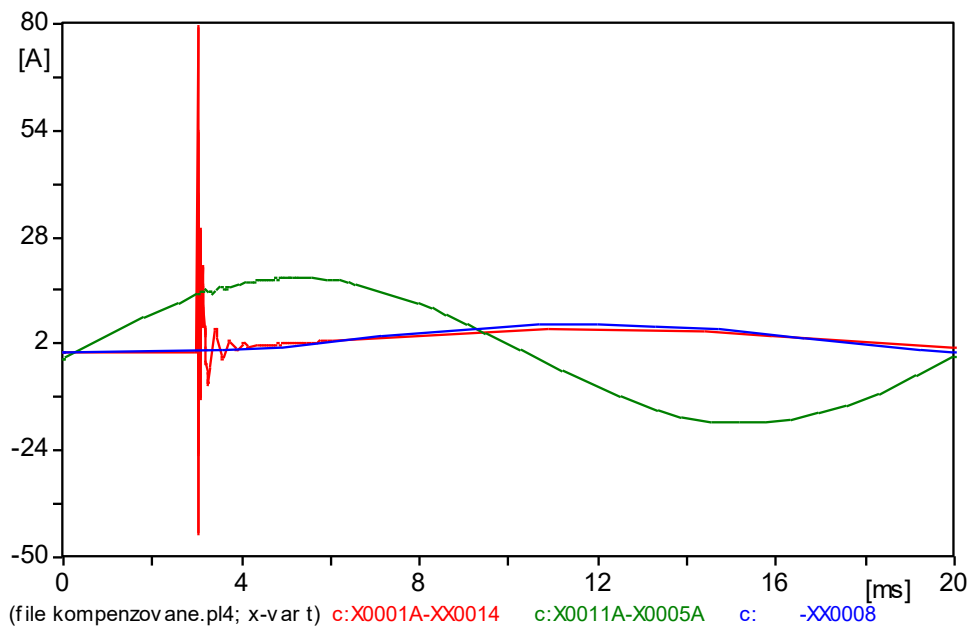


Obr.6 Obvod zemního spojení s použitím zhašecí tlumivky

Takto sestavený a nadefinovaný obvod byl programem EMTP-ATP přepočítán a byly vygenerovány následující grafy průběhu napětí a proudu v místě zemního spojení:



Obr.7 Průběh napětí v místě zemního spojení s kompenzací



Obr. 8 Průběh kompenzovaného poruchového proudu při zemním spojení

5. Závěr

V prostředí ATP můžeme modelovat přechodové děje. Trojfázové elektrizační soustavy se mohou z hlediska zapojení jejich uzlu provozovat různým způsobem. První model byl síť s izolovaným uzlem. Při přímém uzemnění uzlu došlo ke

spojení první fáze (v modelu označení „A“) se zemí. Z modelu vidíme, že při zemním spojení fáze A napětí této fáze spadne na nulu a proud vystoupí na cca 320A, tím pádem dojde k zatížení sítě, než zapůsobí zkratová ochrana. Druhý model byl vytvořen s tím rozdílem, že fáze A byla uzemněna přes tlumivku. Z výsledků je vidět, že průběh napětí je stejný jako u prvního modelu. Průběh proudu se ale liší. Proud ve fázi A tekoucím zemním spojením je výrazně menší a v modelu vyšel 80A. Programem EMTP-ATP se dají namodelovat jednotlivé přechodové stavy elektrizačních soustav. Tímto programem můžeme modelovat a simulovat zpětné trakční proudy při jízdě HDV jak na stejnosměrné, tak i na střídavé trakci.

Literatura

- [1] Doc. Dr. Ing. Velešlav Mach: Model v ATP a MODES, osobní stránky dostupné z: <https://homel.vsb.cz/~mah30/>.
- [2] TOMAN, Petr. Provoz distribučních soustav. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [3] WAHLROOS, Ari a Janne ALTONEN. COMPENSATED NETWORKS AND ADMITTANCE BASED EARTH-FAULT PROTECTION [online]. Finland, 2011 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/509d776e7bdcc425c1257847004468f4/Compensated%20networks%20and%20admittance%20based%20earth%20fault%20protection_techpub_757370_ENa.pdf. Publikace. Kaunas University of Technology and Aalto University.
- [4] Doc. Dr. Ing. Velešlav Mach: Práce začátečníka s programy MODES a EMTP-ATP dostupný z: <https://homel.vsb.cz/~mah30/>.

Lektorovali:

Ing. Jaroslav Macálka,
Správa železnic, OŘ Brno

Ing. Libor Vaněk,
ELVA - elektrorevize

3. Železniční elektrárny

Roman Štěrba ²

Klíčová slova

elektrárny, energie, trakce, železnice, ÖBB, SBB

Keywords

power plants, energy, traction, railway, ÖBB, SBB

Anotace

Evropská unie vnímá význam udržitelné mobility pro splnění klimatických cílů v dopravě. Změna klimatu a zhoršování životního prostředí představují pro Evropu a celý svět existenciální hrozbu. K překonání těchto výzev vznikla Zelená dohoda pro Evropu, která má Unii transformovat na moderní, konkurenceschopnou ekonomiku, jež účinně využívá zdroje. Nedílnou součástí moderní mobility je elektrická trakce a železniční energetika se dostává do popředí pozornosti. Vojenský konflikt a eskalace cen energií obrátily pozornost k zajištění trakční energie pro železniční dopravu. Konkurenční výhodu mají železniční podniky s vlastními elektrárnami.

Abstract

European Union perceives the importance of sustainable mobility in meeting the climate objectives in transport. Climate change and environmental degradation are an existential threat to Europe and the world. To overcome these challenges, the European Green Deal will transform the Union into a modern, resource-efficient and competitive economy. Electric traction is an integral part of modern mobility, and railway energetics is coming to the fore. War conflict and escalation of energy prices has turned the attention in ensuring tractive energy for railway transport. Railway companies with their own power plants have a competitive advantage.

² doc. Dr. Ing. Roman Štěrba, MBA – absolvent inženýrského a doktorandského studia na Fakultě dopravní ČVUT v Praze (1998), postgraduálního studia na TU Dresden (1996), College of Europe (2010), Cambridge Business School (2019) a vědecko-výzkumných stipendijních pobytů na Katalánské polytechnice Barcelona (1994) a TU Dresden (1998-2002). Docent na Ústavu logistiky a managementu dopravy, Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Pracuje na pozici vedoucího oddělení koncepce a strategie Správy železnic, státní organizace.

Úvod

Na dopravu v Evropské unii (EU) připadá čtvrtina skleníkových plynů a tento podíl stále roste. Zelená dohoda pro Evropu usiluje o 90% snížení těchto emisí do roku 2050 na cestě ke klimatické neutralitě. Zelená dohoda pro Evropu a její občany formuluje odhodlání Evropské komise (EK) řešit problémy způsobené změnou klimatu a životního prostředí. 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 dopravním prostředkům, na které jsou v současnosti zvyklí. Prioritou bude přesun významné části vnitrozemské nákladní přepravy (75%) ze silnic na železnici a vodní cesty. K tomu budou třeba opatření k navýšení kapacity železnic.[1] [2]

Elektrická trakce na železnici je bezemisní mobilitou. Je však třeba vzít v úvahu, v jakých elektrárnách se proud vyrábí. V rámci opatření směřujících k dosažení cíle udržitelné mobility zavedla EK tzv. taxonomii³ – systém, který stanoví míru environmentální udržitelnosti ekonomických činností. Podle taxonomie se řídí rozdělování investic na podporu přechodu k čistým energiím. Nově jsou v taxonomii dočasně a za specifických podmínek zahrnuty jako udržitelné zdroje i jaderná energie a zemní plyn.

V Evropě existují železniční podniky, které disponují vlastními elektrárnami, což je vedle odolnosti kritické infrastruktury i nemalá konkurenční výhoda v podmínkách rozkolísaného trhu s energiemi. A právě na železniční elektrárny je zaměřen tento příspěvek.

1. Železniční elektrárny v Českých zemích

Železniče v Českých zemích vznikaly v době Rakouska-Uherska. Vývoj drah se po vzniku Československa ubíral autonomně a na příkladu železničních elektráren lze posoudit, zda vždy strategicky správně z pohledu jejich resilience, tedy odolnosti, schopnosti vzdorovat nepříznivému vývoji, zvládnání nepříznivé situace a překonávání excesů na trzích.

A. BECHYŇKA

Patrně nejznámější železniční elektrárna v českých zemích byla v Táboře na břehu Lužnice poblíž železničního mostu. Byla postavena v letech 1902-1903 v neorenesančním stylu. Jejím autorem byl významný český vynálezce a podnikatel František Křižík. Elektrárna v Táboře se začala stavět společně s železniční dráhou Tábor - Bechyň. Bechyňská dráha byla první železniční dráhou ve střední Evropě, která byla od počátku stavěna i provozována jako elektrická. Elektrárna měla přes den posilovat proud na dráze a v noci zajišťovat osvětlení města Tábora. Tepelná elektrárna disponovala čtveřicí sdružených stojatých parních strojů na předeřátou páru o výkonech 100, 2 x 120 a 300 koňských sil, které poháněly celkem sedm

³ <https://eu-taxonomy.info/>

dynam na stejnosměrný proud. Čtveřice generátorů dávala napětí 1400 V a trojice 500 V. Šlo o výrobky firmy František Křížík z let 1903 až 1908.



Obrázek č. 1: Budova železniční elektrárny v Táboře Zdroj: [3]

Elektrárna u řeky byla v roce 1929 modernizována. Staré parní stroje nahradily naftové motory, jeden parní stroj byl však ponechán jako záložní. Došlo k přemístění dynamu, osazen byl nový transformátor a rotační měnič pro stejnosměrný proud. Další opravy se prováděly před druhou světovou válkou v roce 1938. Elektrárna přestala fungovat pravděpodobně roku 1959, poté byla přestavěna na uhelnou a později plynovou kotelnu, v letech 2006-2012 sloužila jako záložní zdroj pro rozvod tepla. V současné době slouží objekt pouze jako skladiště. Na budovu vč. pozemku se vztahuje památková ochrana. Objekt původně tvořily čtyři místnosti – kotelna, strojovna, akumulátorovna a skladiště.[3]



Obrázek č. 2: Osobní vlak vedený strojem E426.0001 (123.001) opouští stanici Bechyně dne 9. května 2020 Zdroj: autor

B. LIPENKA

Podobný příběh „ostrovni“ elektrizované dráhy má "Lipenka". Stavba 22 km dlouhé trati byla zahájena v roce 1909 společností "*Hohenfurth elektrische Lokalbahngesellschaft*". Trasa "Vyšebrodské elektrické místní dráhy" končí ve stanici Lipno nad Vltavou (dříve Lippnerschwebe/Lipenský zdvih), trať odtud vychází severním směrem do údolí Vltavy a přes zastávku Čertova Stěna (dříve stanice Steindlhammer) a zastávku Loučovice (dříve St. Prokop/ Svatý Prokop) směřuje do stanice Loučovice (dříve Kienberg-Moldaumühl/ Loučovice - Vltavský mlýn). Železnice dále vede do stanice Vyšší Brod klášter (Hohenfurth Stift), ve které bylo kromě stanice zřízeno depo pro vozidla dráhy. Po té trať překonává řeku Vltavu a na jejím pravém břehu se nachází zastávka Vyšší Brod (dříve stanice Hohenfurth). Trať odtud vede společně s řekou do zastávky Herbertov (původně Obermühl-Gerbertschlag dříve Horní Mlýn - Hebertov) a tady opouští údolí Vltavy a stoupá do stanice Rožmberk n. Vlt. (Rosenberg a. d. Moldau), a pak se přes zastávky Černý les (Rosenberg-Schwarzwald, zrušena v roce 1955) a Jenín (Kodestschlag) dostává až do koncové stanice Rybník (Zartlesdorf dříve Certlov), kde se napojuje na magistralní trať České Budějovice - Linec.

Nedaleko Vyššího Brodu v obci Horní Mlýn se nacházela vodní elektrárna. Projektanti od počátku počítali s elektrickým provozem, což je vidět na trasování a sklonových poměrech, maximální stoupání dosahuje až 31,7‰ (v km 17,3) a minimální poloměr oblouků je 100 m.

Původní projekt elektrizace pocházel z konstrukční kanceláře F. Křížíka, ale němečtí koncesionáři rozhodli o tom, že elektrizaci provede firma Siemens-Schuckert. Pro osobní dopravu byla trať slavnostně uvedena do provozu dne 17. prosince 1911. První vlak však po trati projel už 18. října 1911, byl to nákladní vlak z Certlova (nyní Rybník) do Loučovic. Napájecí napětí 1280 V bylo dáno výkonem elektrárny v Horním Mlýně. Ve své době to bylo velmi neobvyklé, protože na ostatních podobných dráhách k.k. StB bylo použito napětí 500-800V. V elektrárně byla instalována jedna Francisova turbína, která pracovala s vodním spádem 3,65m a průtokem vody 5,2 m³/s. Tato turbína poháněla řemenovými převody dvě dynama, každé o výkonu 100 kW při 950 ot/min. a jmenovitém napětí 1280 V. V elektrárně byl také umístěn akumulátor s 577 články, který sloužil pro vyrovnávání proudových špiček trakčních odběrů. Pro případ nedostatku vody byl v elektrárně umístěn parní stroj o výkonu 125 kW při 190ot/min, který mohl pohánět obě dynama. Původní trakční vedení bylo koncipované jako prosté s pomocným příčným lanem na konzole. Trolejový drát Cu 50 mm² byl pomocí závěsů z pryže zavěšen na příčný pozinkovaný drát, který byl pomocí porcelánových izolátorů přichycen k ocelové konzole. Konzoly byly namontovány na stožáry kruhového průřezu z modřínového dřeva. V úseku s největším stoupáním mezi Čertovou Stěnou a Loučovicemi byla použita dvojitá trolej a proto až sem bylo nataženo zesilovací vedení z elektrárny.

Poválečné období bylo pro dráhu velmi složité, nejdříve ji postihly živelné pohromy v podobě velké vody. V lednu 1947 postihla další katastrofa elektrárnu v Horním Mlýně, která kompletně vyhořela. Elektrický provoz byl přerušen až do září

1948, kdy byla zprovozněna nová měnárna ve Vyšším Brodě (usměrňovač 1200V, 2x 250A). V padesátých letech v souvislosti s výstavbou Lipenské přehrady byla celá trať rekonstruována. Za své vzalo původní trakční vedení na dřevěných stožárech, které nahradilo nové řetězovkové na kovových stožárech. Bylo zrušeno původní nákladiště v Lipně na pravém břehu Vltavy a současně byla postavena nová zastávka a nákladiště na levém břehu. V roce 1956 byly ve Vyšším Brodě a Rybníku vybudovány dvě nové měnárny a původní napájecí napětí 1280 V resp. 1200 V bylo zvýšeno na 1500 V. Unikátní stejnosměrný napájecí systém "Lipenky" zanikl v souvislosti s elektrizací trati České Budějovice-Horní Dvořiště systémem 25 kV 50 Hz.



Obrázek č. 3: Křižování osobních vlaků vedených stroji 210.058 a 210.045 ve stanici Vyšší Brod dne 8. srpna 2021 Zdroj: autor

C. SPRÁVA ŽELEZNIC

Správa železnic je ve smyslu energetického zákona zčásti konečným odběratelem elektřiny, zčásti provozovatelem lokální distribuční soustavy (LDS), který zajišťuje dodávku elektřiny pro externí subjekty na železnici. LDS je vymezena na vstupu předávacími místy mezi sítěmi LDS a nadřazených distribučních soustav ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Distribuce, a.s. a PREdistribuce, a.s. Předávací místa mezi těmito sítěmi jsou realizovány na napěťových hladinách nízkého napětí (NN), vysokého napětí (VN) a velmi vysokého napětí (VVN). Správa železnic ročně zajišťuje 1,3 TWh trakční elektřiny. Na síti Správy železnic byl v roce 2021 realizován hrubý dopravní výkon 59,9 mld. hrtkm, z čehož 84,6% bylo v elektrické trakci. Z vlakového výkonu celkem 172,3 mil. vlkm bylo 56,4% ujetu v elektrické trakci. [9]

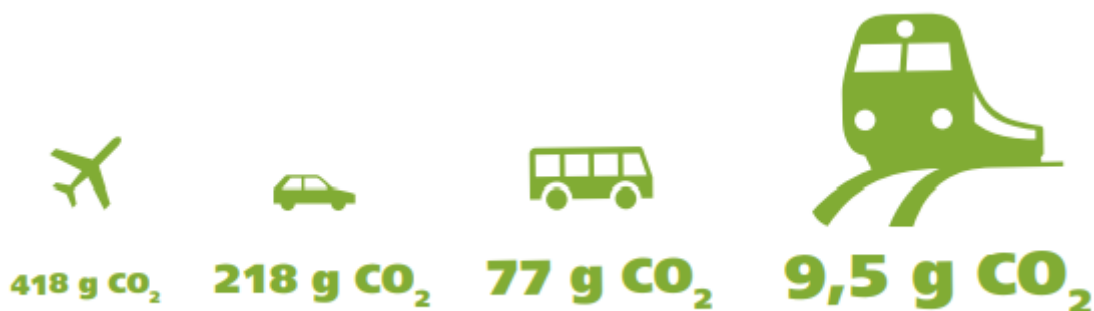
Správa železnic momentálně posuzuje více než 80 objektů (nádražních, administrativních nebo technologických budov) na vhodnost umístění fotovoltaických elektráren (FVE) na jejich střechy. Jedná se například o výpravní budovy ve stanicích Ústí nad Labem-Střekov, Pardubice hl. n., Svitavy, Rudoltice v Čechách, Břeclav, Veselí nad Moravou, České Velenice a Praha-Běchovice,

administrativní budovy v Olomouci a Hradci Králové, nový dopravní pavilon v Hněvicích nebo trafostanici T1 v Třebušicích a další. Správa železnic by při instalaci FV panelů na tyto objekty chtěla využít vyhlášený dotační program Ministerstva průmyslu a obchodu s názvem „Fotovoltaické systémy s/bez akumulace“ – II. výzva. Plánovaný výkon FVE na střechách je 1937,96 kWp. Vedle FVE na střechách prověřuje Správa železnic i lokality téměř 20 brownfieldů s potenciálem výkonu 51,205 MWp.

Pilotní instalaci FVE zrealizovala Správa železnic na střeše výpravní budovy železniční stanice Děčín-východ. Tamní FVE má instalovaný výkon 24 kWp. Z dosud naměřených dat vyplývá, že za den vyprodukuje v průměru 81,5 kWh. Výroba elektřiny je velmi závislá na roční době a aktuálním počasí, denní výsledky se pohybují od minimálně 15,9 kWh až po dosud maximální hodnotu ve výši 141,2 kWh. Při realizaci projektu získali zaměstnanci Oblastního ředitelství Ústí nad Labem nemalé zkušenosti s touto problematikou, na základě kterých doporučují FVE realizovat v režimu P+R jedním vybraným dodavatelem, který elektrárnu postaví na klíč včetně projektu.[7]

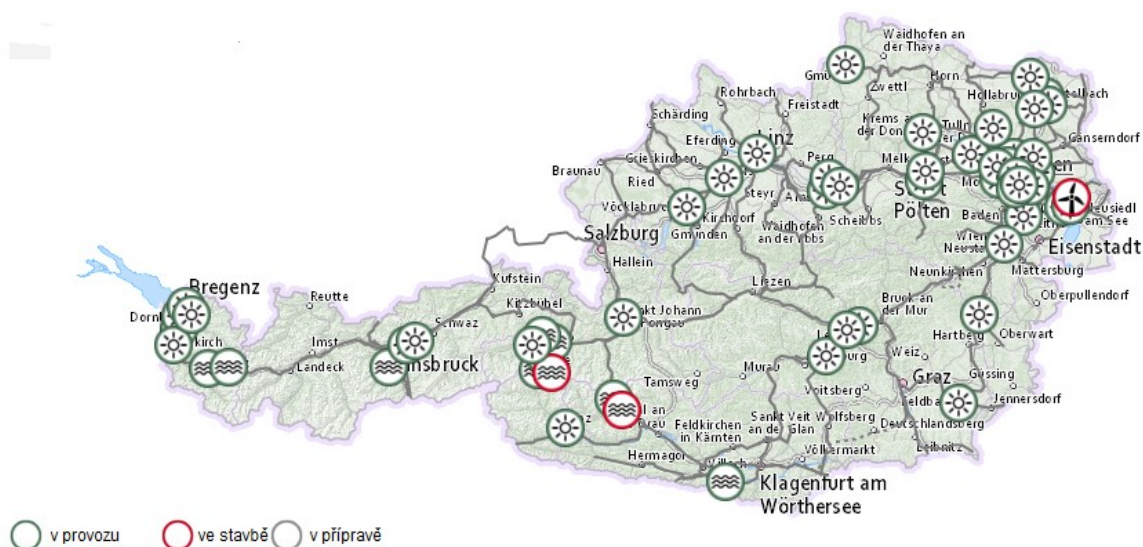
2. Státní železniční elektrárny v Rakousku

Rakouský koncern ÖBB provozuje prostřednictvím své dceřiné společnosti ÖBB Infrastruktur 4 965 km tratí, z nichž je téměř 78% elektrizováno. Na síti tratí ÖBB Infrastruktur se loni realizoval ujetý výkon 156,6 mil. vlkm, z toho 87% vlaky dopravce ÖBB a hrubý dopravní výkon 78,7 mld. hrtkm, z toho 75% vlaky dopravce ÖBB.



Obrázek č. 4: Údaje ÖBB o emisích CO₂ na 1 osobo-km přepravy Zdroj: [5]

ÖBB Infrastruktur provozuje 9 vodních elektráren, 45 fotovoltaických zdrojů (z toho 3 FVE s kmitočtem 16,7 Hz), 7 frekvenčních měničů, 2 064 km vedení 110 kV / 132 kV, 69 km vedení 55 kV a 62 rozveden. V roce 2021 vyrobily elektrárny ÖBB 749 GWh elektrické energie při celkové trakční spotřebě 1 763 GWh. Téměř 43% trakční elektřiny si ÖBB vyrobí sama a z obnovitelných zdrojů.



Obrázek č. 5: Rozmístění elektrárenských zdrojů ÖBB Zdroj: [6]

Vodní elektrárna ÖBB Infrastruktur ve Fulpmes

Vodní elektrárna ÖBB Infrastruktur ve Fulpmes vznikla v letech 1977 až 1983 cca 20 km jižně Innsbrucku v obci Fulpmes v údolí Stubai. K výrobě elektřiny využívá říčku Ruetz. V provozu nahradila elektrárnu ÖBB Schönberg z roku 1912. Technologie je použita podle švédského vzoru, kdy turbíny jsou umístěny o 182 m níže kolmo pod povrchem. Řešení minimalizuje rozsah stavebních zásahů v krajině. Elektrárna ročně vyrobí kolem 80 GWh elektřiny, výkon soustrojí se 2 turbínami je 15,4 MW. Průtok vody je 10 m³/s. Vodní elektrárna ze zákona nesmí využívat objem celého vodního toku. Produkce elektrárny odpovídá spotřebě rakouské spolkové země Vorarlberg. Elektrárny ÖBB Infrastruktur řídí dispečer v Innsbrucku.



Obrázek č. 6: Vodní elektrárna ÖBB Infrastruktur ve Fulpmes Zdroj: Autor

Lokalita	Stav	Kmitočet	Výkon	Zprovozněno
Tauernmoos	ve stavbě	50 Hz	170 MW	2025
Obervellach II	ve stavbě	16,7 Hz	37 MW	2023
Uttendorf II	v provozu	16,7 Hz	68 MW	1991
Fulpmes	v provozu	16,7 Hz	15,4 MW	1983
Braz	v provozu	16,7 Hz	30 MW	1954
Uttendorf I	v provozu	16,7 Hz	27 MW	1950
Schneiderau	v provozu	16,7 Hz	35,4 MW	1940
Obervellach	mimo provoz	16,7 Hz	15,3 MW	1929
Enzingerboden	v provozu	16,7 Hz	80 MW	1929
Spullersee	v provozu	16,7 Hz	37,5 MW	1925
Rosenbach	v provozu	50 Hz	1 MW	1902

Tabulka č. 1: **Přehled vodních elektráren ÖBB Infrastruktur** Zdroj: [6]



Obrázek č. 7: K elektrické trakci v sousedním Rakousku patří i železniční elektrárny. Zdroj: ÖBB Fulpmes, prezentace

Vedle vodních elektráren se ÖBB Infrastruktur věnují i rozvoji fotovoltaických zdrojů. Vůbec první FVE s kmitočtem 16,7 Hz zprovoznily ÖBB u obce Wilfleinsdorf v roce 2015.

Lokalita	Stav	Kmitočet (Hz)	Výkon (kWp)	Roční produkce	Zprovoznění
Střecha log. centra	zk. provoz	16,7	2031,3	2200	2021
Provozní hala Wien Matzleinsdorfer Platz	v provozu	50	1399,5	1469	2021
Volní plocha Ladendorf	zk. provoz	16,7	1200	1320	2021
Volní plocha Kottlingneusiedl	v provozu	16,7	1130	1240	2021
Dílny Kledering	V provozu	50	459	482	2021
Autobusový terminal Lienz	V provozu	50	112	118	2021
Provozní budova Wolfurt	V provozu	50	95,5	100	2021
ÖBB Campus St. Pölten	V provozu	50	94	99	2021
Provozní budova Hall	V provozu	50	84	88	2021
Provozní budova Linz	V provozu	50	74,6	78	2021

Lokalita	Stav	Kmitočet (Hz)	Výkon (kWp)	Roční produkce	Zprovoznění
Nástupiště Rankweil	V provozu	50	63	66	2021
Střecha kolárny Bruck/Leitha	V provozu	50	40	42	2021
Provozní budova Hall	V provozu	50	34,5	36	2021
Provozní budova Wolfurt	V provozu	50	34	36	2021
Stavědlo Ebreichsdorf	V provozu	50	25,9	27	2021
Nástupištní střecha Sierndorf	V provozu	50	16,8	18	2021
Opravná kontejnerů Terminal St. Michael	V provozu	50	12,6	13	2021
Carport Leoben	V provozu	50	11,3	12	2021
Výpravní budova Friedberg	V provozu	50	11,2	12	2021
Obytná budova Wr. Neustadt	V provozu	50	5,2	5	2021
Hala elektrických lokomotiv Westbahnhof	V provozu	50	230,1	256	2020
Dílny Westbahnhof	V provozu	50	177,5	211	2020
Parkoviště Wels	V provozu	50	186,1	204	2020
Provozní budova Wörth	V provozu	50	199,9	198	2020
Provozní budova Amstetten	V provozu	50	110,2	118	2020
Parkoviště Krems	V provozu	50	69,7	72	2020
Staubwagenhalle Amstetten	V provozu	50	62,4	66	2020
Učiliště Knittelfeld	V provozu	50	56,4	59	2020
Výpravní budova Hohenems	V provozu	50	48,3	49	2020
Ústřední stavědlo Amstetten	V provozu	50	30,8	33	2020
Protihlukové zdi Tullnerfeld	V provozu	16,7	30	30	2020

Lokalita	Stav	Kmitočet (Hz)	Výkon (kWp)	Roční produkce	Zprovoznění
Správní budova Westbahnhof	V provozu	50	24,1	27	2020
Zastřešení Mistelbach	V provozu	50	23,4	25	2020
Výpravní budova Puchheim	V provozu	50	21,1	24	2020
TNS Mistelbach	V provozu	50	17,3	17	2020
Obytná budova Bischofshofen	V provozu	50	7,9	8	2020
Obytná budova Uttendorf	V provozu	50	5,1	5	2020
Střecha budovy FU Auhof	V provozu	16,7	80	80	2019
Zastřešení B&R Gmünd	V provozu	50	9,6	10	2019
Budova terminálu Wolfurt	V provozu	50	7	7	2018
Volná plocha Wilfleinsdorf	V provozu	16,7	1000	1200	2015
Dílny TS Jedlersdorf	V provozu	50	40	42	2014
Zastřešení parkoviště Feldbach	V provozu	50	103,5	109	2013
Zastřešení Wien-Hbf.	V provozu	50	141,1	148	2012
Bývalé školní dílny Wien-Penzing	V provozu	50	11,5	12	2012

Tabulka č. 2: Přehled FVE ÖBB Infrastruktur Zdroj: [6]

Vedle uvedení do provozu FVE s kmitočtem 16,7 vrcholí letos práce na spuštění prototypu větrné elektrárny s kmitočtem 16,7 Hz o výkonu 3 MW a roční produkcí 6,75 GWh u obce Höflein, která bude přímo dodávat do trakční soustavy magistrální dráhy Vídeň – Budapest.

Lokalita	Stav	Kmitočet	Výkon	Roční produkce	Zprovoznění
Höflein	ve stavbě	16,7	3 MW	6,75 GWh	2022

Tabulka č. 3: Přehled větrných elektráren ÖBB Infrastruktur Zdroj: [6]

Koncern ÖBB nastoupil na cestu ke klimatické neutralitě své činnosti. Prvním krokem je klimaticky neutrální železniční doprava společností koncernu ÖBB do roku 2030. Celý koncern ÖBB, tzn. včetně budov, bude klimaticky neutrální v letech 2040 až 2050. Podle šéfa koncernu ÖBB Andrese Matthä znamená udržitelnost změnit myšlení tak, abychom již dnes činili vše pro budoucnost.



Obrázek č. 8: Rakouské železnice se v Alpách potýkají s náročnými klimatickými podmínkami Zdroj: autor

3. Státní železniční elektrárny ve Švýcarsku

V roce 2021 vyrobily Švýcarské spolkové dráhy (SBB) 3063 GWh elektrické energie, z toho 2275 GWh spotřebovaly železniční dopravci v elektrické trakci.



Obrázek č. 9: Elektrická trakce pomáhá ve Švýcarsku zvládat náročné sklonové poměry na tratích Zdroj: <https://company.sbb.ch>

SBB sází na vlastní vodní elektrárny, které produkují obnovitelnou energii:

Vodní elektrárna Amsteg

Produkce trakční energie pro Severo-jížní osu a Gotthardský úpatní tunel. Leží v obci Silenen v kantonu Uri. Do provozu byla uvedena v roce 1998. Celkový výkon je 120 MW, roční produkce 450 GWh, převýšení vodního zdroje 280 m, průtok 50 m³ /sekundu. 3 vertikální peltonovy turbíny, 3 synchronní generátory se zdánlivým výkonem 3x 50 MVA.

Vodní elektrárna Châtelard

Elektrárna Châtelard přečerpávací elektrárnou a leží v obci Finhaut v kantonu Wallis. Od stavby v letech 1937 až 1952 nedoznala změn. Vzhledem k rostoucí spotřebě trakční elektřiny vystavěly SBB v roce 1952 přehradu na Vieux Emosson. Nová přehrada rozšířila objem vody o 12,5 mil. m³. Dále SBB v roce 1972 postavily druhou centrálu a přečerpávání je možné kombinovat. Z vodního díla Châtelard je voda turbínami hnána do vodní elektrárny Vernayaz. Celkový výkon přečerpávací elektrárny činí 102 MW s roční produkcí 160 GWh. Převýšení vodního sloupce je 811 m, průtok 16 m³/sekundu. Instalovány jsou 2 peltonové horizontální a 2 vertikální turbíny s 334 otáčkami za minutu, resp. 501 otáčkami za minutu. 4 synchronní generátory mají zdánlivý výkon 2x 11 MVA a 2x 40 MVA.

Vodní elektrárna Etzelwerk

Vodní přečerpávací elektrárna Etzelwerk zajišťuje trakční energii pro východní a střední Švýcarsko vč. aglomerace Curichu. Dílo postavila v letech 1932 až 1937 společnost Etzelwerk AG pro společné využití SBB a Severovýchodní energetikou (NOK). Od roku 1987 jsou SBB jediným akcionářem Etzelwerk AG. Přehrada má objem 28 000 m³. Tlakové štolky mají délku 2900 m a voda pokračuje dále zdvojeným tlakovým potrubím s délkou 2200 m k turbínám v centrále v Altendorfu.

Celkový výkon díla činí 135 MW, roční produkce 260 GWh. Převýšení 480 m, průtok 34 m³/sekundu. Dílo má 6 peltonových vertikálních turbín a 1 vertikální. 7 synchronních generátorů má zdánlivý výkon 6x 18 MVA a 1x 50 MVA. Tři pětistupňové pumpy mají výkon 14, 18 a 22 MW.

Vodní elektrárna Massaboden

Vodní elektrárna Massaboden s frekvenční měničnou slouží pro napájení trati Lötschberg - Simplon. Postavena byla v roce 1899 kantonem Wallis a po dokončení Simplonského tunelu v roce 1906 dílo převzaly SBB a využívaly ji k trakčnímu napájení tratě Brig - Iselle. V roce 1968 postavily SBB k elektrárně frekvenční měničnou, čímž se dílo stalo jediným místem, kde je elektrárna i měnična SBB.

Průtočná elektrárna má celkový výkon 8 MW a roční produkci 40 GWh. Převýšení 44 m s průtokem 21,5 m³/sekundu. Dvě francisovy horizontální turbíny pohání 2 synchronní generátory se zdánlivým výkonem 4,25 MVA.

Vodní elektrárna Ritom

Z vodního díla Ritom se dodává trakční elektřina pro Gotthardskou dráhu a pro kanton Tessin. Vodní elektrárna Ritom nad obcí Piotta v kantonu Tessin vybudovaná v roce 1917 využívá 50 mil. m³ vody ze stejnojmenné přehrady, která je potrubím o délce 1030 m svedena k turbínám. Instalovaný výkon elektrárny je 44 MW, roční produkce 155 GWh. Převýšení vodního sloupce 850 m s vydatností 6,4 m³/s. V elektrárně jsou 4 peltonovy turbíny a 4 synchronní generátory se zdánlivým výkonem 11 MVA.



Obrázek č. 10: Provozní hala elektrárny Ritom. Zdroj: [8]

Vodní elektrárna Vernayaz

Vodní elektrárna Vernayaz je zdrojem elektřiny pro západní Švýcarsko a kanton Wallis. Elektrárna je druhým stupněm kaskády Barberine a využívá vodu za elektrárnou Châtelard. Tím je voda mezi přehradou Emosson a řekou Rhona optimálně využita pro produkci trakční elektřiny. Vodní elektrárna byla uvedena do provozu v lednu 1928 a výkonově posílena v letech 1974 a 1989. Celkový výkon činí 107 MW, roční produkce 240 GWh, převýšení vodního sloupce 645 m s průtokem 17 m³/s. 4 peltonovy turbíny a 3 synchronní generátory mají zdánlivý výkon 27 / 40 / 40 MVA.

Průtočná vodní elektrárna Rapperswil-Auenstein

Trakční elektřina z elektrárny Rapperswil-Auenstein je určena pro střední Švýcarsko. Po výměně původního generátoru s kmitočtem 50 Hz za nový generátor s kmitočtem 16,7 Hz loni na jaře došlo ke zdvojnásobení produkce elektřiny. Instalovaný výkon činí 42 MW, roční produkce 215 GWh. Převýšení

vodního sloupce je mezi 9,75 a 11,6 m s průtokem 490 m³/s. 2 vertikální kaplanovy turbíny a 2 synchronní generátory 16,7 Hz mají zdánlivý výkon 24 a 30 MVA.

Vodní elektrárna Wassen

Vodní elektrárna Wassen leží v kantonu Uri dodává trakční elektřinu od roku 1949 severojižní koridor. Je tvořena kaskádou na řece Reuss - Göschenen AG (první stupeň) a Amsteg (dolní stupeň). Celkový výkon činí 54 MW, roční produkce 350 GWh. Převýšení vodního sloupce 277 m s průtokem 25 m³/s. Dvě vertikální francisovy turbíny a 2 synchronní generátory mají zdánlivý výkon 30 a 35 MVA.

Vodní elektrárna Nant de Drance⁴

SBB jsou s podílem 36% akcionáři v nové přečerpávací elektrárně Nant de Drance. Stavba začala v září 2008 a první soustrojí bylo do sítě připojeno v srpnu 2020 beteiligt. Všech 6 turbín a generátorů je v provozu od 9. září 2022 a disponují celkovým výkonem 900 MW. V době špičkové spotřeby vyrábí Nant de Drance elektřinu z vodní energie. Když však např. podíl výroby z větrných a solárních elektráren roste, elektrárna přebytečnou elektřinu ukládá přečerpáváním vody do vyšší nádrže Vieux Emosson. Množství energie, které lze ve vodním díle uložit, je asi 20 GWh.

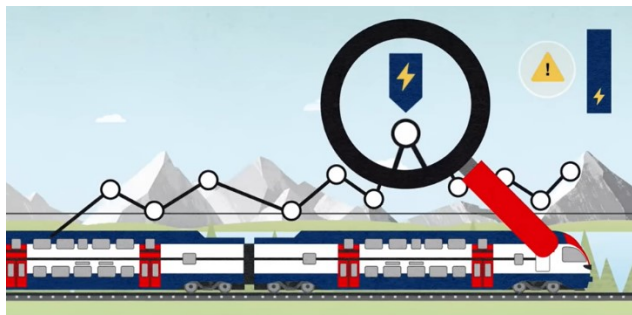


Obrázek č. 11 – Výstavba vodní přečerpávací elektrárna v Nant de Drance.
Zdroj: www.alpiq.com

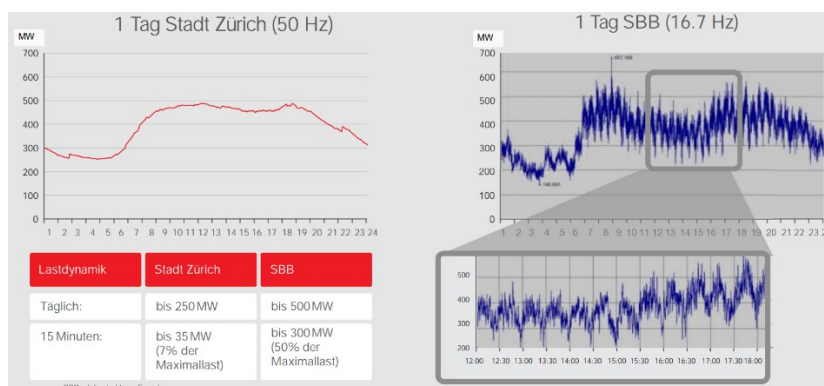
⁴ <https://www.nant-de-drance.ch/>

Management energetické sítě

SBB přešly ve strategii balance energetické sítě od kvantity ke kvalitě. Namísto budování dalších a drahých zdrojů, využívají pokročilý zítěžový software. Při špičkách je softwarově krátkodobě vypínáno elektrické topení ve vlacích a ohřev výměn. Tím dochází k redukci špičkových odběrů a optimalizaci spotřeby vůči produkci. Do roku 2023 chtějí SBB tímto způsobem v celé síti flexibilně regulovat 70 MW. Tím se stávají i vzorem pro veřejnou napěťovou soustavu ve Švýcarsku.



Obrázek č. 12: SW balance produkce a odběrových špiček. Zdroj: [8]



Obrázek č. 13: SW balance zátěže u SBB v porovnání s městem Curych. Zdroj: [8]

Energetická strategie SBB

SBB využívají z 90% trakční energii vyrobenou ve vodních elektrárnách, z toho většinou vlastních. SBB díky tomu patří mezi nejekologičtější železnice Evropy. SBB se zavázaly dosáhnout 100% podílu trakční energie z obnovitelných zdrojů do roku 2025 a tím podpořit Energetickou strategii 2050 spolkové republiky. Energetická strategie SBB je založena na třech opatřeních:

1. Zvýšit energetickou účinnost a uspořit 850 GWh do roku 2030
2. Obnovitelné zdroje energie
3. Nahradit podíl jaderné energie (10%)

Závěr

Evropské železnice čelí bezprecedentním turbulencím na trzích s elektrickou energií, která je prostředkem k dekarbonizaci mobility. Rakouské a Švýcarské dráhy patří k nejvíce soběstačným železnicím v případě trakční elektřiny. Přesto si stanovili ambiciózní cíle k úplné nezávislosti na externích zdrojích a k využití obnovitelných zdrojů.

Literatura

- [1] Sdělení Komise Zelená dohoda pro Evropu. EK. Brusel. 11.12.2019. COM(2019) 640
- [2] Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů. Strategie pro udržitelnou a inteligentní mobilitu – nasměrování evropské dopravy do budoucnosti. EK. Brusel. COM(2020) 789 final.
- [3] Národní památkový úřad. Památkový katalog. <https://pamatkovykatalog.cz/krizikova-elektrarna-19994968>
- [4] Elsner J., Prokeš J., Vychodil P.: Vyšebrodská elektrická místní dráha, ČSVTS 1992
- [5] ÖBB kompakt 2021/22. Zahlen Daten Fakten. Zdroj: https://konzern.oebb.at/dam/jcr:fc4977f4-3af8-4b16-a182-f4aa21e26058/OEBB_Zahlen_2021-22.pdf
- [6] Geschäftsbericht 2021. ÖBB-Infrastruktur AG. Zdroj: <https://infrastruktur.oebb.at/de/unternehmen/investor-relations/jahresfinanzbericht-2021.pdf>
- [7] Cigánek J. Solární panely se postupně objeví na dalších objektech Správy železnic. Moderní železnice. Strana 5. Květen 2022. <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/87039601/Modern%C3%AD+%C5%BEleznice+-+kv%C4%9Bten+2022/318500d0-1030-46ce-9e57-971c639d55dc>
- [8] SBB Energie <https://company.sbb.ch/de/sbb-als-geschaeftpartner/leistungen-evu/energie.html>
- [9] Správa železnic. Statistická ročenka 2021. <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/64057801/Statistick%C3%A1+ro%C4%8Denka+2021/68bdf1c9-2338-4d59-980f-7de431f82e48>

Lektorovali:

Ing. David Kupec,

BorsodChem MCHZ Ostrava, s.r.o.

Ing. Jiří Cigánek, MBA,

Správa železnic

4. Německý přístup v případě přetížení kapacity železniční dopravní cesty

Pavel Purkart ⁵

Klíčová slova

optimalizace, kapacita železniční dopravní cesty, kapacitní analýza, plán na zvýšení kapacity dráhy, Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG)

Keywords

optimization, railway traffic path capacity, capacity analysis, plan to increase railway traffic path capacity, Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG)

Anotace

Přetížení kapacity železniční dopravní cesty je fenoménem, který v odborných kruzích vyvolává velmi časté diskuze. Tuto situaci česká legislativa přitom zná a popisuje – problematika přidělování kapacity dráhy v českých podmínkách je v základu zakotvena v zákoně č. 266/1994 Sb., o drahách, ve znění pozdějších předpisů. Tento zákon v případě překročení kapacity železniční dopravní cesty přikazuje správci infrastruktury zpracovat kapacitní analýzu a navrhnout řešení. Autorovi příspěvku však není známo, že by reálně v českých podmínkách taková situace nastala; vždy je snaha k přidělu v takovém případě přistupovat kompromisem tak, aby byly uspokojivě vyřešeny všechny požadavky. Proto je cílem tohoto příspěvku porovnat český stav se situací v zahraničí, a to konkrétně v Německu, kde jsou běžně kapacitní analýzy prováděny a poté zpracovávány plány na zvýšení kapacity dráhy. V rámci příspěvku je představen německý zákon Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG) a dále plán na zvýšení kapacity železniční trati Wunstorf – Minden.

Annotation

Overloading the railway traffic path capacity is a phenomenon that causes very frequent discussions among professionals. The Czech legislation recognizes and describes this situation – the issue of allocating railway capacity in Czech conditions is basically enshrined in Act No. 266/1994 (Railway Act). This law, in case of overloading the capacity of the railway traffic path, orders the infrastructure manager to process a capacity analysis and propose a solution. However, the author of the post is not aware that such a situation would actually

⁵ Ing. Pavel Purkart, Ph.D., nar. 1992, ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, absolvent magisterského a doktorského studijního oboru Dopravní systémy a technika. Dopravní specialista pro železniční dopravu ve společnosti POVED s. r. o.; specializace: dopravní obslužnost, přepravní vztahy, veřejná hromadná doprava, železniční provoz, tarify ve veřejné dopravě.

occur in Czech conditions; the effort is always to approach the allocation in such a case with a compromise so that all demands are satisfactorily resolved. Therefore, the aim of this article is to compare the Czech situation with the situation abroad, namely in Germany, where capacity analyses are normally carried out and then plans to increase the capacity of the railway traffic path are drawn up. The paper presents the German Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG) and the plan to increase the capacity of the Wunstorf - Minden railway line.

Úvod

Přetížení kapacity železniční dopravní cesty je fenoménem, který v odborných kruzích vyvolává velmi časté diskuze. Tuto situaci česká legislativa přitom zná a popisuje – problematika přidělování kapacity dráhy v českých podmínkách je v základu zakotvena v zákoně č. 266/1994 Sb., o drahách, ve znění pozdějších předpisů [4]. Tento zákon v případě překročení kapacity železniční dopravní cesty příkazuje správci infrastruktury zpracovat kapacitní analýzu a navrhnout řešení. Zákon tak obsahuje mechanismy, jak se postupuje v případě prohlášení dráhy jejím provozovatelem za přetíženou, nastaví povinnosti na straně provozovatele dráhy a v případě, že přidělená kapacita na takové dráze není dopravcem využita, definuje možnost výzvy vůči danému dopravci ke vzdání se přidělené kapacity. Autorovi příspěvku však není známo, že by reálně v českých podmínkách taková situace nastala; vždy je snaha k přidělu v takovém případě přistupovat kompromisem tak, aby byly uspokojivě vyřešeny všechny požadavky (alespoň v osobní dopravě), a to i se zohledněním skutečnosti, že mohou být v takovém případě využity odklonové trasy a že část méně významných přeprav musí být realizována v módu náhradní autobusové dopravy

Proto je cílem tohoto příspěvku porovnat český stav se situací v zahraničí, a to konkrétně v Německu, kde jsou běžně kapacitní analýzy prováděny a poté zpracovávány plány na zvýšení kapacity dráhy.

1. Německá legislativní opora řešení přetížených úseků železničních tratí

V německém případě se aplikuje Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG) (2016) [1]. Zákon definuje dva základní pojmy:

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

Klíčové pro problematiku jsou § 55 Přetížené železniční tratě, § 58 Kapacitní analýza a § 59 Plán na zvýšení kapacity dráhy.

§ 55 Přetížené železniční tratě (výťah a volný překlad ze zákona ERegG)

V případech, kdy nelze žádostem o přidělení kapacity železnice vyhovět v přiměřeném rozsahu ani po koordinaci žádaných tras vlaků a po konzultaci s oprávněnými subjekty, musí příslušný provozovatel dráhy neprodleně prohlásit příslušný traťový úsek za přetížený. Toto se týká také traťových úseků, u nichž lze předpokládat, že jejich kapacita bude v blízké budoucnosti nedostatečná. Prohlášení o přetížení musí být předloženo regulačnímu úřadu a odpovědnému dozorovému úřadu.

Pokud byla železniční trať prohlášena za přetíženou, musí provozovatel dráhy provést kapacitní analýzu podle § 58, jestliže již nebyl představen plán na zvýšení kapacity dráhy.

Přidělovací kritéria musí zohledňovat sociální přínos dopravní služby ve porovnání s jinými dopravními službami, které jsou tím vyloučeny z užívání železnice. Provozovatel dráhy může dát přednost službám veřejné dopravy, pokud je to nezbytně nutné k zajištění odpovídající dopravní obslužnosti. Při stanovení přidělovacích kritérií je potřeba zohlednit význam nákladní dopravy, především u mezinárodní nákladní dopravy.

Pokud provozovatel dráhy prohlásil železniční trať za přetíženou, měl by regulační úřad na žádost oprávněného subjektu stanovit provozovateli dráhy vytvořit a zveřejnit do tří týdnů prioritní kritéria, pokud je to nezbytné k odstranění přetížení. Přidělovací kritéria začínají platit týden po jejich zveřejnění.

§ 58 Kapacitní analýza (výťah a volný překlad ze zákona ERegG)

Účelem kapacitní analýzy přetížených železničních tratí je kromě určení úzkých míst v dopravní kapacitě, která brání úplnému vyhovění žádostem o přidělení kapacity, představení způsobů, díky kterým by mohly být akceptovány další žádosti o kapacitu. V kapacitní analýze musí provozovatel dráhy stanovit důvody přetížení a navrhnout možná krátkodobá a střednědobá nápravná opatření.

Předmětem analýzy je železniční infrastruktura, provozní postupy, charakter různých prováděných železničních služeb a důsledky všech těchto faktorů na kapacitu dráhy. Mezi opatření, která je nutno posoudit, patří zejména objízdné trasy železniční dopravy, odložení termínů služeb železniční infrastruktury, omezení traťové rychlosti a zlepšení železniční infrastruktury.

Kapacitní analýza musí být dokončena do šesti měsíců poté, co je železniční infrastruktura prohlášena za přetíženou.

§ 59 Plán na zvýšení kapacity dráhy (výťah a volný překlad ze zákona ERegG)

Během šesti měsíců od dokončení kapacitní analýzy musí provozovatel dráhy po konzultaci s příslušnými subjekty, jimiž byly přiděleny vlakové trasy na dotčené

přetížené infrastruktury, představit plán na zvýšení kapacity dráhy příslušnému regulačnímu a dozorovému úřadu. V něm jsou uvedeny:

- *důvody přetížení,*
- *očekávaný budoucí vývoj provozu,*
- *omezení rozvoje železniční infrastruktury,*
- *možná možnosti a náklady na zvýšení dopravní kapacity, včetně očekávaných změn poplatků za infrastrukturu,*

Kromě toho musí být na základě CBA analýzy identifikovaných možných opatření určeno, jaká opatření mají být přijata ke zvýšení kapacity infrastruktury; to zahrnuje také harmonogram provádění těchto opatření.

Má-li provozovatel dráhy v úmyslu předložit plán na zvýšení kapacity dráhy, musí být plán zveřejněn na internetových stránkách provozovatele dráhy nejméně tři měsíce před jeho předložením podle výše zmíněných pravidel. Zveřejnění musí být ve vhodné formě doplněno popisem plánovaných opatření. Oprávněné subjekty mohou posílat své připomínky k tomuto plánu po dobu jednoho měsíce.

Pokud opatření nejsou financována výhradně samotným provozovatelem dráhy, řídí se rozhodnutí o financování opatření u spolkových drah zákonem Bundesschienenwegeausbaugesetz (zákon o modernizaci spolkových železničních tratí) a zveřejněným spolkovým rozpočtem. V případě železnic, které nejsou spolkové, se rozhodnutí řídí v souladu s platným zákonem o rozpočtu.

Pokud provozovatel neučiní výše uvedené kroky, zákon mu zakazuje dokonce vybírat vybrané poplatky za užívání infrastruktury. Ty smí vybírat pouze nadále na základě schválení specifických podmínek regulačním úřadem (např. když možnosti navýšení kapacity dráhy jsou ekonomicky a finančně neudržitelné, nebo toto nelze fakticky provést). Dozorčí orgán sleduje dodržování povinností vyplývajících z předpisů o přetížených železnicích. Po konzultaci s regulačním úřadem může dozorčí orgán přijmout opatření nezbytná k dodržení povinností. Orgán dozoru může vykonávat své příkazy v souladu s ustanoveními použitelnými na výkon správních opatření. Výše pokuty je až 500 tis. eur.

Z výtahu a překladu skutečností zákona ERegG, který si autor příspěvku dovolil ponechat poměrně obsáhlý, plynou obdobné, ale i rozdílné skutečnosti v porovnání s tuzemskými legislativními materiály. Nejdříve dojde k vyhlášení předmětného úseku za přetížený, což jeho provozovatele zavazuje provést kapacitní analýzu, pokud již dříve nezpracoval pro tento úsek dráhy konkrétní plán na zvýšení jeho kapacity. Na přetížených úsecích mají opět přednost vlaky k zajištění dopravní obslužnosti území.

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

Zákon ERegG dále zevrubně stanovuje, jakým způsobem bude zpracován plán na zvýšení kapacity dráhy. Jeho součástí je CBA analýza, která stanoví přínos navržených opatření z hlediska poměrů nákladů a benefitů. Plán na zvýšení kapacity dráhy musí být zveřejněn dálkovým přístupem na internetu. Pokud by provozovatel dráhy neučinil na přetížené infrastruktuře jeho zpracování, může mu být dokonce zakázáno vybírat poplatky za užívání této dopravní infrastruktury při jejím užívání dopravci.

Na základě tohoto zákona stejně jako u Správy železnic v ČR, která vydává každoročně Prohlášení o dráze, existuje na síti DB předpis, který dále tuto problematiku rozvíjí a upřesňuje. Jedná se o Schienennetz-Benutzungsbedingungen der DB Netz AG 2021 (SNB 2021) [3]. V souladu s § 55 zákona ERegG prohlašuje například DB Netz AG traťové úseky za přetížené a stanovuje speciální podmínky užívání takovéto infrastruktury. Dále jsou stanoveny podmínky konstrukce tras jak pro osobní, tak nákladní dopravu.

Na stránkách DB Netz lze najít konkrétní příklady přetížených úseků. Z těchto stránek lze citovat například historický stav z roku 2020:

V souladu se směrnicí Spolkového úřadu pro železnice a Spolkové agentury pro síť ze dne 14.11.2016 byly následující traťové úseky dle definice § 1 zákona ERegG a aplikování §§ 55, 58 - 59 téhož zákona prohlášeny od data 01.12.2020 za přetížené

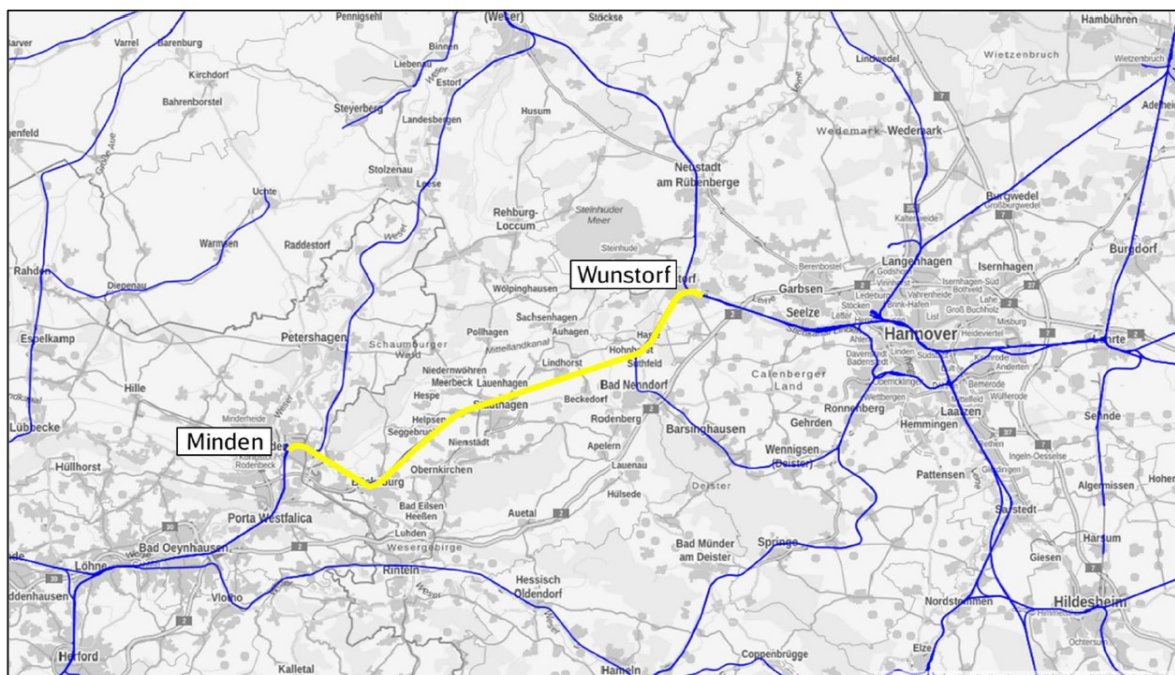
- trať č. 2650 Gelsenkirchen Hbf – Wanne-Eickel Hbf
- trať č. 2200 Wanne-Eickel Hbf – Münster Hbf
- trať č. 6100 Berlin-Spandau – Nauen
- trať č. 6185 Wustermark – Rathenow

Pro tyto traťové úseky provede DB AG kapacitní analýzu v souladu s § 58 zákona ERegG a vypracuje plány zvýšení kapacity dráhy v souladu s § 59 zákona ERegG.

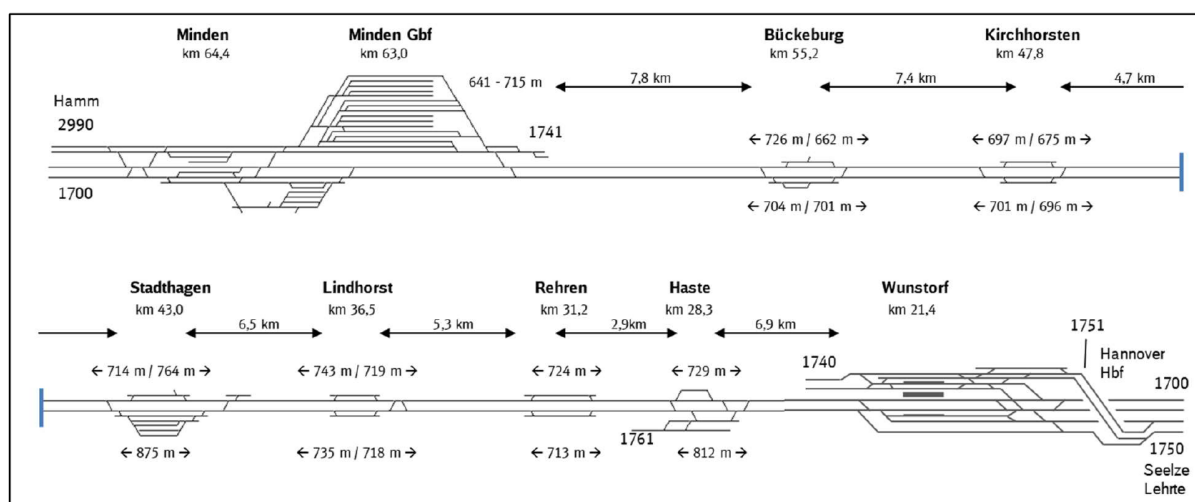
2. Příklad kapacitní analýzy na úseku Wunstorf – Minden

V následující části příspěvku je ukázán výtah kapacitní analýzy přetíženého úseku v praxi. Zde je možné ukázat toto na příkladu přetížené trati Wunstorf – Minden (trať č. 1700) [3]. Tento traťový úsek byl prohlášen za přetížený dne 10. 12. 2012, kapacitní analýza byla dokončena 14. 6. 2013 a zveřejněna v prosinci 2013.

Jedná se o dvoukolejnou elektrizovanou železniční trať s traťovou rychlostí až 200 km/h, která je součástí důležitého nákladního koridoru (West-Ost-Güterverkehrsmagistrale). Trať spojuje Hannover se západem Německa. Předjíždění je umožněno v dopravních Haste, Rehren, Lindhorst, Stadthagen, Kirchhorsten, Bückeberg a Minden Gbf.



Obrázek 1: Poloha trati Wunstorf – Minden na síti DB Zdroj: DB Netz AG, [3],



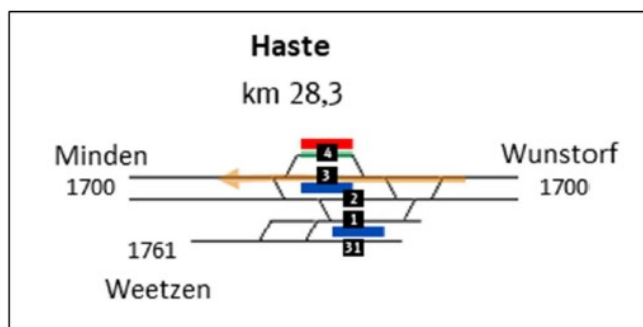
Obrázek 2: Traťové schéma úseku Wunstorf – Minden, Zdroj: DB Netz AG, [3]

Pro řešení situace je navržena série opatření.

Navržená opatření – střednědobá

1) Zřízení nástupiště u koleje č. 4 v žst. Haste

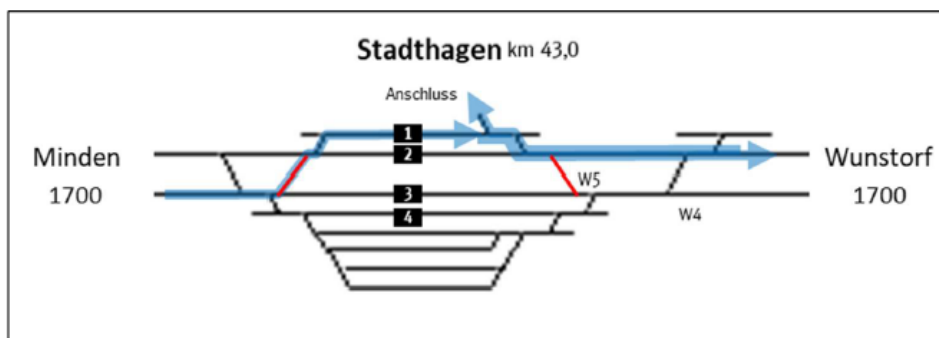
- umožnění předjetí regionální osobní dopravy dálkovou osobní dopravou,
- zkrácení jízdní doby pro dálkovou dopravu o 1,4 minuty,
- zredukováno může být také následné mezidobí regionální dopravy.



Obrázek 3: Zřízení nástupiště v žst. Haste umožní předjíždění regionální dopravypo průběžné traťové koleji, Zdroj: DB Netz AG, [3]

2) Vložení nových výhybek v žst. Stadthagen

- zlepšení pro nákladní vlaky, které mají start nebo cíl v žst. Stadthagen,
- pokles manipulačních jízd omezujících kapacitu,
- lepší operativnost při mimořádnostech.



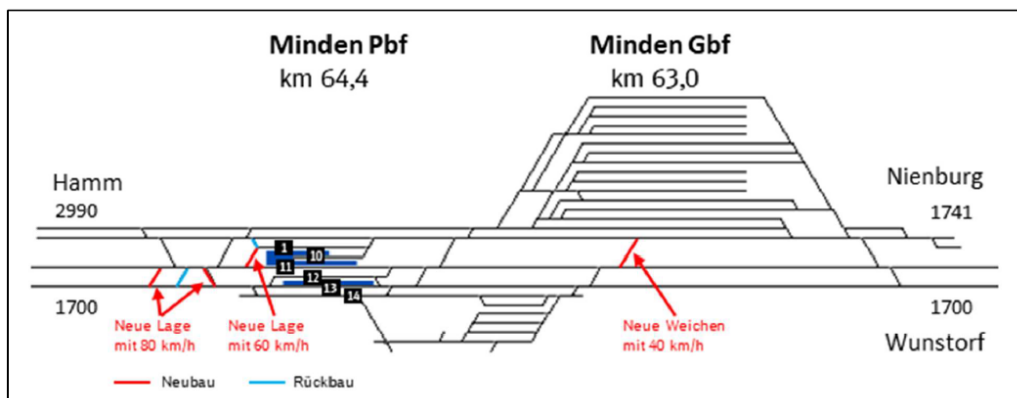
Obrázek 4: Vložení nových výhybek v žst. Stadthagen, Zdroj: DB Netz AG, [3]

3) Navýšení počtu využívání předjízdných kolejí v železničních stanicích v traťovém úseku

- umožnění více předjíždění dlouhých nákladních vlaků (740 m),
- lepší operativnost.

4) Opatření v rámci elektronického stavědla v žst. Minden

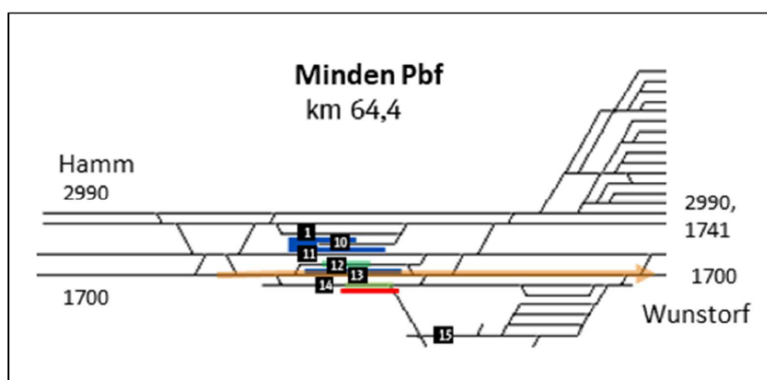
- pomocí úpravy kolejiště (vložením nových výhybek a demontáží některých výhybek) dojde ke zvýšení rychlosti ve stanici a k lepší operativnosti,
- navýšení počtu vlaků až o šest v časovém období mezi 6. až 22. hodinou.



Obrázek 5: Zlepšení kolejového uspořádání v žst. Minden, Zdroj: DB Netz AG, [3]

5) Zřízení nástupiště u koleje č. 14 v žst. Minden

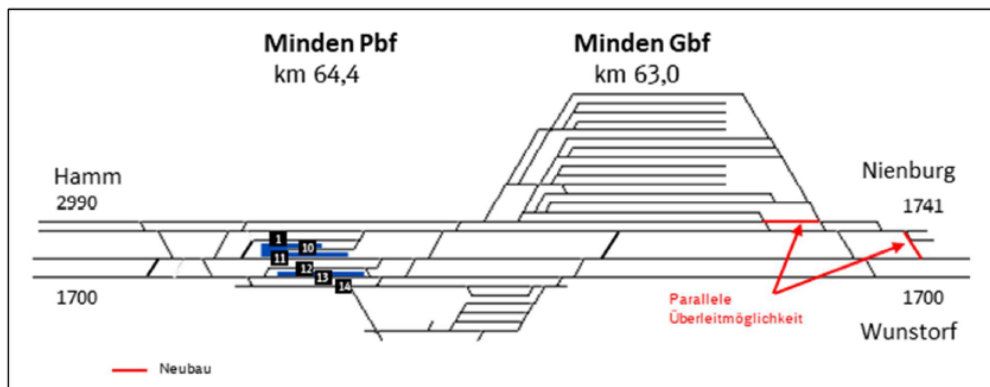
- zlepšení předjíždění,
- umožnění předjetí regionální osobní dopravy dálkovou osobní dopravou,
- zkrácení jízdní doby pro dálkovou dopravu o cca 1 minutu.



Obrázek 6: Zřízení nástupiště v žst. Minden umožní předjíždění regionální dopravy po průběžné traťové koleji, Zdroj: DB Netz AG, [3]

6) Lepší možnosti propojení tratí č. 1700 a 2990 ve východním zhlaví žst. Minden Gbf

- zřízení nových propojení obou tratí,
- další zlepšení operativnosti v žst. Minden Gbf.



Obrázek 7: Paralelní propojení tratí umožní zvýšení flexibility v uzlu Minden, Zdroj: DB Netz AG, [3]

Navržená opatření – dlouhodobá

1) Modernizace/novostavba trati Hannover – Bielefeld

- novostavba dvoukolejně trati + modernizace současné trati č. 1700,
- cílem je umožnění tzv. Německého-taktu (Deutschland-Takt) a zvýšení počtu vlaků v osobní i nákladní dopravě.

2) Modernizace úseku Hameln – Elze v rámci modernizace Lehrte / Hameln – Braunschweig – Magdeburg – Falkenberg

- díky elektrizaci vznikne jižní objízdna trasa uzlu Hannover a přetíženého úseku Minden – Wunstorf a Lehrte – Braunschweig pro nákladní vlaky jedoucí na trase Porúří – střední Německo.

3) „Kasseler Kurve“

- propojení tratí Altenbeken – Kassel a severo-j jižní trati, aby byl umožněn přímý průjezd,
- vytvoření vhodných podmínek této objízdny trasy k trase Wunstorf – Minden.

Navržená opatření – provozní

Alternativní řešení

- alternativní trasa přes Altenbeken a Kassel nebo přes oblast Hannoveru dále na východ,
- trasa Hamm – Altenbeken – Hannover může poskytnout snížit počty vlaků až o 12 za den a směr,
- využití trasy Hamm – Altenbeken – Paderborn – Kassel – Halle (Saale) může potenciálně pojmout až 24 tras denně a ve směru od přetížené železnice Wunstorf – Minden.

Ustanovení ohledně délky nákladních vlaků

Nejkratší užitečná délka předjízdny koleje na trati mezi Wunstorfem a Mindenem je 696 m. Nákladní vlaky, které nepřesahují tuto délku, mohou používat všechny

tyto předjízdné koleje. To umožňuje maximální možnou flexibilitu při vytváření plánů a provozní implementaci. V případě konfliktu by při přidělování tras vlaků měly mít přednost ty vlaky nákladní, které nejsou delší než 696 m.

Ustanovení ohledně využívání trati

Alternativní řešení

- pokud nelze bezkonfliktně přidělit trasy vlaků na trati Minden - Wunstorf, která byla prohlášena za přetíženou, pokusí se společnost DB Netz AG najít alternativní trasy pro železniční nákladní dopravu přes jiné tratě:
 - Hamm – Altenbeken – oblast Hannoveru (nebo opačným směrem),
 - Hamm – Altenbeken – Kassel – Halle (Saale) (nebo opačným směrem).

Ustanovení ohledně délky nákladních vlaků

- v zásadě uvedeno výše

Zhodnocení předpokládaného dopadu opatření

Hodnocení je provedeno sedmistupňovou škálou. Hodnotící škála se pohybuje od „---“ (velmi málo přínosné) přes „o“ (neutrální) až po „+++“ (velmi přínosné).

Finanční náklady jsou hodnoceny v zásadě pouze negativně, přičemž „---“ znamená nejvyšší finanční náklady, případně „o“ znamená náklady nulové.

Tabulka 1: Zhodnocení předpokládaného dopadu infrastrukturních opatření

Infrastrukturní opatření								
Označení	Název opatření	Náklady (mil. €)	Přínos pro dálkovou dopravu	Přínos pro regionální dopravu	Přínos pro nákladní dopravu	Kvalita provozu	Efekt na kapacitu	Účinnost od
I-1	Zřízení nástupiště u koleje č. 4 v žst. Haste	-	++	+	o	+	o	neuve deno
I-2	Vložení nových výhybek v žst. Stadthagen	-	o	o	+	+	o	neuve deno
I-3	Navýšení počtu využívání předjízdných kolejí v železničních stanicích v traťovém úseku	--	+	o	++	++	3-14 tras (6-22 h)	neuve deno
I-4	Opatření v rámci elektronického stavědla v žst. Minden	--	+	++	+	++	6 tras (6-22 h)	od 2027
I-5	Zřízení nástupiště u koleje č. 14 v žst. Minden	--	++	+	o	+	o	neuve deno
I-6	Lepší možnosti propojení tratí č. 1700 a 2990 ve východním zhlaví žst. Minden Gbf	--	+	+	+	++	o	neuve deno
I-7	Modernizace/novostavba trati Hannover – Bielefeld	---	+++	++	++	+++	+++	neuve deno
I-8	Modernizace úseku Hammeln - Elze	--	o	o	++	++	++	neuve deno
I-9	„Kasseler Kurve“	--	o	o	++	++	++	2029

Zdroj: zpracováno dle DB Netz AG, [3]

Tabulka 2: Zhodnocení předpokládaného dopadu provozních opatření

Provozní opatření								
Označení	Název opatření	Náklady (mil. €)	Přínos pro dálkovou dopravu	Přínos pro regionální dopravu	Přínos pro nákladní dopravu	Kvalita provozu	Efekt na kapacitu	Účinnost od
F-1	Alternativní řešení (alternativní trasy pro nákladní dopravu)	0	+	+	0	+	Až 24 tras / den	již účinné
F-2	Ustanovení ohledně délky nákladních vlaků	0	0	0	0	+	+	2022

Zdroj: zpracováno dle DB Netz AG, [3]

Závěr

Německý přístup ukazuje, že v případě přetížení železniční infrastruktury je zpracování plánu na zvýšení kapacity takovéto dráhy velmi přínosným krokem. Plán rozděluje navržená opatření dle jejich náročnosti (jak investiční, tak časové), a tudíž lze tak jasně kvantifikovat a vyvodit, která opatření je možné aplikovat v poměrně krátkém čase a za nízké finanční náklady a naopak. To tak může vést k celkově účelnému plánování zvyšování kvality infrastruktury.

Autor příspěvku se domnívá, že v českém prostředí bude nutné začít též využívat podobný přístup tak, aby bylo možné docílit zvyšování kvality infrastruktury na velmi vytížených a přetížených úsecích. Ač legislativa v českém prostředí tyto možnosti také umožňuje, prakticky nejsou téměř využívány. Přitom by jejich aplikace mohla vést ke zlepšování parametrů drážní infrastruktury, což povede jednoznačně ke zvýšení spokojenosti zákazníků jak v osobní, tak nákladní dopravě.

Zdroje a literatura

- [1] *Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG)* [online]. Berlin: Bundesrepublik Deutschland, 2022 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.gesetze-im-internet.de/eregg/BJNR208210016.html>
- [2] *Plan zur Erhöhung der Schienenwegkapazität (PEK) für den als überlastet erklärten Schienenweg Wunstorf – Minden (Strecke 1700)* [online]. Frankfurt am Main: DB Netz, 2020 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/5564406/831d988d4cadfa2046819e64ed964e2e/pek_strecke_1700-data.pdf

- [3] *Schienennetz-Benutzungsbedingungen der DB Netz AG 2021 (SNB 2021)* [online]. Frankfurt am Main: DB Netz, 2020 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z:
<https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/5294900/9a2cd65f3de760e869448fb2818db741/SNB-2021-data.pdf>
- [4] *Zakonyprolidy.cz 266/194 Sb. Zákon o drahách* [online]. Zlín: AION CS, s.r.o. 2010-2022, 2022 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z:
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266>

Seznam zkratek

CBA – cost benefit analysis (analýza nákladů a přínosů)

DB – Deutsche Bahn (Německé dráhy)

ERegG – Eisenbahnregulierungsgesetz (železniční regulační zákon – Německo)

Gbf – Güterbahnhof (nákladní nádraží)

Hbf – Hauptbahnhof (hlavní nádraží)

Pbf – Personenbahnhof (osobní nádraží)

Lektorovali:

doc. Ing. Josef Bulíček, Ph.D.,

Dopravní Fakulta Jana Pernera, UPCE

Ing. Edvard Březina, CSc.,

ČVUT v Praze, Fakulta dopravní

5. Bezemisní železniční vozidla a infrastruktura pro jejich provoz

Jiří Pohl ⁶

Klíčová slova

bezemisní vozidla, úspory energie, snižování emisí, liniové elektrické napájení, trakční akumulátorová baterie, vodíkový palivový článek

Key words

zero-emission vehicles, energy savings, emission reduction, linear electric power supply, traction storage battery, hydrogen fuel cell

Anotace

Strategické celosvětové plány na odklon od používání fosilních paliv, motivované snahou zastavit klimatické změny, získaly v důsledku politických událostí v evropských zemích novou motivaci – zbavit se závislosti na dovozu fosilních paliv. To se významně týká zejména dopravy, která je odvětvím s největší závislostí na jejich importu. Moderní bezemisní železnice je účinným nástrojem ke snížení energetické náročnosti dopravy a k jejímu fungování bez fosilních paliv. Dekarbonizace železniční dopravy, spojená se zvýšením její kvality a výkonnosti, je proto významným přínosem nejen pro železnici samotnou, ale i pro dopravu jako celek. Její včasné a ekonomicky efektivní řešení vyžaduje systémový přístup, zejména termínově a teritoriálně sladění investic do budování parku vozidel i liniového či bodového energetického zázemí pro jejich provoz, a to včetně koordinace s implementací ETCS a s objednávkou dálkové i regionální veřejné dopravy.

Abstract

Strategic global plans for decrease of fossil fuels, motivated by the desire to stop climate change, have been given a new aspect based on political situation in European countries - to shift away from dependence on fossil fuel imports. This is relevant especially for transport which is the sector most dependent on imports. Modern zero-emission railways represent an effective tool for reducing the energy consumption in transport and make it operable without fossil fuels. The decarbonisation of rail transport, with an increase of quality and performance, is therefore a significant benefit not only for the railway itself but also for transport in general. To achieve a timely and cost-effective solution requires a systemic approach, especially a term and territorial coordination of investments in shaping the fleet of vehicles, and line or point energy facilities for the operation, including coordination with the implementation of ETCS and orders of long-distance and regional public transport.

⁶ Jiří Pohl, Ing., 1951; Vysoká škola dopravná v Žilině, obor Elektrická trakce; Siemens Mobility, s.r.o. Siemensova 1, 155 00 Praha 13; tel.: +420 724 014 931, e-mail: jiri.pohl@siemens.com

1. Dekarbonizace dopravy

Až do 18. století žilo lidstvo v energetické rovnováze s přírodou. Lidé využívali jen obnovitelné zdroje energie. Objev a používání fosilních paliv všech tří skupenství (uhlí, ropy a zemního plynu) dal lidstvu obrovskou energii, která zásadním způsobem proměnila průmysl, dopravu a bydlení. Změnil se charakter lidské práce, došlo k rozvoji vzdělanosti, k jinému osídlení krajiny, změnil se životní styl, došlo ke zlepšené zdravotní a sociální péči. Tento stav trvá. Spotřeba fosilních paliv činí v České republice 93 kWh na osobu a den, což reprezentuje trvalý příkon téměř 4 kW na osobu.

Důvodem spalování uhlovodíkových paliv je získávání tepelné energie, která se při jejich oxidaci (hoření) uvolňuje. Avšak platí nejen zákon zachování energie, ale i zákon zachování hmoty. Oxidací 1 kg uhlíku vzniká nejen chtěných 9 kWh tepelné energie, ale i nechtěných 3,67 kg oxidu uhličitého, který se shromažďuje v zemském plynném obalu a zvětšuje jeho tepelně izolační schopnost.

Spalováním fosilních paliv již došlo ke zvýšení množství oxidu uhličitého v zemském obalu z původních 3 500 miliard tun na současných 5 200 miliard tun. To zvýšilo tepelně izolační schopnost zemského obalu, nastaly nevratné klimatické změny. Vlivem nesymetrické tepelné kapacity Země (odlišná struktura severního pólu, který je tvořen oceánem mezi pevninami a má proto slabší zalednění, a jižního pólu, který je tvořen pevninou mezi oceány a má proto mohutnější zalednění) působí na severní zemské polokouli klimatické změny podstatně intenzivněji než na jižní zemské polokouli. Růst střední teploty vzduchu a s tím spojeného sucha, stejně jako růst četnosti extrémních klimatických vlivů se staly realitou.

Růst střední teploty vzduchu již významně akceleruje silná kladná zpětná vazba, způsobená rozmrazáním permafrostu (který například zaujímá 2/3 plochy území Ruska), ze kterého se uvolňuje metan, který též zvyšuje tepelně izolační schopnost zemského plynného obalu.

Je paradox, že ekosystém Země se dokáže změnám klimatu přizpůsobit, podobné jevy již na Zemi v dávné minulosti nastaly. To jen lidé si spalováním fosilních paliv poškozují podmínky ke svému životu a k té podobě přírody, ve které existují a kterou mají rádi.

Zhoubné účinky spalování fosilních paliv na životní podmínky lidské civilizace již jsou známé od počátku 20. století. Ale člověk je tvor nedokonalý, zadané úkoly plní ledabyle a pozdě. Proto je vcelku přirozené, že se lidé ponejprv tímto závažným tématem vůbec nezabývali a celé 20. století promarnili uspokojováním svých nacionálních emocí, nesmyslnými válkami a revolucemi. Po procitnutí bylo na počátku 21. století ztraceno dalších dvacet let planými diskusemi o platnosti přírodních zákonů. Nyní na vyřešení již přes sto let známého tématu zbývá necelých třicet let.

S vědomím společenské odpovědnosti za trvalé poškození podmínek života na Zemi se 195 zemí z celého světa, včetně České republiky, dohodlo přijetím Pařížské dohody OSN z prosince 2015, že zastaví oteplování Země na hodnotě 1,5

až 2 °C. K tomu spočetla Mezinárodní energetická agentura IEA, že je nutno přestat do roku 2050 spalovat uhlí, ropné produkty a zemní plyn.

Obory lidské činnosti, závislé na spalování fosilních paliv, tedy mají k dispozici 28 let na snížení své energetické náročnosti a na náhradu energie fosilních paliv energií z obnovitelných zdrojů. Technicky je to reálné. Energii, kterou lidstvo ročně získává spalováním uhlí, ropných produktů a zemního plynu, přináší paprsky slunečního záření na povrch Země každých 40 minut. Rovněž existují technologie k tomu, jak spotřebu energie snížit a jak fosilní zdroje energie nahradit zdroji obnovitelnými. Doprava je toho zářným příkladem. Pochopitelně je potřené též vnímat, že musí jít o kvalifikovaně řízený proces, neboť i ekonomická a sociální udržitelnost jsou součástí udržitelného rozvoje.

Doprava patří, spolu s průmyslem a domácnostmi, ke třem největším konečným spotřebitelům energie v ČR. Ročně spotřebuje zhruba 80 TWh energie s tendencí postupného růstu o zhruba 3,5 % ročně. Není vůbec dobré, že 93 % spotřeby energie pro dopravu tvoří fosilní paliva, zejména ropné produkty (automobilový benzín a motorová nafta). To je podstatně více než v průmyslu, kde fosilní paliva tvoří jen 43 % spotřeby energie. Doprava proto spalováním fosilních paliv v ČR produkuje 20 milionů tun oxidu uhličitého ročně, což je 2,5krát více než průmysl. Není proto korektní omlouvat skutečnost, že na občana v ČR připadá trojnásobně vyšší produkce oxidu uhličitého než na občana Číny, tvrzením, že ČR je průmyslovou zemí. Jde o podstatně širší téma.

V únoru roku 2022 dostala dekarbonizace dopravy v zemích EU další velmi významnou motivaci. V důsledku napadení Ukrajiny Ruskem začali obyvatelé EU vnímat geoenergetickou realitu:

- podíl zemí EU na světových zásobách ropy je 0,1 %
- podíl zemí EU na světové spotřebě ropy je 11,2 %, tedy 112krát vyšší.

Na ropné bázi vyráběné pohonné hmoty pro automobilovou dopravu, která je dominantním druhem dopravy v oblasti přepravy osob i v oblasti přepravy věcí, jsou země EU schopny z vlastních zdrojů pokrýt jen z 0,9 %. Zbylých 99,1 % je importováno, přitom technologicky (produktovody) je tento import z velké části teritoriálně vázán na militantní státy, které veřejně deklarují svůj nepřátelský vztah k zemím EU. Zhruba 5% podíl biopaliv situaci zásadním způsobem neřeší.

2. Dekarbonizace železniční dopravy

Dekarbonizace železniční dopravy má dvě dimenze – intramodální a extramodální. Při posuzování význam intramodálních úspor energie a emisí v oblasti železniční dopravy, je potřeba si uvědomit reálnou dimenzi jejich potenciálu. Ačkoliv je na české železnici liniově elektrizováno jen 34 % délky sítě, zajišťuje elektrická vozba 82 % dopravních výkonů osobní dopravy a 87 % dopravních výkonů nákladní dopravy. Tedy naftová vozba zajišťuje jen 18 % dopravních výkonů osobní dopravy a 13 % dopravních výkonů nákladní dopravy. Z důvodu výrazně (cca 2,5krát) nižší energetické účinnosti naftových vozidel a též i méně efektivního použití naftových vozidel je však podíl motorové nafty na

celkové spotřebě energie české železnice podstatně vyšší, činí zhruba 42 % v osobní dopravě a zhruba 44 % v nákladní dopravě. Nejde tedy o malé hodnoty a je na místě se odpovědně a bezodkladně zabývat na české železnici náhradou naftové vozby bezemisní vozbou.

Avšak v oboru extramodálních úspor energie a emisí lze v oblasti železniční dopravy dosáhnout ještě větších hodnot. Je to fyzikálně dáno nižší energetickou náročností kolejové vlakové dopravy ve srovnání se silniční automobilovou dopravou. Ta je způsobena jak nízkým valivým odporem ocelových kol na ocelových kolejnicích, tak i nízkým aerodynamickým odporem dlouhých štíhlých vozidel jedoucích ve vzájemném zákrytu, a k tomu i vysokou účinností elektrického trakčního pohonu, umožněného liniovým elektrickým napájením. V přepočtu na vykonanou přepravní práci (os km, netto tkm) je ve srovnání s automobily energetická náročnost železnice v celkovém průměru zhruba 8krát nižší. Převedením přeprav z automobilové dopravy na železnic lze proto ušetřit přibližně 88 % spotřeby energie.

Potenciál extramodálních úspor energie a emisí aplikací železniční dopravy náhradou za energeticky a emisně náročnější automobilovou dopravu je v ČR velmi značný, statistická data přepravních výkonů na území ČR roku 2019 (poslední statisticky zpracovaný rok před pandemií covid 19) dokládají dominantní podíl energeticky nevýhodné automobilové dopravy:

- v oblasti přepravy osob měla automobilová doprava 61% podíl na přepravních výkonech a železniční doprava jen 8,2 % podíl na přepravních výkonech,
- v oblasti přepravy věcí měla automobilová doprava 71% podíl na přepravních výkonech a železniční doprava jen 26% podíl na přepravních výkonech.

Avšak výše uvedené fyzikální skutečnosti sami o sobě ke změně dopravního chování lidské společnosti nestačí. K docílení takto zásadních extramodálních úspor energie a emisí musí železnice:

- motivovat cestující a přepravce jimi vnímanými benefity, zejména rychlostí a pohodlím, což je v principu dámo logickým součinem tří faktorů: kvalitní trať, kvalitní vozidlo a kvalitní jízdní řád,
- mít náležitou kapacitu, aby zvládla přijmout zvýšenou přepravní poptávku.

Typickým příkladem investice, cílené na naplnění obou výše uvedených záměrů, je celosvětový trend budování vysokorychlostního železničního systému, nyní již aplikovaný i v ČR:

- přináší atraktivní přepravní nabídku osob i spěchajících kusových zásilek v krátkém taktu provozovaných rychlých pohodlných vlaků,
- přináší novou dopravní kapacitu, a to jak vybudováním nové vysokorychlostní železnice, tak i rychlostní segregací (zvýšení kapacity již existující konvenční železnice převedením rychlé dálkové dopravy osob i spěchajících kusových zásilek na vysokorychlostní železnici).

Podstatný přínos a důvod k budování vysokorychlostní železnice nespočívá ve skutečnosti v tom, že cestující, kteří již nyní používají železnici, budou u cíle své cesty rychleji. Nýbrž v tom, že železnici použijí, aby byli u cíle své cesty rychleji, i ti cestující, kteří dosud železnici nepoužívají. Dosud cestují automobily s násobně vyšší energetickou náročností, navíc spalující importovaná fosilní paliva a produkují tím jak globálně působící emise oxidu uhličitého, tak i lokálně působící emise zdraví škodlivých látek.

Podobně je potřeba postupovat i v případě dekarbonizace dopravy na konvenční železnici. Je realitou, že na většině neelektrizovaných železničních tratí v ČR, tedy na 2/3 délky železniční sítě, degenerovala veškerá železniční doprava (dálková osobní, regionální osobní a nákladní) jen na nepříliš obyvatelstvem využívanou regionální osobní dopravu. Potenciál efektů železnice v oblasti úspor energie a emisí není náležitě využit.

Cílem dekarbonizace železniční dopravy proto není jen převést do bezemisní vozby nyníšších 14 % dopravních výkonů osobní železniční dopravy a 4,5 % dopravních výkonů nákladní železniční dopravy, kterou v současnosti zajišťují neelektrizované 2/3 české železniční sítě. Cílem je zvýšit výkonnost a atraktivitu těchto málo využitých 2/3 české železniční sítě a jejich zapojením do plnění přepravních úloh dosáhnout nejen intramodální úspory energie a emisí na železnici, ale i vydatné extramodální úspory energie a emisí převedením části automobilové dopravy na železnici se zvýšenou atraktivitou.

Z poměru fixních a variabilních nákladů, jakožto i z poměru investičních a provozních nákladů je zřejmé, že rolí železnice je být základem multimodální mobility osob a věcí, nikoliv okrajovým doplňkem multimodální mobility osob a věcí.

Nárůst přepravních výkonů osobní dopravy na české železnici v rozmezí 9 let (2010 až 2019) o 66 % (z 6,59 mld. os km/rok na 10,93 mld. os km/rok, tedy o 4,34 mld. os km/rok), což znamená střední lineární růst přepravních výkonů osobní železniční dopravy o 7,3 % ročně, dokládá, že motivace cestujících kvalitou přepravní nabídky (modernizované železniční tratě, zejména tranzitní koridory, nová vozidla a atraktivní jízdní řád) je účinná. Nárůst přepravních výkonů osobní dopravy na české železnici dosažený v letech 2010 až 2019, docílený zejména v dálkové osobní dopravě, má pochopitelně i značný energetický a emisní dopad. Převod přepravního výkonu 4,34 mld. os km/rok z automobilové dopravy na železnici reprezentuje úsporu konečné spotřeby energie v úrovni cca 1,9 TWh/rok a úsporu emisí oxidu uhličitého v úrovni cca 0,4 mil. t CO₂/rok. To jsou velmi zásadní hodnoty.

Na rozdíl od některých jiných oborů, ve kterých jsou technická řešení náhrady fosilních paliv obnovitelnými zdroji energie teprve ve stádiu výzkumných úloh, má železnice výhodu již existujících řešení.

V oblasti bezemisních vozidel jsou k dispozici:

- **elektrická vozidla závislá** (pro trolejové napájení) v podobě elektrických lokomotiv i elektrických trakčních jednotek (EMU),
- **dvouzdrojové trakční jednotky trolej/akumulátor** (BEMU),

- **vodíkové palivočlánkové trakční jednotky (HMU).**

Je zřejmé, že každé z bezemisních vozidel vyžaduje pro svůj provoz infrastrukturní energetické zázemí:

- **pro provoz elektrických vozidel:** souvislá liniová elektrizace, tedy pevná trakční zařízení (trakční napájecí stanice a liniové trakční vedení). Nově v ČR již výhradně systémem 25 kV, a to i na severu ČR (i v bývalé zóně 3 kV),
- **pro nabíjení trakčních akumulátorů dvouzdrojových trakčních jednotek trolej/akumulátor (BEMU):** blízkost liniové elektrizace umožňující nabíjení vozidlové trakční akumulátorové baterie statické (za stání v liniově elektrizované železniční stanici), či dynamické (za jízdy po liniově elektrizované železniční trati). Případně zřízení napájecích bodů 25 kV v obrátových železničních stanicích (malá trakční napájecí stanice a krátké slepé trakční vedení),
- **pro vodíkové palivočlánkové trakční jednotky (HMU):** vodíkové plnicí stanice poblíž obrátových železničních stanic (přetlak vodíku 350 bar, vodík v kvalitě přípustné pro palivové články – čistota alespoň 99,97 %, tedy elektrolytický vodík, těsná blízkost výroby vodíku pro omezení jeho problematické přepravy, dostatek levné nadbytečné elektrické energie z volatilních obnovitelných zdrojů pro její ukládání do vodíku, to nejlépe v místě jeho výroby).

Nutnou podmínkou funkčnosti a ekonomické úspěšnosti bezemisní železnice je soulad investic do vozidel s investicemi do infrastrukturního energetického zázemí pro jejich provoz. A to z provozního, časového, technického i ekonomického hlediska:

- **Z provozního hlediska** je nutno řešit dekarbonizaci železniční dopravy společně pro všechny tři druhy vlakové dopravy (dálková osobní, regionální osobní a nákladní). Cílem je, aby pokud možno sloužilo jedno vybudované infrastrukturní energetické zázemí pro bezemisní vozidla ke společnému účelu všem druhům vlakové dopravy – je potřeba vyvarovat se unikátním řešením pro jednotlivé druhy vlakové dopravy.
- **Z časového hlediska** je nutno vnímat, že kolejová vozidla mají nominální dobu technického života a z ní odvozenou odpisovou sazbu 30 let. Tedy je nutno garantovat jejich efektivní využitelnost nejen v době jejich pořízení (například v roce 2027), ale po celou dobu jejich technického života (například v letech 2027 až 2057). A to při jejich použití ve veřejné dopravě prakticky v téže lokalitě. Smluvní vztahy uzavřené podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1370/2007 o veřejných službách v přepravě cestujících po železnici a silnici totiž nedávají ani objednateli, ani dopravci téměř žádnou záruku možnosti predisponovat vozidla v průběhu jejich života na jiný provozní výkon. Podobně i infrastrukturní energetické zázemí, vytvořená pro provoz bezemisních vozidel, jsou investičním celkem s dobou technického života a odepisování zhruba 30 let a svou stavbou jsou fixována v určité lokalitě. Jejich přemístování na jiné místo by vedlo ke zmaření významné části vložené investice.

- **Z technického hlediska** lze dát vozidlům s elektrickým trakčním pohonem, avšak s různými zdroji energie (liniové trakční vedení, nebo zásobník energie v podobě sekundárního elektrochemického článku, například lithiového, nebo zásobník energie v podobě primárního elektrochemického článku, například vodíkového, v kombinaci s vyrovnávacím zásobníkem energie v podobě sekundárního elektrochemického článku, například lithiového), prakticky stejné trakční vlastnosti. Liší se však v energetické účinnosti a ve vytrvalosti:

- **elektrická trakční vozidla závislá s liniovým elektrickým napájením** dosahují nejvyšší energetické účinnosti a prakticky neomezené vytrvalosti, technicky není jejich dojezd ničím omezen,
- **trakční vozidla se zásobníkem energie v podobě sekundárního elektrochemického článku** mají dojezd omezený energií uloženou v akumulátorové baterii. Na rozdíl od elektrických osobních automobilů, které s ohledem na předpokládaný provozní režim (roční proběh na úrovni běžného spalovacího automobilu, tedy kolem 10 000 km/rok) používají při současném stavu techniky lithiové akumulátorové baterie typu HE (preference vysoké energie) s měrnou energií kolem 200 kWh/t a s životností v tisících cyklů, u železničních vozidel se používají při současném stavu techniky robustní lithiové akumulátorové baterie typu HP (preference vysokého výkonu) s měrnou energií kolem 100 kWh/t, avšak s životností v desítkách tisíc cyklů. Je to nutnost daná provozními podmínkami. Železniční vozidla jsou totiž denně využívána nikoliv jen necelou hodinu, jak je obvyklé u individuálně vlastněných a individuálně využívaných osobních automobilů, ale běžně kolem 16 až 20 hodin denně, a dosahují ročního proběhu kolem 160 000 km. Při akceptovatelném poměru hmotnosti a ceny trakční akumulátorové baterie k hmotnosti a ceně vozidla, disponují dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor (BEMU) dojezdem kolem 80 km (na konci životnosti akumulátoru, EOL). Tato hodnota se v podmínkách částečně elektrizované železniční sítě jeví ve většině případů postačující. Ve srovnání se závislými elektrickými vozidly pro liniové elektrické napájení je energetická náročnost vozidel se zásobníkem energie v podobě sekundárního elektrochemického článku poněkud vyšší, lithiové akumulátory mají účinnost kolem 90 %,
- **trakční vozidla se zásobníkem energie v podobě primárního elektrochemického článku**, realizovaného vodíkovým palivovým článkem, mají dojezd omezený energií uloženou v zásobních vodíku. Výhřevnost 1 kg vodíku činí 33 kWh (pro srovnání: výhřevnost 1 kg motorové nafty činí 12 kWh), avšak 1 kg vodíku zaujímá při atmosférickém tlaku objem 11 000 litrů (pro srovnání: objem 1 kg motorové nafty činí 1,2 litru).

Pro aplikace v kolejových vozidlech je proto vodík stlačován na přetlak 350 bar (35 MPa), 1 kg takto stačeného vodíku má objem

42 litrů a příslušná tlaková nádoba má hmotnost cca 50 kg, pokud je z oceli, respektive cca 20 kg, pokud je z kompozitu. Při uvažování účinnosti palivového článku 60 % dosahuje v přepočtu na výstupní elektrickou energii měrná energie zásob vodíku ve vozidle hodnotu cca 400 kWh/t při použití ocelových nádob, respektive cca 900 kWh/t při použití kompozitních nádob. To je násobně více, než lithiové akumulátory typu HP (cca 100 kWh/t). Proto mají vodíková palivočláňková vozidla (HMU) při srovnatelné hmotnosti násobně vyšší dojezd, než dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor (BEMU).

Z provozního hlediska však i vodíková vozidla potřebují násobně vyšší dojezd, neboť mají podstatně méně příležitostí k doplňování zásob energie (jen v plnicích stanicích, které jsou zřizovány mimo nádraží v neveřejných prostorách), než dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor (BEMU). Ta lze staticky či dynamicky nabíjet z vysoce výkonného trakčního vedení kdykoliv za jízdy či za stání na elektrizované koleji, a to i při obsazení cestujícími.

Intenzita a tím i doba plnění nádrží vozidla vodíkem je limitována ohřevem vodíku při expanzi. Vodík se nechová jako běžné technické plyny, má záporný Joule-Thomsonův koeficient, rychlé plnění tlakových nádrží vozidel vodíkem je proto podmíněno účinným chlazením expandujícího vodíku.

Při hodnocení vytrvalosti vodíkových vozidel (HMU) je potřeba vzít v úvahu, že jsou primárně určena pro často zastavující vlaky osobní přepravy, a proto jsou pojata jako akcelerační. Jejich trakční výkon je několika násobkem jmenovitého výkonu palivových článků. Plný trakční výkon jsou proto schopny dodávat, v závislosti na velikosti (energii) vyrovnávací lithiové akumulátorové baterie, jen po dobu několika minut. To v zastávkové dopravě plně vyhovuje, ale pro trvalou monotónní jízdu vyšší rychlostí či do dlouhých velkých stoupání se vodíková palivočláňková vozidla nehodí.

Ve srovnání se závislými elektrickými vozidly pro liniové elektrické napájení je energetická náročnost vodíkových palivočláňkových vozidel vyšší. Vodík není zdrojem energie, ale nositelem energie. Samotné ukládání elektrické energie do vodíku a odebírání elektrické energie z vodíku má účinnost kolem 39 % (elektrolýza cca 65 %, palivový článek cca 60 %). Účinnost energetického řetězce je dále ovlivněna spotřebou energie pro kompresi, pro dopravu a pro chlazení při expanzi vodíku. To snižuje výslednou účinnost energetického řetězce k hodnotě 25 % až 30 %. Proto jsou aplikace vodíku bytostně spojeny s využíváním k jeho výrobě jinak nepotřebených přebytků elektrické energie z volatilních obnovitelných zdrojů (vítr, slunce).

Podobně je snaha minimalizovat nebo zcela vyloučit dopravu vodíku z místa výroby k místu užití (plnění). Transportní automobil je díky robustním ocelovým tlakovým nádobám více než 100krát těžší než

vodík, které přepravuje. Zpět jede prázdný, avšak při prakticky nesnížené hmotnosti. To jsou závažná témata k řešení.

- **Z ekonomického hlediska** jsou pro dopravce i pro objednatele veřejné dopravy jednoznačně nejvýhodnějším řešením elektrická vozidla závislá. Jsou nejvýkonnější, nejproduktivnější, univerzálně použitelná a nejlevnější jak investičně, tak i provozně (mají nejnižší náklady na energii i na údržbu). A to jak ve srovnání s naftovými vozidly, tak i ve srovnání s jinými druhy bezemisních vozidel. Proto zejména nákladní dopravci, jejichž jediným příjmem je výnos z dovozného (nedostávají kompenzaci od objednatele), cíleně soustřeďují své aktivity především na elektrizované tratě.

Z pohledu provozovatele dráhy (SŽ) je však nutnou podmínkou investice do liniové elektrizace její celospolečenská rentabilita, tedy docílení potřebně velkého ekonomického vnitřního výnosového procenta EIRR v analýze nákladů a výnosů (CBA). Základním vstupním parametrem určující rentabilitu liniové elektrizace je denní traťový gradient spotřeby nafty (litr/km/den).

Při použití investičně levného systému 25 kV (a to v jeho plnohodnotně interoperabilním provedení podle TSI ENE) jsou z důvodu lehkosti vysokonapěťového trakčního vedení a malého počtu (respektive velké vzdálenosti) trakčních napájecích stanic náklady samotné liniové elektrizace tratě relativně nízké. U staveb realizovaných na české železnici v posledních letech dosahují náklady na vlastní elektrizaci jen kolem 10 % z celkových nákladů na modernizaci předmětné železniční trati.

Jak investice do rozvoje dráhy (včetně budování energetického zázemí pro provoz bezemisních vozidel), tak objednávka dopravy v závazku veřejné služby, tak i případné subvence k pořízení vozidel, jsou výdaji hrazenými z veřejných zdrojů, zejména státních (respektive krajských či evropských). Je proto v prvořadém veřejném zájmu státu tyto investice společně řídit. Tedy koordinovat je věcně, teritoriálně i časově. V zemích s holdingovým usprádaním železnice (například DE, AT) napomáhá tomuto propojení přirozená finanční funkce železničního holdingu. V zemích s důsledně organizačně rozdělenou železnici (například CZ) je naplnění této role státu složitější. O to pečlivěji musí být ze strany státu o to propojení finančních toků z veřejných zdrojů pečováno, aby byl docílen co nejvyšší užitný efekt, a to v celém spektru železniční dopravy (dálkové osobní, regionální osobní i nákladní).

3. Systémové souvislosti

Z výčtu provozních, časových, technických i ekonomických hledisek je zřejmé, že velmi podstatným vstupem pro úvahy o nasazení do provozu nejen elektrických závislých vozidel, ale i vozidel se zásobníky energie, a to jak v podobě sekundárních elektrochemických článků u dvouzdrojových trakčních vozidel trolej/akumulátor (BEMU), tak i v podobě kombinace primárních a sekundárních elektrochemických článků u vodíkových palivočlánkových vozidel (BEMU), je znalost rozsahu a data uvedení do provozu liniové elektrizace železničních tratí v daném teritoriu.

Liniová elektrizace vytváří podmínky pro investičně i provozně nejlevnější řešení bezemisní vozby, univerzálně použitelné pro všechny druhy vlakové dopravy. Je reálné a potřebné zvýšit tempo liniové elektrizace tratí. Není však reálné okamžitě elektrizovat celou železniční síť. Proto jsou investiční plány rozvoje liniové elektrizace klíčovým řídicím dokumentem nejen pro rozvoj samotné elektrické vozby, ale i pro úvahy o aplikaci vozidel se zásobníky energie v podobě dvouzdrojových vozidel trolej/akumulátor, i v podobě vodíkových palivočlánkových vozidel, na tratích bez liniové elektrizace.

Vhodným trvalým či přechodným doplňkem liniové elektrizace jsou dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor (BEMU):

- rozvoj liniové elektrizace zkracuje vozební ramena bez liniové elektrifikace, což snižuje požadavky na dojezd a tím i velikost akumulátorů dvouzdrojových vozidel trolej/akumulátor (BEMU),
- rozvoj liniové elektrizace vytváří další příležitosti pro statické nabíjení akumulátorů dvouzdrojových vozidel trolej/akumulátor (BEMU) za stání v elektrizované obrátové železniční stanici,
- rozvoj liniové elektrizace vytváří další příležitosti pro dynamické nabíjení akumulátorů dvouzdrojových vozidel trolej/akumulátor (BEMU) za jízdy po navazujících elektrizovaných železničních tratích (plus benefit přímého spojení bez přestupu),
- v průběhu jízdy po liniově elektrizované trati využívají dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor (BEMU) pro trakci i pomocná zařízení z trakčního vedení přímo odebíranou elektrickou energii, tedy s vysokou účinností a neodčerpávají zásobu energie z vozidlové trakční akumulátorové baterie,
- dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor (BEMU) zvyšují ekonomickou efektivnost liniové elektrifikace hlavních tratí využitím vybudovaných pevných trakčních zařízení nejen pro napájení vlaků provozovaných na nich samotných, ale i pro napájení vlaků na tratích okolních,
- po případné budoucí liniové elektrifikaci předmětné tratě lze na ni i nadále provozovat vozidlo BEMU (v režimu EMU),
- trakční vlastnosti vozidel BEMU jsou jak v režimu trolejového elektrického napájení, tak i v režimu akumulátorového napájení, na úrovni vozidel EMU (pohon a elektrodynamické rekuperační brzdění 2/3 dvojkolí, rozjezdové zrychlení přes 1 m/s², měrný trakční výkon kolem 15 kW/t, měrný brzdový výkon téměř 30 kW/t), což je násobné zlepšení proti standardu naftou poháněných vozidel DMU,
- trakční vlastnosti BEMU tak umožňují výrazné zkrácení jízdních dob vůči standardu provozu DMU, což je cestou k docílení značných extramodálních úspor energie a emisí, neboť motivují obyvatelstvo kvalitní přepravní nabídkou železniční dopravy k odklonu od používání energeticky a emisně velmi vysoce náročných automobilů.

4. Vodíková vozidla

Vodíková vozidla jsou objektivně zatížena nevýhodou nízké účinnosti energetického řetězce ukládání elektrické energie do vodíku, která je zhruba na jedné třetině účinnosti ukládání elektrické energie do lithiového akumulátoru (přibližně 30 % a 90 %). Vodíková vozidla však nevznikají jako primární inovativní prvek, pro který je hledán levný a hojný zdroj elektrické energie k výrobě vodíku, ale ve zcela opačném pořadí příčinných souvislostí. Vodíková vozidla vznikají jako sekundární inovativní prvek, který dokáže využít vodík vyrobený z levného a hojného volatelného zdroje elektrické energie v období převisu nabídky nad poptávkou.

Odklon výroby elektrické energie od tradičních uhelných elektráren, které jsou nahrazovány obnovitelnými zdroji, zejména fotovoltaickými a větrnými, má mnoho pozitiv, pro které je celosvětově a v mnoha dimenzích (o velkých projektech až po malé domovní instalace) spontánně uskutečňován. Z objektivních přírodních důvodů se však energetika s významným podílem obnovitelných zdrojů elektrické energie musí umět vyrovnat s tématem jejich volatility, tedy značné časové proměnitelnosti. Ta má jak předvídatelnou složku (denní a roční cyklus), tak i nepředvídatelnou složku (náhodný vývoj počasí). Volatilita zdrojů energie není nový fenomén, podobné téma se již v minulosti naučilo zvládnout zemědělství. Budování seníků, stodol, sýpek a sklepů k uložení úrody z období hojnosti pro období nedostatku nebylo ničím jiným než zřizováním biologických zásobníků fotosyntézou transformované letní energie slunečního záření k využití v zimním období. Ke stejnému účelu vznikaly i konzervační technologie, jako například sušení, zavařování, kvašení, uzení či sýrařství.

Na rozdíl od končících uhelných elektráren, které byly snadno regulovatelné k docílení rovnováhy výroby a spotřeby energie v elektrizační soustavě, a to přizpůsobením výroby ke spotřebě, což byly schopny v průběhu roku v jakémkoliv okamžiku, obnovitelné zdroje regulovat nelze. Naopak obnovitelné zdroje energie vnášejí svojí volatilitou do elektroenergetického systému pravidelnou i náhodnou proměnlivost.

Jaderné zdroje elektrické energie nepomohou řešit téma okamžité výkonové rovnováhy zdrojů a spotřebičů v elektrické síti. Jaderné zdroje jsou z technických i ekonomických důvodů v podstatě neříditelné, pracují (v ideálním případě) celoročně trvale plným výkonem. Výroky o založení moderní energetiky na kombinaci jaderných a obnovitelných zdrojů jsou velmi povrchním tvrzením.

Moderní elektroenergetika s dominantním podílem obnovitelných zdrojů se musí, podobně jako to zvládlo zemědělství, naučit vyrovnat se s dvojicí náhodně se střídajících stavů, které jsou v přírodě běžné:

- v čase proměnné přírodní podmínky jsou aktuálně příznivé, okamžitá výroba (respektive nabídka) převyšuje okamžitou spotřebu (respektive poptávku),
- v čase proměnné přírodní podmínky jsou aktuálně nepříznivé, okamžitá výroba (respektive nabídka) není schopna pokrýt okamžitou spotřebu (respektive poptávku).

Vytvoření rovnováhy mezi výrobou a spotřebou nejen v úhrnné celoroční energetické bilanci (což je obsahem Státní energetické koncepce ČR), ale i v okamžité výkonové bilanci kdykoliv v průběhu celého roku (což není obsahem Státní energetické koncepce ČR), je systémovým tématem. V analogii se zemědělstvím lze k jeho řešení použít různé nástroje:

- předimenzování obnovitelných zdrojů tak, aby byly i za méně příznivých podmínek dostačující,
- snižování spotřeby elektrické energie cestou zvyšování energetické účinnosti,
- diverzifikace (kombinace) obnovitelných zdrojů využívajících odlišné fyzikální principy s různou volatilitou k tomu, aby se navzájem doplňovaly (kombinace větrných a fotovoltaických elektráren),
- řízení spotřeby elektrické energie (tržní cenou, přiděly...) podle okamžitých možností výroby,
- vytváření rozsáhlých elektrických přenosových sítí pokrývajících velká a rozmanitá území (přímořské, vnitrozemské, nížiny, hory...),
- ukládání elektrické energie v zásobnících (přečerpávací gravitační vodní elektrárny, elektrochemické akumulátory, přeměna elektrické energie na plyn, skladování plynu a zpětná přeměna plynu na elektrickou energii).

Vodíkové technologie jsou jednou z možností posledního z uvedených nástrojů. Lze je využít k přeměně elektrické energie elektrolýzou na vodík (účinnost cca 65 %), ke skladování vodíku a ke zpětné přeměně vodíku na elektrickou energii. Zpětné přeměna vodíku na elektrickou energii má v současném stavu techniky dvě reálné podoby:

- paroplynová elektrárna se dvěma pracovními cykly (vodíková spalovací turbína v prvním cyklu plus parní turbína v druhém cyklu) s výslednou účinností až 60 % a s možností využití odpadního tepla (například k vytápění budov),
- vodíkový palivový článek (účinnost cca 60 %).

Ve srovnání s přečerpávacími vodními elektrárnami s účinností téměř 80 % pracuje ukládání elektrické energie do vodíku se zhruba poloviční účinností. Avšak jeho výhodami jsou teritoriální flexibilita (lze jej situovat i v ploché krajině) a možnost využití odpadního tepla k vytápění budov.

Budování volatilních obnovitelných zdrojů energie postupuje v mnoha zemích rychleji, než výstavba přenosových elektrických sítí či akumulačních přečerpávacích vodních elektráren, existence velkých občasných přebytků elektrické energie z volatilních zdrojů je realitou. Proto vznikají iniciativy k využití levné nadbytečné elektrické energie z volatilních obnovitelných zdrojů k výrobě vodíku pro dopravní prostředky. Základem těchto iniciativ je předpoklad, že nízkou účinnost vodíkového cyklu bude kompenzovat nízká cena nadbytečné, jinak nevyužitelné elektrické energie z volatilních obnovitelných zdrojů, použité k napájení elektrolyzérů.

Ještě před několika lety existující vize o uplatnění vodíku v oboru osobních automobilů nenašla naplnění. Po překonání počátečních předsudků se pro osobní automobily náhradou za spalovací motory ukázaly ve většině aplikací postačující investičně a provozně levnější zásobníky elektrické energie v podobě lithiových sekundárních článků. Ty již dávají osobním automobilům dojezd, který je pro většinu aplikací postačující (průměrný denní proběh spalovacího automobilu činí v ČR 29 km). Dominantní se ukázalo levné a pohodlné pomalé nabíjení elektrických automobilů při parkování, stále více spojené s místními fotovoltaickými zdroji. Výrobci osobních automobilů již proto v posledních letech rezignovali nejen na vývoj spalovacích automobilů, ale i na vývoj vodíkových automobilů. V souladu s požadavky trhu se soustředí prakticky výhradně jen na elektrické automobily s lithiovými akumulátorovými bateriemi, po kterých je poptávka největší. To je na trhu spotřebního zboží přirozené chování.

Nikoliv primárně z důvodů technických, ale z důvodů ekonomických, se do dálkové autobusové dopravy či do dálkových nákladních automobilů vodíková technologie nehodí. Je technicky řešitelná, ale v těchto provozních aplikacích, pro které je typické monotónní zatěžování trakčního pohonu stálým výkonem, by nebylo možno náležitě využít efekty krátkodobého zvýšení trakčního výkonu a rekuperačního brzdění, umožněné vyrovnávacím akumulátorem, bylo by proto nutné používat vysoce výkonné, a tedy i drahé primární palivové články. Drahá vozidla a vysoké provozní náklady staví aplikaci vodíkových silničních vozidel v dálkové dopravě vůči železniční dopravě, která v dálkové dopravě disponuje liniově elektrizovanými tratěmi a dalšími benefity (nižší energetická náročnost, vyšší rychlost, vyšší produktivita vozidel i personálu, ...) do nevýhodné pozice.

Proto se logicky hledá možnost aplikace vodíku, produkovaného s využitím nadbytečné elektrické energie z volatelných obnovitelných zdrojů (což je v zemích s pokročilou úrovní dekarbonizace elektrárenství přirozenou realitou), v regionální veřejné hromadné dopravě. Ta zastávkovým způsobem jízdy při plošné obsluze území vytváří příznivé předpoklady pro aplikaci vodíkové technologie, tedy pro využití efektů krátkodobého zvýšení trakčního výkonu a rekuperačního brzdění, umožněných vyrovnávacím akumulátorem. Navíc je veřejná doprava oblastí vhodnou pro uplatnění z veřejných zdrojů podporovaných inovativních projektů.

Jedním z nich je společný výzkumný projekt DB a Siemens Mobility „H2goesRail“. Systematická elektrizace německých železnic začala již v roce 1911, tedy před plošnou elektrizací území (obcí a průmyslu). Železnice si v Německu v průběhu více než sta let vybudovala vlastní elektrárny (uhelné i vodní) a vlastní elektrickou jednofázovou distribuční síť 110 kV 16,7 Hz, ze které jsou napájeny drážní jednofázové trakční transformovny 110 kV 16,7 Hz/15 kV 16,7 Hz.

Již od počátku 21. století přechází programově elektrárenství německých železnic (ve správě DB Netz) na obnovitelné zdroje energie. Uhelné elektrárny jsou postupně odstavovány a nahrazovány elektrárnami fotovoltaickými a zejména větrnými, zřizovanými typicky v pobřežních mělčinách Severního moře. Je pozoruhodné, že energie větru vanoucího rychlostí 30 km/h pohání vlaky jedoucí rychlostí 300 km.

V roce 2021 již činil podíl obnovitelných zdrojů v energetickém mixu DB Netz 62 %, což násobně převyšuje nejen úroveň elektrárenství v ČR (podíl

obnovitelných zdrojů na hrubé výrobě elektrické energie činil v roce 2021 jen 3,2 %), ale i úroveň elektrárenství v Německu (podíl obnovitelných zdrojů dosahuje zhruba 40 %).

Při tak významném podílu volatilních zdrojů má pochopitelně elektrárenství DB Netz téměř denně v noci, kdy vlaky osobní dopravy téměř nejezdí, ale vítr nad Severním mořem fouká, schopnost vytvářet velké přebytky nepotřebné elektrické energie. Tyto přebytky v té době nejsou použitelné ani na železnici, ani ve všeobecné třífázové síti 50 Hz. Lze je však využít k výrobě vodíku elektrolyzéry ve stovky kilometrů vzdálené integrované plnicí a výrobní stanici, napájené z trakčního vedení 15 kV 16,7 Hz a situované přímo v místě provozu vodíkových vozidel.

Projekt je řešen komplexně, včetně vodíkových vozidel druhé generace Mireo Plus H (HMU), koncepčně usprádaných s cílem minimalizace spotřeby vodíku. Zvláštní pozornost je věnována součinnosti infrastrukturních a mobilních technologií v průběhu plnění vodíkových nádrží ve vozidle. Při použití tradičního způsobu je plnění tlakových vodíkových nádrží vozidla pomalým časově náročným procesem (viz nebezpečný samovolný ohřev vodíku při jeho expanzi v důsledku záporného Joule-Thomsonova koeficientu). Tato pomalost má nepříznivý vliv na produktivitu vozidel i personálu. Proto je součástí řešeného projektu „H2goesRail“ i technologie rychlého plnění založená na intenzivním chlazení vodíku a na zabezpečené datové komunikaci mezi vozidlem a plnicí stanicí (kontinuální přenos informací o teplotě a tlaku vodíku ve vozidlové nádrži z vozidla do plnicí stanice).

Systém „H2goesRail“ představuje velmi chytře promyšlené řešení, které minimalizuje jak náklady na výrobu a zpracování vodíku (s využitím levných jinak neupotřebitelných přebytků elektrické energie z vlastních volatilních zdrojů elektřiny pro napájení elektrolyzérů, kompresorů i chladících zařízení), tak i náklady na dopravu vodíku k místu užití (výrobou vodíku s využitím odběru elektrické energie z trakčního vedení až v místě plnicí stanice). Použitá koncepce je však úzce spojena se specifiky systému 15 kV 16,7 Hz.

Předpis Evropského parlamentu a rady k podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie nebyl vydán jako přímo účinné nařízení, ale jen jako směrnice. To umožnilo poslancům Parlamentu ČR, aby při zavádění této evropské předlohy do českého zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie doplnili formou poslaneckého pozměňovacího zákona nevhodné ustanovení, podle kterého nesmí ČR výkupní cenu elektrické energie meziročně snížit o více než 5 %. Tím vznikla investorům do budování fotovoltaických elektráren v ČR jedinečná příležitost výborně profitovat. V průběhu roku 2010 byl proto instalovaný výkon fotovoltaických elektráren na území ČR prudce zvýšen ze 0,465 MW na 1,959 GW. Po napravení zmíněné chyby (vyšším zdaněním výnosů) investice do stavby nových FV elektráren a území ČR prakticky ustaly, jejich souhrnný instalovaný výkon dlouhodobě stagnoval (2011: 1,971 GW, 2021: 2,083 GW). Až po více než desetileté přestávce se budování fotovoltaických elektráren v ČR znovu rozbíhá.

Takto v ČR vzniklá více než desetiletá pauza v budování fotovoltaických i větrných elektráren způsobila, že ve srovnání s jinými zeměmi EU, i mimo Evropu, je podíl výroby elektrické energie z volatilních obnovitelných zdrojů v ČR stále

ještě velmi nízký (v roce 2021 měly v ČR fotovoltaické a větrné elektrárny jen 3,2% podíl na hrubé výrobě elektrické energie).

Paradoxně tak již i dopravci v ČR, podobně jako v jiných zemích, mají možnost pořídit si vodíková vozidla, ale základní motiv pro jejich aplikaci, dostatek levné přebytečné elektrické energie z volatelných zdrojů k jejímu ukládání do vodíku, nastane v ČR v závislosti na vývoji struktury elektrárenství až v dalších letech.

5. Nízkoemisní vozidla

Pro úplnost je vhodné zmínit nejen vozidla bezemisní, ale i vozidla nízkoemisní, reprezentovaná aktuálně zejména dvouzdrojovými (duálními) lokomotivami trolej/diesel. Především v nákladní dopravě jsou v řadě případů v ČR používány k vozbě vlaku motorové lokomotivy i v aplikacích, kdy se většinu cesty pohybují pod trakčním vedením. Výměna lokomotiv by byla operativně složitá, a tak nezřídka vede motorová lokomotiva 90 až 95 % délky trasy vlak pod trakčním vedením. Typickými příklady jsou přímé ucelené nákladní vlaky, začínající či končící na neelektrizované trati, a též manipulační nákladní vlaky na elektrizovaných železničních tratích.

Výsledkem této situace je, že motorové lokomotivy v ČR uskutečňují na elektrizovaných tratích dvakrát tak velký dopravní výkon, jak na neelektrizovaných tratích:

- na neelektrizovaných tratích je uskutečněno jen 4,5 % dopravních výkonů nákladní dopravy,
- celkem v ČR zajišťují motorové lokomotivy 14 % dopravních výkonů nákladní dopravy.

Racionálním řešením jsou dvouzdrojové (duální) lokomotivy trolej/diesel. V zásadě jde o motorové lokomotivy s elektrickým přenosem výkonu, doplněné o elektrické vstupní obvody, které jim na elektrizovaných tratích či kolejích umožňují odebírat a využívat elektrickou energii z liniového trakčního vedení. Tím je doba používání spalovacího motoru minimalizována.

6. Potenciál železnice

Česká železnice přešla kolem roku 2009 z dlouhodobého poklesu přepravních výkonů osobní i nákladní dopravy do období růstu přepravních výkonů osobní i nákladní dopravy. Tento růstový trend se po specifických podmínkách let 2020 a 2021 (ochromení lidské společnosti pandemií Covid 19) v roce 2022 znovu obnovuje.

Je pozoruhodné, že železniční dopravní systém, vybudovaný v průběhu 19. století v podmínkách tehdejší struktury osídlení s dominantní rolí vesnic vázaných na rukodělné zemědělství, v podmínkách tehdejší struktury konečné spotřeby energie vázané především na spalování železnicí dopravovaného uhlí a v podmínkách tehdejšího charakteru lidské práce a k ní potřebné vzdělanosti, nezankl a našel smysluplné uplatnění v multimodální mobilitě 21. století. Tedy v podmínkách zcela jiného charakteru osídlení, koncentrovaného do měst a jejich blízkého okolí, kdy vesnice již nezásobují města jen hmotnými agrárními produkty,

ale především pracovními silami, kterým vesnice poskytují kvalitní bydlení, v podmínkách zcela jiné struktury konečné spotřeby energie s dominantní rolí elektrické energie a kapalných a plyných paliv přepravovaných především produktovody, a v podmínkách zcela jiného charakteru lidské práce a k ní potřebné vyšší vzdělanosti.

Tento úspěch železnice je výsledkem mohutných finančních toků z veřejných zdrojů, které v posledních desetiletích do rozvoje železnice plynou. Jde o finanční částky srovnatelné se školstvím, zdravotnictvím či armádou. Je nepochybně správné, že železnice je takto rozvíjena, neboť z mnoha důvodů (vysoká výkonnost, rychlost, pohodlí, aktivní využití času stráveného cestováním, nízká energetická náročnost, technicky vyřešená nezávislost na fosilních palivech, environmentální vlivnost, humanizace měst...) je přirozenou páteří udržitelné multimodální mobility.

Obrazem schopnosti moderní železnice je růst přepravních výkonů osobní železniční dopravy v rozmezí let 2010 až 2019, kdy v ČR vzrostl počet registrovaných osobních automobilů na 132 %:

- zvýšení přepravních výkonů osobní železniční dopravy na 166 %,
- zvýšení střední přepravní vzdálenosti osobní železniční dopravy na 141 %,
- zvýšení přepravních výkonů mezistátní osobní železniční dopravy na 598 %,
- zvýšení přepravních výkonů osobní železniční dopravy mezi Prahou (a Středočeským krajem) a Brnem (a Jihomoravským krajem) na 493 %.

Tyto hodnoty mnohanásobně předčily všechny prognózy. Příčina tohoto úspěchu české železnice je dána, jak již bylo výše uvedeno, logickým součinem tří nutných podmínek:

- **kvalitní dráha** (jde zejména o upgrade tranzitních železničních koridorů na rychlost až 160 km/h),
- **kvalitní vozidla** (budování nového moderního vozidlového parku s nejvyšší provozní rychlostí 200 km/h až 230 km/h, s kvalitními chodovými vlastnostmi a příjemným interiérem (prostornost, tlakotěsnost, klimatizace, vakuová WC, palubní catering...),
- **kvalitní jízdní řád** (pravidelný krátký takt).

Tahounem růstu přepravních výkonů osobní železniční dopravy v ČR je vnitrostátní i mezistátní osobní doprava na modernizovaných tratích tranzitních železničních koridorů. Tento úspěch české železnice u obyvatelstva vyústil v rozhodnutí vlády ČR zvýšit kvalitu a kapacitu železnic v ČR doplněním konvenčního železničního systému o nově vybudovaný vysokorychlostní železniční systém. Stalo se tak na návrh Ministerstva dopravy ČR a definuje jej dokument Program rozvoje rychlých železničních spojení v ČR, schválený vládou ČR dne 22. května 2017 jejím usnesením č. 389/2017.

Tato iniciativa ČR našla souhlasné pochopení u všech sousedních států (AT, DE, PL, SK) i u centrálních orgánů EU a byla proměněna v integraci ČR do evropského vysokorychlostního železničního systému. Zařazení linie severozápad

– jihovýchod v trase Berlin – Dresden – Ústí nad Labem – Praha – Jihlava – Beno – Wien / Bratislava – Budapest (via Vindobona) včetně odbočné větve Brno – Ostrava – PL do hlavní sítě evropského vysokorychlostního železničního systému TEN-T s prioritou výstavby a financování rozhodujících úseků do roku 2030 je významným úspěchem české železniční diplomacie. Uskutečnění tohoto projektu posune českou i evropskou železnici významně vpřed.

7. Zatížení železniční sítě

Na druhé straně je však realitou, že železniční síť v ČR je zatížena, respektive využívána, velmi nerovnoměrně:

- 90 % dopravních výkonů osobní železniční dopravy je soustředěno na 35 % délky železniční sítě,
- 90 % dopravních výkonů nákladní železniční dopravy je soustředěno na 20 % délky železniční sítě.

Železnice v ČR nefungují jako plnohodnotná síť, ale jako několik málo dopravně přetížených a snadno zranitelných tahů bez redundance, zatímco potenciál ostatních železničních tratí není náležitě využit. Správa železnic udržuje jejich provozuschopnost a investuje do jejich modernizace, ale jejich dopravní zatížení je nízké.

Ke zvládnutí přepravních úloh určených české železnici v multimodální modalitě, daných společenským zadáním, vedou tři cesty:

- urychlené budování vysokorychlostního železničního systému,
- posílení kapacity a výkonnosti přetížených železničních koridorů,
- vyšší zapojení dalších tratí do plnění přepravních úloh železnice.

Je logické, že prvořadá pozornost je věnována rychlé výstavbě pilotních projektů vysokorychlostních tratí na území ČR, aby již v horizontu roku 2030 mohly na sebe převzít vozbu rychlíků a expresních vlaků a tím odlehčily nejzatíženější tratě tranzitních koridorů v okolí Prahy, Brna a Ostravy s cílem zvýšit disponibilní kapacitu konvenčních tratí pro potřeby nákladní dopravy a regionální osobní dopravy:

- Polabí a Střední Čechy (Praha – Poříčany – Světlá nad Sázavou),
- Moravská Brána 1 a 2 (Prosenice – Ostrava),
- Vysočina fáze 1 a Jižní Morava (Velká Bíteš – Brno-Vídeňská – Rakvice).

Důsledná rychlostní segregace umožní dosáhnout vysokou dopravní kapacitu jak původní konvenční tratě, tak i nové vysokorychlostní tratě.

Významná investiční činnost směřuje i ke zvýšení kapacity nejvíce zatížených hlavních elektrizovaných tratí:

- konverze elektrického napájení drah systémem 3 kV, dimenzovaného na přelomu 40. a 50. let minulého století pro dopravu nákladních vlaků rychlostí 65 km/h a rychlíků rychlostí 100 km/h až 120 km/h elektrickými

lokomotivami řad 140 (E 499.0) a 181 (E 669.1) o výkonu 2 MW až 3 MW, na jednotný systém 25 kV s výrazně vyšší výkonovou zatížitelností. Pro nynější dopravu nákladních vlaků rychlostí 100 km/h a rychlíků rychlostí 160 km/h až 200 km/h elektrickými lokomotivami o trakčním výkonu 6 MW je to nutností. Cílem konverze je zajistit jízdu vlaků v těsném sledu bez snižování kapacity dráhy dlouhými elektrickými následnými mezidobími, bez prodlužování jízdních dob vlaků v důsledku snížení trakčního výkonu poklesem napájecího napětí pod mez kvality podle TSI ENE (90 % jmenovité hodnoty). Cílem konverze je také snížení nákladů na platbu za elektrickou energii snížením ztrát v trakčním vedení a plnohodnotným využitím rekuperačního brzdění (bez maření energie v brzdových odporcích). Zejména na úsecích s velkými podélnými sklony je důležité doopravovat i těžké vlaky náležitě rychle, tedy použitím vysoce výkonných trakčních vozidel dosahovat k tomu potřebný vysoký měrný trakční výkon (kW/t). Podstatnými přínosy konverze napájecího napětí 3 kV na 25 kV je i prevence vůči poškozování stavebních konstrukcí účinky stejnosměrných bludných proudů, neboť nutné následné opravy jsou spojeny s rozsáhlou výlukovou činností, a zajištění provozuschopnosti dráhy při námraze a ledovce na trakčním vedení aplikací vyššího napětí v kontaktu sběrače proudu s trolejovým drátem,

- zavedení výhradního provozu všech vlaků pod dohledem ETCS s cílem minimalizace počtu železničních nehod které ochromují provoz na dráze a s cílem využití benefitů ETCS, zejména jízdy vlaků v těsnějším sledu v důsledku rozdělení dosavadních více než 1 000 m dlouhých prostorových oddílů na několik kratších,
- zřízením mimoúrovňových přesmyků v železničních stanicích, respektive uzlech, kde dochází ke křížení kolejových tras,
- budování, respektive posilování, objízdných tras paralelně s nejzatíženějšími tranzitními koridory (labská pravobřežní trať, Velký Osek – Choceň, Ústí nad Orlicí – Choceň...).

Velmi důležitým tématem je i zapojení dalších železničních tratí do plnění úloh železnice v oblasti přepravy osob i věcí. A to jak pro odlehčení přetížených tranzitních koridorů (nemá logiku dopravovat zboží z ČR do Bavorska přetíženým labským údolím přes Sasko), tak dopravní obsluze větší plochy území ČR železnicí. To je velmi důležité ke splnění úlohy, kterou železnici určuje sdělení Evropské komise COM (2019) 640 Green deal a to převzít do roku 2050 ze silnice 75 % přepravních výkonů nákladní dopravy.

Nákladní automobilová doprava se v ČR vyznačuje střední přepravní vzdáleností 81 km (respektive 53 km ve vnitrostátní dopravě) a disponuje sítí silničních a dálničních komunikací v celkové délce 55 744 km. K převzetí 75 % její úlohy železnicí je potřeba zapojit celou síť železnic v ČR (9 542 km), nikoliv jen tratě evropské sítě TEN-T, které v současnosti zajišťují 92 % dopravních výkonů nákladní dopravy na české železnici, ale z hlediska délky jde jen o 2 685 km, což je 28 % z celkové délky železniční sítě.

Jakkoliv je všeobecně vnímáno, že česká železniční síť je přetížena nákladní dopravou, není tomu tak. Střední celosíťový přepravní tok železniční nákladní dopravy v tunách za den (podíl celosíťových denních přepravních výkonů nákladní dopravy netto tkm/den a délky sítě v km) dosahuje v ČR hodnoty jen 4 740 t/den. To je ve srovnání se sousedními státy méně než poloviční hodnota: SK 7 160 t/den, PL 9 300 t/den, D 9 200 t/den, AT 11 000 t/den.

Příčinou zdánlivého přetížení české železniční sítě nákladní dopravou je již zmíněná koncentrace 90 % dopravních výkonů nákladní železniční dopravy na 20 % délky železniční sítě, což je velký nepoměr, překračující i Paretovo pravidlo elit (80 % / 20 %). Železniční síť v ČR tedy není nákladní dopravou přetížena, je jen nákladní dopravou nerovnoměrně zatížena.

Stojí za povšimnutí, že sousední státy, které mají ve srovnání s ČR zhruba dvojnásobný střední celosíťový přepravní tok železniční nákladní dopravy, mají též dvojnásobnou poměrnou délku elektrizace železniční sítě (CZ 34 %, SK 49 %, PL 75 %, D 61 %, AT 71 %). To jim umožňuje rozprostřít nákladní železniční dopravu na větší délku tratí.

Nákladní doprava v ČR z neelektrizovaných tratí prakticky vymizela. Ačkoliv je v ČR elektrizováno jen 34 % délky železniční sítě, zajišťují v ČR elektrizované železniční tratě 86 % dopravních výkonů v osobní dopravě a 95,5 % výkonů v nákladní dopravě. Tedy 66 % železniční sítě, což jsou tratě bez liniové elektrizace, zajišťují jen 14 % dopravních výkonů v osobní dopravě a pouhá 4,5 % výkonů v nákladní dopravě. Železniční tratě s naftovou vozbou jsou pro osobní a zejména nákladní dopravu málo atraktivní. Ve srovnání s elektrickou vozbou se naftová vozba vyznačuje nižší výkonností, nižší rychlostí, nižší produktivitou, vysokými náklady na energii a vysokými náklady na údržbu vozidel. V oblasti osobní dopravy vysoké náklady naftové vozby na konečného zákazníka železnice (cestujícího) tato ekonomická realita nedoléhá, neboť je pokryta kompenzací placenou objednatelům dopravci. Tato kompenzace dosahuje v přepočtu na vlakový kilometr i u malých motorových vozů s několika desítkami sedadel zhruba stejnou úroveň (kolem 100 Kč/km) jako u rychlíků na hlavních elektrizovaných tratích, tedy s výrazně vyšší přepravní kapacitou a využívaných řádově vyšším počtem cestujících. Díky těmto kompenzacím funguje regionální osobní doprava i na neelektrizovaných železničních tratích.

V nákladní dopravě podpora z veřejných zdrojů není, a tak nákladní doprava na neelektrizovaných tratích z ekonomických důvodů prakticky zanikla. Nedokázala cenově konkurovat silniční dopravě. Významný vliv na nízkém zapojení neelektrizovaných tratí do nákladní dopravy má i nutnost výměny lokomotiv (elektrické za motorovou), která dopravu vlaku zdržuje a zásadním způsobem snižuje produktivitu vozidel i personálu.

Důsledkem chybějící liniové elektrizace je degradace některých hlavních železničních tratí, které ještě v nedávné minulosti sloužily intenzivní nákladní dopravě těžkých vlaků s postrky, dálkovým osobním vlakům i rychlíkům. Dnes na nich zůstala jen skomírající regionální osobní doprava. Objednatel regionální osobní dopravy se zamýšlí nad její smysluplností a správa železnic hledá argumenty pro udržování jejich provozuschopnosti, neboť vnímá jejich hodnotu. Nejde totiž o nicotné vedlejší tratě místního významu, ale o hlavní kmenové tratě

významných železničních společností. Například Chomutov – Žatec – Praha Buštěhradské dráhy nebo Most – Louny – Praha Pražsko-Duchcovské dráhy. Vlaky je objíždějí po delší, přetížené a úvratové, ale elektrizované trati přes Ustí nad Labem.

8. Národní implementační plán subsystému energie

Není únosné, aby ve 21. století závisela bezpečnost železniční dopravy na neomylnosti člověka. Ve snaze zvýšit bezpečnost vlakové dopravy vytvořilo v roce 2021 Ministerstvo dopravy v těsné součinnosti se Správou železnic Plán moderního zabezpečení české železnice, který stanoví postupné kroky, kterými bude v čase a prostoru železnice v ČR přecházet na výhradní provoz všech vlaků pod dohledem jednotného evropského vlakového zabezpečovače ETCS. A to zhruba do roku 2030 na tratích celostátních sítě TEN-T a na dalších důležitých tratích, a paralelně s tím i ve zjednodušené podobě na nejméně zabezpečených regionálních tratích, a do roku 2040 i na ostatních celostátních a regionálních tratích. Hlavním výstupem Plánu moderního zabezpečení české železnice je mapa (respektive i tabulka) železniční sítě ČR s přiřazením aplikační úrovně ETCS a letopočtu realizace u jednotlivých železničních tratí. To je jak pro Správu železnic, tak i pro objednatele veřejné dopravy a pro dopravce velmi důležitý strategický řídicí dokument, který základní předpoklad pro ekonomicky efektivní koordinaci investic do traťové části ETCS a do mobilních částí ETCS. Schválení vládou ČR a ukotvením výsledků Plánu moderního zabezpečení české železnice v Prohlášení o dráze mu dává potřebnou hodnověrnost a závaznost.

V roce 2022 pristoupilo MD ČR v podobném stylu ke zpracování národního implementačního plánu subsystému energie (NIP ENE), jehož cílem je vytvořit do roku 2040 na české železnici infrastrukturní energetické zázemí pro provoz bezemisních vozidel v dálkové osobní dopravě, v regionální osobní dopravě i v nákladní dopravě. V zásadě jde o to, aby jak Správa železnic, tak i objednatelé veřejné dopravy (zejména stát v případě nadregionální dopravy a kraje v případě nadregionální dopravy) i dopravci měli k dispozici:

- teritoriální a časový plán, jak budou v letech 2023 až 2040 další železniční tratě postupně liniově elektrizovány, a to výhradně již jednotným systémem 25 kV (s cílem, dosáhnout v ČR, podobně jako v okolních zemích EU, v horizontu roku 2040 zhruba 70% podíl elektrizovaných železnic),
- teritoriální a časový plán, jak bude v letech 2023 až 2040 napájení již liniově elektrizovaných tratí postupně sjednocováno na systém 25 kV,
- teritoriální a časový plán, jak budou v letech 2023 až 2040 mimo oblast souvisle liniově elektrizovaných tratí postupně budovány napájecí body 25 kV pro akumulátorová vozidla,
- teritoriální a časový plán, jak budou v letech 2023 až 2040 mimo oblast liniově elektrizovaných tratí postupně budovány plnicí stanice pro vodíková vozidla, pokud se to ukáže efektivním a využitelným po dobu technické životnosti vozidel i stacionární vodíkové technologie.

Oba výše uvedené dokumenty (Plán moderního zabezpečení české železnice a Národní implementační plán subsystému energie) jsou navzájem velmi silně provázány:

- pořadí priorit vybavování jednotlivých tratí moderním vlakovým zabezpečovačem ETCS a pořadí priorit liniové elektrizace jednotlivých tratí je velmi podobné, neboť jak pořadí naléhavosti zvětšení bezpečnosti vlakové dopravy, tak pořadí naléhavosti úspor energie a emisí, je úměrné intenzitě dopravného provozu,
- v zájmu koordinace investic do tratí a vozidel je rozumné, aby elektrizace trati předcházela před zavedení výhradního provozu všech vlaků pod dohledem ETCS. Jde o to, aby se předešlo dvojí instalaci mobilní části ETCS (napřed na přechodnou dobu do neperspektivních naftových vozidel, následně do cílového řešení v podobě elektrických vozidel.

Přechod české železnice na současný běžný evropský standard v podobě liniové elektrizace alespoň 70 % délky železniční sítě nelze vnímat jako avantgardní počín, jde o odstranění investičního dluhu z minulosti. Poválečná elektrizace Československých železnic (Žilina – Spišská Nová Ves 25. 2. 1956, Praha – Česká Třebová 7. 7. 1957) začala ve vazbě na předválečný vývoj nepříliš šťastně zvoleným stejnosměrným systémem 3 kV. Československo bylo poslední zemí která jej zavedla, v té době již i africké Kongo elektrizovalo své železnice výkonnějším a hospodárnějším systémem 25 kV, který byl následně jako druhý zaveden i v Československu.

Koncem 60. let minulého století bylo přijato rozhodnutí o dlouhodobé koexistenci dvou systémů napájení československých železnic:

- tratě na jih od hlavního tahu (Tratě družby) Most / Praha – Přerov – Ostrava / Valašské Meziříčí – Žilina – Košice – Čierna nad Tisou budou elektrizovány systémem 25 kV,
- tratě na sever od hlavního tahu (Tratě družby) Most / Praha – Přerov – Ostrava / Valašské Meziříčí – Žilina – Košice – Čierna nad Tisou budou elektrizovány systémem 3 kV.

S odstupem 60 let je zřejmé, že první polovina deklarovaného záměru byla naplněna. V převážně agrárně orientované jižní části ČR disponuje železnice hlavními tratěmi liniově elektrizovanými systémem 25 kV (dvojkolejnými s traťovou rychlostí do 160 km/h) a postupně vybavovanými jednotným evropským vlakovým zabezpečovačem ETCS.

Druhá polovina deklarovaného záměru nebyla naplněna. V převážně průmyslově orientované severní části ČR mezi Děčínem a Opavou disponuje železnice jen pomalými a nevýkonnými jednokolejnými tratěmi vybudovanými před 150 lety s cílem zásobovat Liberecko uhlím. Tuto jejich funkci již před několika lety převzala elektrická přenosová a distribuční vedení. Železniční tratě na Lounsku, Českolipsku, Mladoboleslavsku, Liberecku, Trutnovsku, Jesenicku i Krnovsku zůstaly v podobě pomalých jednokolejek bez liniové elektrizace a bez ETCS. Příčina je prostá: k jejich liniové elektrizaci systémem 3 kV by bylo z důvodu jeho nízké přenosové schopnosti nutno postavit velké množství (více než 50)

trakčních napájecích stanic a přivést k nim distribuční třífázové vedení, zřídít těžké trakční vedení s vodiči o velkém průřezu, tedy napínané velkými silami, a proto s mohutnými základy podpěr, a též chránit okolní v zemi uložené kovové konstrukce proti účinkům stejnosměrných bludných proudů.

Tyto skutečnosti se negativně projevily při řešení technickoekonomických studií, posuzujících reálnost elektrizace železnic na severu ČR systémem 3 kV, vycházely negativně. Po roce 2016, kdy Centrální komise MD ČR přijala rozhodnutí o postupném přechodu české železnice na jednotný systém napájení drah 25 kV, situace zásadním způsobem změnila. Sever ČR již nenáleží do zóny 3 kV, ale podobně jako jih ČR již může být elektrizován investičně a provozně výhodnějším systémem 25 kV, což zásadním způsobem ovlivnilo technickoekonomickou reálnost elektrizace železničních tratí na severu ČR:

- vysoká přenosová schopnost – poměr gradientu ztrát (kW/km) k přenášenému výkonu (kW) – trakčního vedení 25 kV ve srovnání se systémem 3 kV zásadním způsobem snižuje potřebný počet trakčních napájecích stanic,
- trakční napájecí stanice 25 kV není nutno rozmísťovat podél jednotlivých tratí (metoda korálek na niti), ale lze je zřizovat v železničních uzlech společně pro více tratí (metoda sluníček),
- umístování nových trakčních napájecích stanic 25 kV v železničních uzlech, ležících ve velkých průmyslových městech, též usnadňuje jejich připojení ke třífázové distribuční elektrické síti 110 kV, která v nich je k dispozici,
- připravená konverze napájení labské pravobřežní trati a odklonové trati Velký Osek – Choceň ze 3 kV na 25 kV usnadní napájení z nich odbočujících nově elektrizovaných železničních tratí na severu ČR od jihu (metoda rybí kosti). Ostatně právě vysoká přenosová schopnost trakčního vedení 25 kV, která umožňuje napájet odbočné železniční tratě z již vybudovaných trakčních napájecích stanic na hlavních elektrizovaných tratích byla jedním z důvodů, proč byla konverze napájení českých železnic ze 3 kV na 25 kV zahájena právě úsekem Nadakonice – Říkovice. Posunutí střídavého systému více na sever z Nedakonice do Říkovice vytvořilo příznivé podmínky pro liniovou elektrizaci železničních tratí Staré Město – Luhačovice / Bojkovice / Veselí nad Moravou, Otrokovice – Vizovice a Kojetín – Hulín a v budoucnu i Hulín – Valašské Meziříčí bez potřeby výstavby nových trakčních napájecích stanic, což by při použití systému 3 kV nebylo možné. Nezbytná výstavba nových trakčních napájecích stanic 3 kV (a jejich připojení k distribuční elektrické síti) by elektrizaci předmětných tratí výrazně zkomplikovala a zdražila,
- lehké trakční vedení 25 kV (malé průřezy vodičů, nízké napínací síly) je stavebně nenáročné (nízké příčné síly a namáhání základů zejména v obloucích),
- z trakčního vedení 25 kV lze snadněji napájet spotřebiče na straně infrastruktury (typicky: elektrický ohřev výměn), není nutné budovat přívod 22 kV.

Výchozí podmínky k rozvoji liniové elektrizace dalších tratí jsou a české železnici teritoriálně výrazně odlišné, což je dáno vývojem v minulosti:

- **v jižní části ČR** je k dispozici základní síť hlavních tratí elektrizovaných systémem 25 kV (s plánem dalších rozšíření: Plzeň – Česká Kubice, Veselí nad Lužnicí – České Velenice, Blažovice – Veselí nad Moravou, Jihlava – Zastávka/Znojmo...), která vytváří příznivé předpoklady pro elektrizaci mnoha odbočných či spojovacích tratí výstavbou samotného trakčního vedení bez potřeby zřizování nových trakčních napájecích stanic. Takto již řadu let funguje napájení tratě České Budějovice – České Velenice, jednostranně napájené z TNS Nemanice (původně uvažovaná trakční napájecí stanice České Velenice nebyla zřízena z důvodu potíží s průchodností územím nové linky 110 kV pro její připojení k distribuční síti). Pochopitelně je nutno jednotlivé případy prošetřit, ale je řada tratí, u kterých objednatelé veřejné dopravy požadují jejich elektrizaci, kterou je reálné rychle a levně uskutečnit (Zdice – Písek, Plzeň – Žihle, Klatovy – Železná Ruda, Planá – Tachov, Horažďovice – Sušice, Cheb – Pomezí, Cheb – Aš, Karlovy Vary – Mariánské Lázně, Karlovy Vary – Nejdek, Písek – Tábor, Strakonice – Vimperk, Čičenice – Prachatice, České Budějovice – Kájov, Havlíčkův Brod – Hlinsko...). Na dopravně méně zatížených tratích, navazujících na síť železnic elektrizovaných systémem 25 kV, jsou vytvořeny vhodné podmínky pro provoz dvouzdrojových vozidel trolej/akumulátor (BEMU),
- **ve střední části ČR**, určené linií bývalého hlavního tahu z podkrušnohorské uhelné pánve labským údolím dále na východ přes Moravu na Slovenskou bude v blízké budoucnosti procházet konverzí ze 3 kV na 25 kV. Přechod na vyšší napětí zásadně zvýší přenosovou schopnost trakčního vedení, což umožní snadnou a levnou elektrizaci železničních tratí odbočujících směrem na Rumburk, Českou Lípou, Mladou Boleslav, Starou Paku, Trutnov, Meziměstí, Jeseník a Krnov,
- **v severní části ČR**, rozlehlé území mezi Děčínem a Opavou, je až na výjimky (Ústí nad Orlicí – Lichkov) bez liniové elektrizace železnic. Zde by nebylo vhodné řešit liniovou elektrizaci cestou jednotlivých dílčích projektů. Systémový přístup je nutností, je vhodné začít rozmístěním budoucí sítě trakčních napájecích stanic 25 kV. A to nikoliv z úhlu pohledu potřeb roku 2022, ale z pohledu horizontu roku 2040. Tedy dimenzovat je pro napájení nejen současných hlavních tratí, ale i nové konvenční železniční trati Praha – Liberec – DE/PL s nejvyšší provozní rychlostí 200 km/h a nových vysokorychlostních železničních tratí RS 5 Východní Čechy a Podkrkonoší (Poříčany – Hradec Králové – Trutnov – Wrocław).

Nově budované trakční napájecí stanice 25 kV je vhodné situovat v železničních uzlech (Mladá Boleslav, Česká Lípa, Liberec, Trutnov, ...), aby posloužily více železničním tratím a aby využily tamní 110 kV distribuční elektrickou síť, a řešit je s měničovou multilevel technologií 3 AC/DC/ 1 AC v systému jednotné fáze. Tedy se spojitým dvoustranným napájením trakčního vedení bez neutrálních polí se střídáním fází. Vybudování základní sítě hlavních tratí elektrizovaných systémem 25 kV i na severu ČR je základním předpokladem

pro elektrizaci mnoha odbočných či spojovacích tratí výstavbou samotného trakčního vedení bez potřeby zřizování dalších trakčních napájecích stanic. Liniová elektrizace hlavních tratí zároveň zajistí i příležitosti pro napájení dvouzdrojových vozidel trolej/akumulátor (BEMU) provozovaných na odbočných vedlejších tratích.

Závěr

Budování i fungování železnic v 19. století bylo významně spojeno s fosilními palivy – železnice byla k využívání k přepravě uhlí do měst a do průmyslových závodů a sama uhlí potřebovala jako palivo pro parní lokomotivy. V průběhu 21. století byly parní lokomotivy nahrazeny na důležitých tratích elektrickou vozbou a na méně důležitých tratích naftovou vozbou, tedy k výrazné dekarbonizaci železniční dopravy již došlo. Nyní zbývá tento proces programově dokončit. Ale cílem není jen snížení spotřeby uhlovodíkových paliv v železniční dopravě, ale především zvýšit podíl energeticky úsporné a elektrizované železnice na celkových přepravních výkonech osobní i nákladní dopravy.

Jakkoliv je železnice organizačně rozdělena na jednotlivé subjekty (provozovatel dráhy, provozovatelé drážní dopravy, objednatelé veřejné dopravy) je zcela zřejmé, že přechod na plně bezemisní dopravu osob i věcí vyžaduje jasnou společnou vizi všech partnerů, technologickou jednotnost a koordinaci investic do vozidel i do infrastrukturního energetického zázemí pro jejich provoz.

A to jak na úrovni nákladní dopravy, tak i na úrovni dálkové osobní dopravy (včetně objednávek veřejné služby) a regionální osobní dopravy (včetně objednávek veřejné služby). Nikoliv však izolovaně, ale koordinovaně s dalšími průřezovými akcemi podobného typu (zavádění jednotného evropského vlakového zabezpečovače ETCS na tratích a vozidlech, zvyšování traťové rychlosti na 200 km/h na tratích konvenčních železničního systému a budování vysokorychlostního železničního systému). Parametry a ekonomickou efektivnost investic je nutno posuzovat nikoliv z úhlu pohledu roku 2022, ale z úhlu pohledu jejich efektivního využívání minimálně v rozsahu let 2027 až 2057. Tak, jak odpovídá předpokládané době technického života nyní uvažovaných železničních vozidel i zařízení železniční infrastruktury.

Lektorovali:

Ing. Vit Sedmidubský,

vedoucí oddělení dopravní politiky a čisté mobility, Odbor strategie
Ministerstva dopravy ČR

Ing. Jiří Pavel, Ph.D.

Správa železnic, ředitel odboru strategie

6. Zavedení taktové dopravy na trati Pardubice – Havlíčkův Brod

Josef Zitko ⁷

Klíčová slova

taktová doprava, grafikon vlakové dopravy, trať 238, Pardubice, Havlíčkův Brod

Keywords

periodical traffic, timetable, line 238, Pardubice, Havlíčkův Brod

Anotace

Příspěvek se zabývá návrhem taktového jízdního řádu na železniční trati číslo 238 spojující Pardubice a Havlíčkův Brod. V úvodní části tato práce charakterizuje infrastrukturu a vozidla na této trati. Dále je představen návrh taktového jízdního řádu. Návrh je porovnán se stavem v roce 2022 pomocí kvalitativních a kvantitativních ukazatelů. Zavedení nového jízdního řádu počítá s minimálními zásahy do infrastruktury.

Abstract

The article deals with the draft of timetable of railway line number 238 connecting Pardubice and Havlíčkův Brod. In the introductory part, this work characterizes the infrastructure and vehicles of this line. Furthermore, the draft timetable is presented. The proposal is compared with the timetable valid for the period of 2022 using quantitative and qualitative indicators. The introduction of a new timetable envisages minimal interventions in the infrastructure.

⁷ Bc. Josef Zitko, student navazujícího magisterského studia „Technologie a management v dopravě“, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice.

Úvod

Mezi základní standardy železničního provozu se řadí v první řadě bezpečnost. Dále pak rychlost, spolehlivost a komfort poskytovaný při přepravě. Je potřeba aby tyto standardy poskytovala infrastruktura, jak stabilní, kam se řadí železniční tratě, nástupiště, zabezpečovací zařízení apod., tak mobilní, kam spadají především používaná vozidla. Důležité je, aby při plnění těchto standardů byla splněna určitá efektivita a neplýtvalo se veřejnými prostředky při objednávání dopravy. S těmito aspekty je úzce spjata zavádění taktové dopravy. Pro cestující je tím zajištěna pravidelná nabídka spojení, pravidelně vycházející přípoje a přehlednost nabídky.

1. Trať Pardubice – Havlíčkův Brod

Železniční trať z Pardubic do Havlíčkova Brodu propojuje města Pardubice, Chrudim, Slatiňany, Chrast, Skuteč, Hlinsko, Ždírec nad Doubravou, Chotěboř a Havlíčkův Brod. Cestujícími je využívána především pro dojíždění do velkých měst za prací či do škol.

Z pohledu nákladní dopravy je nejvytíženější částí trati úsek Havlíčkův Brod – Ždírec nad Doubravou. To je zapříčiněno tím, že se ve Ždírci nad Doubravou nachází pila společnosti Stora Enso Wood Products s. r. o. (1), na kterou se naváží dřevo a odváží dřevní štěpka. Ve stanicích na zbytku trati se nachází 7 pravidelných odesílatelů jednotlivých vozových zásilek. Tranzitní nákladní doprava na trati, vzhledem k absenci elektrifikace a špatným sklonovým poměrům, není.

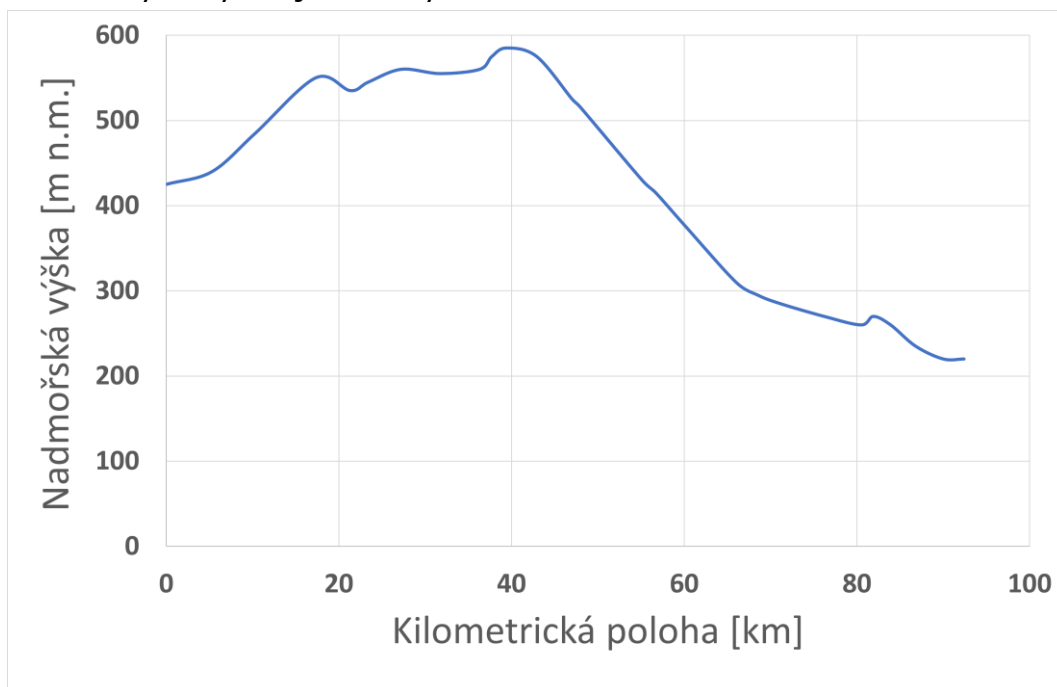
Trať z Havlíčkova Brodu do Pardubic oficiálně končí ve stanici Rosice nad Labem. Vzhledem k tomu, že všechny vlaky jsou protaženy až do stanice Pardubice hl.n., protože jejich ukončení v Rosicích nad Labem by nemělo význam, je do popisu parametrů trati zahrnut i tento úsek.

1.1 Úsek Havlíčkův Brod – Rosice nad Labem

Tato trať je u Správy železnic vedena jako dráha celostátní. Pro účely Správy železnic je vedena pod číslem 507A, v knižním jízdním řádu (JŘ) pro rok 2022 pak pod číslem 238. Trať je v celé délce jednokolejná a neelektrifikovaná. Délka tohoto úseku je 92,5 km. Stavebně i dopravně trať začíná v Havlíčkově Brodě, kde je nultý kilometr této tratě, konec je v Rosicích nad Labem.

Vzhledem k tomu, že v současné době (listopad 2022) probíhá kompletní rekonstrukce stanic Pardubice hl.n. a Rosice nad Labem včetně mezistaničního úseku, budou veškeré údaje vztaženy pro stav po modernizaci těchto stanic.

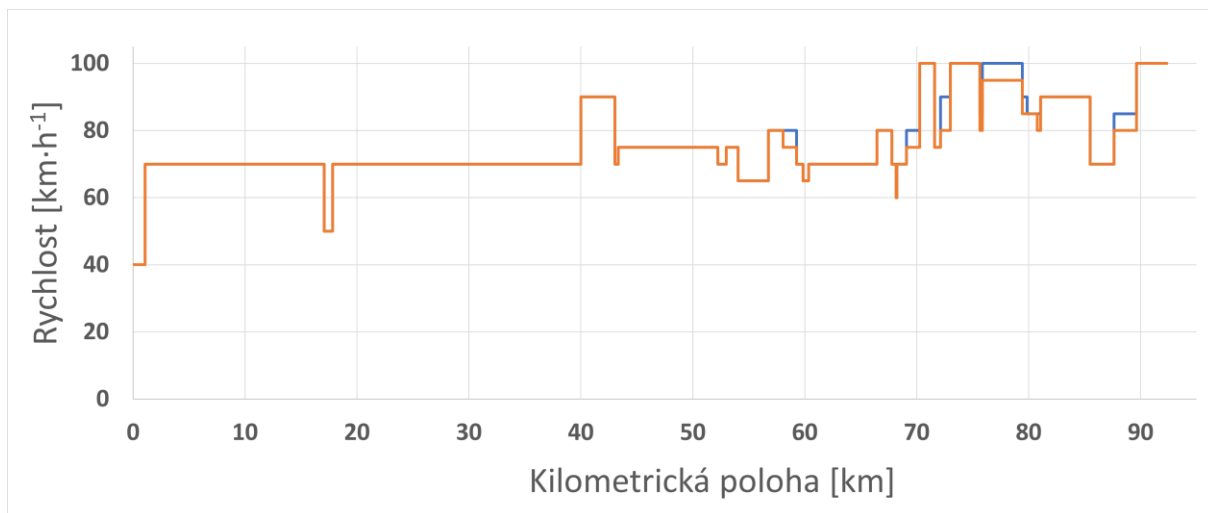
Celkový výškový profil je zobrazen na obrázku č. 1, kde byl vykreslen na základě nadmořských výšek jednotlivých stanic a zastávek.



Obrázek 1 - Výškový profil trati Havlíčkův Brod – Rosice nad Labem, zdroj: autor s využitím (2)

Nejvyšší hodnota sklonu na trati je 15,86 ‰. Takového stoupání dosahuje železniční trať v mezistaničním úseku Chrast u Chrudimi – Žďárec u Skutče. (3) Maximální rychlost na trati je 100 km·h⁻¹. Důvodem tohoto omezení je relativně malá četnost úseků, kde by se vzhledem ke směrovým obloukům dala rychlost zvýšit, dále absence vlakového zabezpečovače, který není instalován v žádném z úseků trati a limitující je i stanovená zábrzdňá vzdálenost 700 m na celé trati. Rychlost 100 km·h⁻¹ lze využít na 10,25 km trati, tj. na 11 % z celkové délky.

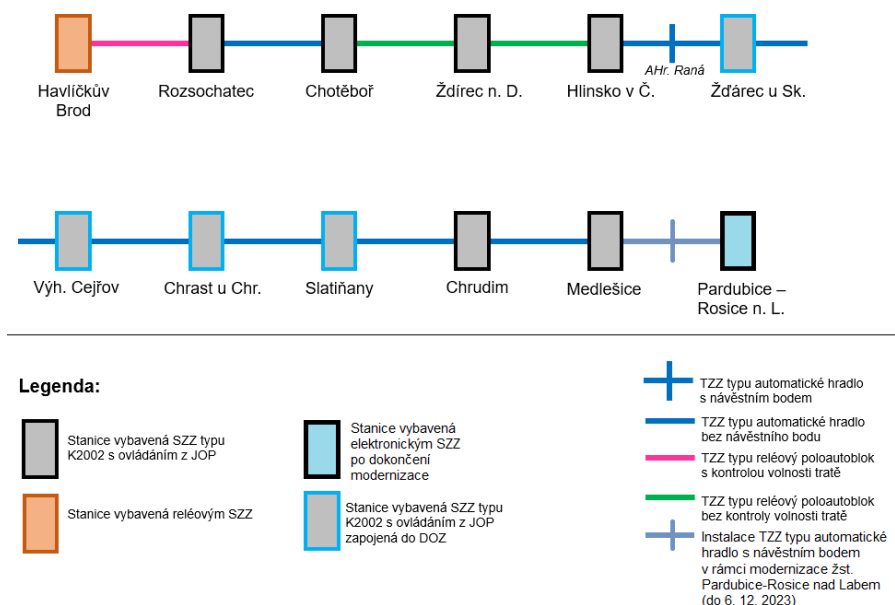
Na většině trati je stanovená traťová rychlost v rozmezí 70–100 km·h⁻¹(94,5%).(3) Detailně rychlostní profil vykresluje obrázek č. 2. Oranžová linie vyznačuje rychlostní profil V100, modrá potom rychlostní profil V130.



Obrázek 2 - Rychlostní profil trati Havlíčkův Brod –Rosice nad Labem, zdroj: autor s využitím (3)

U vlaků osobní dopravy je normativ délky dálkových vlaků stanoven na 110 m, u zastávkových vlaků na 85 m. (3)

Na obrázku č. 3 je znázorněna trať z Havlíčkova Brodu do Rosic nad Labem z pohledu jak staničního, tak traťového zabezpečovacího zařízení.



Obrázek 3 - Přehled zabezpečovacího zařízení, zdroj: autor s využitím (4)

Všechny stanice na trati jsou vybaveny staničním zabezpečovacím zařízením (SZZ) III. kategorie – elektronickým stavědlem K–2002 od firmy Starmon s.r.o. ovládané prostřednictvím jednotného obslužného pracoviště (JOP). Úsek Žďárec u Skutče – Slatiňany je navíc dálkově ovládán ze stanice Žďárec u Skutče. (5). Výjimkou je stanice Havlíčkův Brod, která je vybavena reléovým zabezpečovacím zařízením. (3) Druhou stanicí s odlišným typem SZZ jsou Rosice nad Labem, kde bude po modernizaci instalováno elektronické stavědlo, avšak jiného typu než K–2002. (6)

1.2 Úsek Pardubice–Rosice nad Labem – Pardubice hl.n.

Tento 2,117 km dlouhý úsek je v JŘ pro veřejnost přiřazen navíc k trati 031 z Pardubic hl.n. do Jaroměř. Pro účely Správy železnic je veden pod číslem 505C. Stavebně i dopravně tento úsek začíná ve stanici Pardubice hl.n., kde je nultý kilometr. (7)

Maximální sklon v tomto úseku bude po rekonstrukci na pardubickém zhlaví stanice Rosice nad Labem o hodnotě 12 ‰. Maximální rychlost v tomto úseku je projektována na 100 km·h⁻¹. Tato rychlost bude v celém úseku až po vjezdová návěstidla do stanice Pardubice hl.n., odkud je projektována rychlost 60 km·h⁻¹. (7)

V obou stanicích bude instalováno (předpoklad: prosinec 2023) nové zabezpečovací zařízení III. kategorie, které bude dálkově ovládáno z centrálního dispečerského pracoviště (CDP) v Praze. Mezistaniční úsek je pak tvořen pouze jedním oddílem, kde bude instalováno TZZ integrované do staničního zabezpečovacího zařízení. (7)

2. Vozidla

Doprava na trati je v rámci JŘ pro rok 2022 zajišťována třemi řadami hnacích vozidel, konkrétně jde o motorové jednotky (MJ) řad 814.0 a 844 a motorové vozy řady 810.

Z tabulky č. 1 vyplývá porovnání vlastností jednotlivých vozidel používaných na trati č. 238. Je vidět, že ve všech parametrech se do popředí dostává MJ řady 844. To je dáno především moderní konstrukcí této MJ. Nevýhodou je její vyšší hmotnost a s tím spojené vyšší provozní náklady, konkrétně vyšší spotřeba pohonných hmot (PHM).

Spotřeba PHM je v tabulce uvedena pro vlak zastavující ve všech stanicích a zastávkách jedoucí z Pardubic do Havlíčkova Brodu / vlak zastavující ve všech stanicích a zastávkách jedoucí z Havlíčkova Brodu do Pardubic.

Tabulka 1 - Porovnání používaných vozidel

Řada vozidla	810	814.0	844
Počet míst k sezení [míst]	55	84	120
Maximální rychlost [km·h⁻¹]	80	80	120
Spotřeba PHM [l]	41/35	53/44	97/81
Průměrné zrychlení [m·s⁻²]	0,25	0,23	0,38

zdroj: autor s využitím (8)

V navrhovaném JŘ je počítáno s nasazením MJ řady 844 na všechny vlaky. Důvodem tohoto výběru je moderní pojetí těchto vozidel a přívětivost k cestujícím. Navíc parametrově dle tabulky č. 1 vycházejí tyto MJ ze srovnání nejlépe, kromě spotřeby.

3. Návrh taktového JŘ

Cílem této kapitoly je vypočet jízdnicích dob v jednotlivých úsecích tratě Havlíčkův Brod – Pardubice a na jejich základě sestavení taktového JŘ.

3.1 Výpočty jízdnicích dob a stanovení pobytů

Jízdnicí doby byly počítány pro zjednodušení podle vzorců pro rovnoměrně zrychlené a zpomalené pohyby, resp. pro pohyb konstantní rychlostí. Zrychlování jednotky bylo počítáno podle (3.1)

$$t = (V \cdot 3,6^{-1}) \cdot a^{-1} \quad (3.1)$$

kde:

t [s] = čas

V [km·h⁻¹] = rychlost

a [m·s⁻²] = zrychlení vozidla

Dráha, která je pro zrychlení potřeba, byla počítána podle (3.2)

$$s = (V_0 \cdot 3,6^{-1}) \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (3.2)$$

kde:

s [m] = dráha

V_0 [km·h⁻¹] = rychlost vozidla před začátkem zrychlování

Pro brzdění byly použity obdobné vzorce, avšak upravené pro rovnoměrně zpomalený pohyb. Výpočet času potřebného pro zpomalení byl proveden podle (3.3), dráha, na které vozidlo zpomaluje, byla počítána podle (3.4)

$$t = (V \cdot 3,6^{-1}) \cdot b^{-1} \quad (3.3)$$

kde:

b [m·s⁻²] = odrychlení vozidla

$$s = (V_0 \cdot 3,6^{-1}) \cdot t - \frac{1}{2} \cdot b \cdot t^2 \quad (3.4)$$

Čas, po který jede vozidlo konstantní rychlostí byl vypočten podle (3.5)

$$t = s \cdot (V \cdot 3,6^{-1})^{-1} \quad (3.5)$$

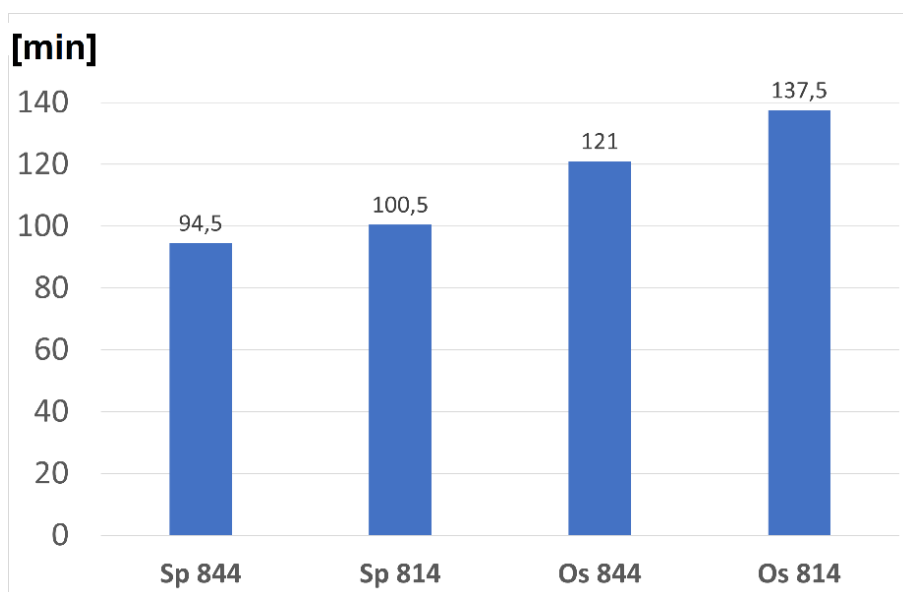
Dráha, kterou vozidlo urazí konstantní rychlostí pak vychází z polohy míst zastavení ve stanicích a zastávkách (vždy byl uvažován konec nástupiště), poloh rychlostních omezení apod. Hodnoty zrychlení a maximálních rychlostí vozidel jsou uvedeny v kapitole č. 2. Hodnota odrychlení byla stanovena pro všechny vozidla na hodnotu 0,7 m·s⁻². Jízdní doby byly vypočteny pro variantu osobního a spěšného vlaku v obou směrech, a navíc pro MJ řady 814.0 a MJ řady 844. K jízdním dobám nebyly připočteny žádné přírážky. Při porovnání se situací v JŘ 2022, při jízdě osobního vlaku z Havlíčkova Brodu do Rosic vedeného MJ řady 814, vychází 54 % jízdních dob stejně jako v návrhu. Ty zbývající se liší maximálně o 0,5 minuty. V opačném směru vychází 34,5 % jízdních dob stejně a 46 % jízdních dob vyšlo v návrhu delších než v JŘ 2022. Dle autora je to způsobeno tím, že je počítáno s konstantní hodnotou zrychlení. V reálném provozu je křivka zrychlení degresivní v závislosti na rychlosti. Vypočtené jízdní doby jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tabulka 2 - Jízdní doby

Úsek	Směr Havl. Brod – Pardubice				Směr Pardubice – Havl. Brod			
	Os vlak		Sp vlak		Os vlak		Sp vlak	
	814. 0 [min]	844 [min]	814. 0 [min]	844 [min]	814. 0 [min]	844 [min]	814. 0 [min]	844 [min]
Havl. Brod – Břevnice	5,5	5,5			6,0	5,5		
Břevnice – Rozsochatec	6,0	5,5	16,0	16,0	5,5	5,5	16,0	16,0
Rozsochatec – Chotěboř	7,5	7,0			7,0	7,0		
Chotěboř – Bílek	4,5	4,5	9,5	9,5	4,5	4,5	9,5	9,5
Bílek – Sobíňov	3,0	2,5			3,0	2,5		
Sobíňov – Ždírec n. D.	4,5	4,5			4,5	4,0		
Ždírec n. D. – Stružinec	5,0	4,5	11,5	11,5	5,0	5,0	11,5	11,5
Stružinec – Vítanov	5,0	5,0			5,0	5,0		
Vítanov – Hlinsko v Č.	5,0	4,0			4,0	3,5		
Hlinsko v Č. – Holetín	4,0	3,5	13,5	13,5	5,5	4,0	15,5	13,5
Holetín – Vojtěchov	4,0	3,5			5,5	3,0		
Vojtěchov – Pokřikov	2,0	2,0			3,0	2,0		
Pokřikov – Žďárec u Sk.	7,0	6,5			8,5	7,0		
Žďárec u Sk. – Prosetín	2,5	2,5	12,5	12,5	3,5	2,5	13,5	12,5
Prosetín – Vr. Kostelec	4,5	3,5			5,0	4,0		
Vr. Kostel. – Horka u Ch.	6,0	6,0			6,0	6,0		

Hor. u Ch. – Chrast u Ch.	3,0	3,0			4,0	3,0		
Chrast u Ch. – Zaječice	3,5	2,5	6,5	6,0	4,0	3,0	8,0	7,0
Zaječice – Orel	4,0	3,5			4,0	3,5		
Orel – Slatiňany	2,5	2,0			2,5	2,0		
Slatiňany – Chrudim	4,0	3,5	4,0	3,5	4,5	3,5	4,5	3,5
Chrudim – Chrudim z.	2,5	2,0	11,5	10,0	2,5	2,0	10,5	9,5
Chrudim z. – Medlešice	3,0	2,5			3,0	2,5		
Medlešice – St. Jesenč.	3,5	3,0			4,0	3,5		
St. Jesenčany – P. závod.	3,5	3,5			4,0	3,5		
P. závod. – Rosice n. L.	4,0	3,0			3,0	3,0		
Rosice n. L. – PCE hl.n.	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5

zdroj: autor



Obrázek 4 - Porovnání cestovních časů Pardubice - Havl. Brod

Na obrázku č. 4 je graf porovnávající jízdní dobu MJ řady 814 a 844 v provedení spěšného vlaku nebo osobního vlaku ve směru z Pardubic do Havlíčkova Brodu. zdroj: autor

Pro konstrukci JŘ jsou důležité pobyty v jednotlivých stanicích a zastávkách. Minimální pobyt ve stanici Rosice nad Labem byl stanoven na 3 minuty z důvodu nutnosti vykonání úvratě. Ve stanicích, s předpokládanou vyšší frekvencí cestujících, byl minimální pobyt stanoven na 1 minutu. Do této skupiny náleží stanice Chotěboř, Hlinsko v Čechách, Žďárec u Skutče a Chrudim. Ve všech ostatních stanicích a zastávkách byl minimální pobyt stanoven na 0,5 minuty. Tyto minimální pobyty byly navyšovány v případě dopravní potřeby, tj. zejména při čekání na křižování s vlakem opačného směru. V bakalářské práci byly počítány i provozní intervaly. Vzhledem k nasazení zabezpečovacího zařízení 3. kategorie a dalším okolnostem provozní intervaly nijak neovlivňují pobyty vlaků ve stanicích nebo jízdní doby.

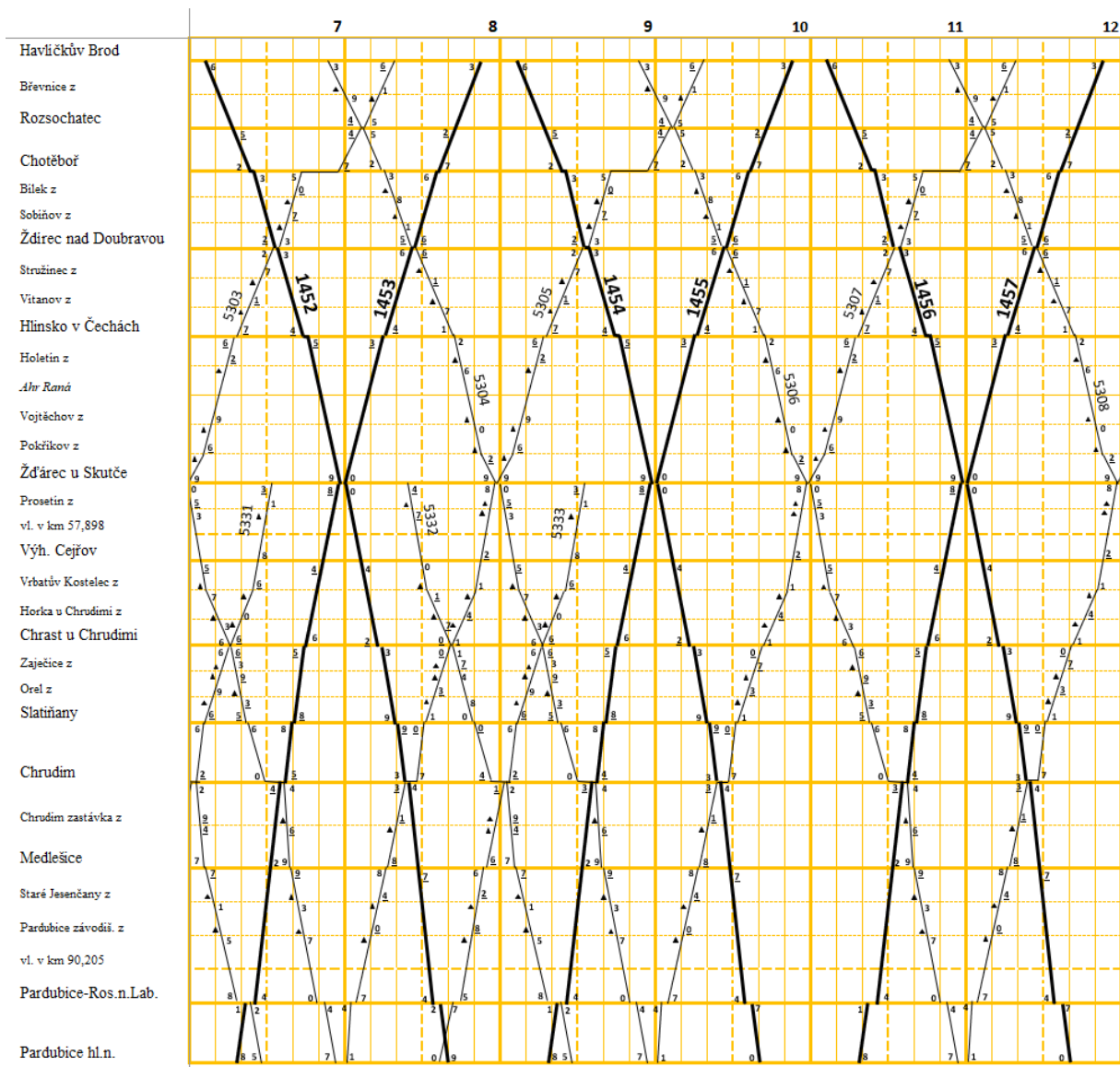
3.2 Návrh taktového JŘ

Základem JŘ jsou spěšné vlaky (Sp vlaky), které jezdí v celé trase ve dvouhodinovém taktu každý den v týdnu. Celkem jde o 9 párů Sp vlaků každý den. V prokladu s Sp vlaky jsou ve dvouhodinovém taktu vedeny osobní vlaky (Os vlaky), které jsou vedeny rovněž z Pardubic až do Havlíčkova Brodu a naopak. Cílem těchto Os vlaků je zajistit obsluhu všech nácestných stanic a zastávek v celé délce trati. Oproti Sp vlakům je jejich jízdní doba delší o 29 minut ve směru z Havlíčkova Brodu do Pardubic, resp. o 40 minut v opačném směru. Jde o 9 párů Os vlaků. Dále jsou ještě navrženy dva páry Os vlaků v okrajových částech dne, které začínají v Havlíčkově Brodě, resp. v Pardubicích hl.n. a ukončeny jsou stanicí Hlinsko v Čechách. Ráno jsou pak výchozí z Hlinska v Čechách a rozjedou se do Havlíčkova Brodu, resp. Pardubic hl.n.

Na trati je největší průměrný denní počet cestujících mezi Rosicemi nad Labem a Chrudimí. Postupně klesá ke Žďárci u Skutče, kde klesne pod 1 000 osob / den. Proto je vedeno ještě 5 párů vlaků mezi Pardubicemi a Žďárcem u Skutče, které jezdí ve dvouhodinovém taktu. Dva páry jsou vedeny v ranní špičce, tři páry v odpolední špičce.

V JŘ je navržen ještě jeden pár vlaků mezi stanicemi Pardubice hl.n. a Chrudim s odjezdem v 0:55 z Pardubic hl.n. Tento vlak zajišťuje přípoj do Chrudimi od večerního vlaku z Prahy hl.n. a zároveň od večerního vlaku z Hradce Králové hl.n. Zpět do Pardubic odjíždí z Chrudimi ve 4:02 a zajišťuje tak přípoj na první ranní vlak do Hradce Králové hl.n.

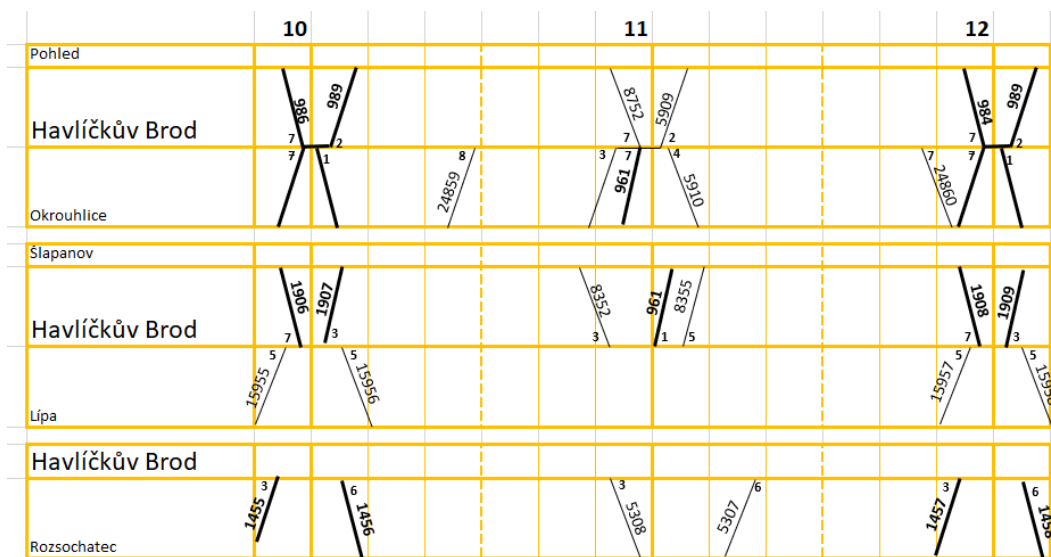
Ukázka navrženého JŘ je vyobrazena na obrázku č. 5.



Obrázek 5 – Navržený taktový grafikon vlakové dopravy – denní doba 06–12 hod, zdroj:autor

3.3 Přípojně vazby

Přípojně vazby nelze porovnat se současným stavem (období platnosti grafikonu 2022), jelikož na trati z Havlíčkova Brodu do Pardubic není zavedena taktová doprava. Přípojně vazby stanici Havlíčkův Brod jsou zobrazeny na obrázku č. 6.

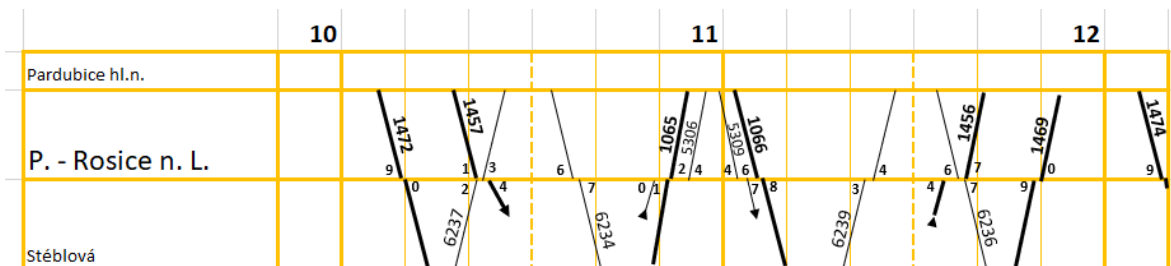


Obrázek 6 - Přípojně vazby ve stanici Havlíčkův Brod, zdroj: autor

V této stanici vznikají přípoje od Sp vlaků na spoje rychlíkové linky R9, spojující Prahu s Brnem. Dále je zajištěn přípoj na Sp vlaky, spojující Havlíčkův Brod s Jihlavou a Slavonicemi a na Os vlaky spojující Havlíčkův Brod s Humpolcem.

Na železniční trati ze Žďárce u Skutče do Svitav je osobní doprava tvořena jen čtyřmi páry Os vlaků v pracovní dny, resp. pěti páry o víkendech, které navíc nejezdí v taktu. Stanovení pravidelných přípojí tedy není možné.

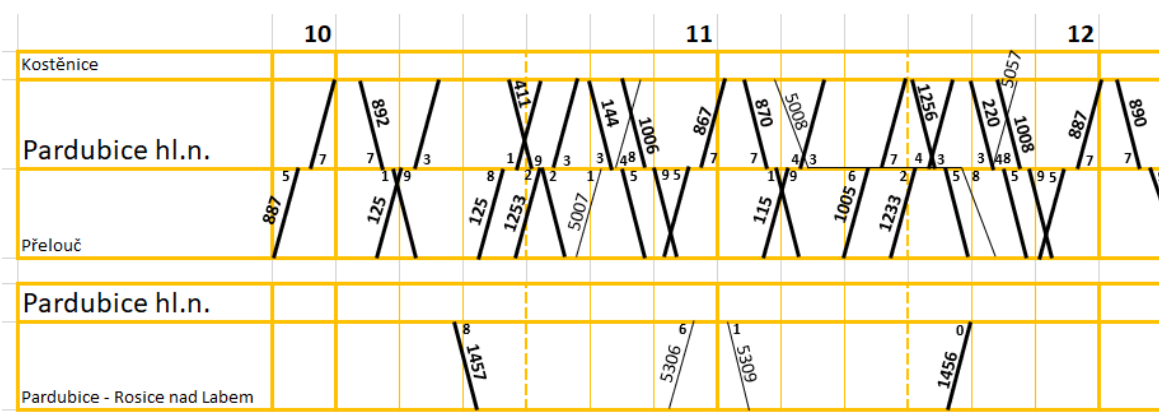
V žst. Chrudim vycházejí přípojně vazby nevýhodně. Pro přestup z trati č. 238 na Os vlak do Moravan vychází přestupní čas 61 minut. V opačném případě je to 63 minut. Toto je vylepšené ve špičkách díky vlakům v relaci Pardubice hl.n. – Žďárec u Skutče, kdy se přestupní doby v žst. Chrudim zkrátí na 20–25 minut v obou směrech.



Obrázek 7 - Přípojně vazby ve stanici Rosice nad Labem, zdroj: autor

Navržené přípojně vazby v žst. Rosice nad Labem jsou vyobrazeny na obrázku č. 7.

Z obrázku č. 7 je vidět, že Sp vlaky tratě č. 238 navazují na Os vlaky ve směru do Hradce Králové hl.n. a opačně. Os vlaky tratě č. 238 navazují na rychlíky linky R14A, které spojují Pardubice s Libercem.



Obrázek 8 - Přestupní vazby ve stanici Pardubice hl.n., zdroj: autor

Pro žst. Pardubice hl.n. ilustruje přestupní vazby obrázek č. 8.

Z obrázku č. 8 vyplývá, že je zde zajištěna přestupní vazba Sp vlaků z Havlíčkova Brodu na vlaky linky Ex2 do Prahy, resp. Kolína, na Os vlaky do České Třebové a na rychlíky linky R18 do České Třebové, Olomouce a Luhačovic. Naopak na Sp vlaky ve směru do Havlíčkova Brodu vycházejí výhodné přestupní vazby od vlaků linky Ex2 ve směru od Prahy a od rychlíků linky R18 ve směru od České Třebové. Os vlaky mají výhodnou přestupní vazbu na rychlíky linky R19 ve směru do Prahy, resp. od Prahy a vlaky linky Ex1 ve směru do České Třebové, resp. od České Třebové.

Pro znázornění přestupních vazeb byl vybrán vždy úsek mezi 10. a 12. hodinou, aby přehled nebyl zatížen množstvím vložených vlaků, které tvoří posily ve špičkách, ale po celé období dne reálně nejedou.

4. Počty vlaků

Počty vlaků pro jednotlivé úseky jsou vyobrazeny v tabulce č. 3.

Tabulka 3 - Počet vlaků Pardubice – Havlíčkův Brod / Havlíčkův Brod – Pardubice

Úsek	Pracovní den		Sobota		Neděle	
	2022	Návrh	2022	Návrh	2022	Návrh
Pardubice hl.n. – Chrudim	25/26	25/25	18/20	20/20	21/21	20/20
Chrudim – Slatiňany	23/23	24/24	18/18	19/19	20/18	19/19
Slatiňany – Žďárec u Sk.	20/20	24/24	14/16	19/19	15/14	19/19
Žďárec u Sk. – Hlinsko v Č.	16/16	19/19	13/13	19/19	13/13	19/19
Hlinsko v Č. – Havl. Brod	16/16	19/19	9/9	19/19	9/9	19/19

zdroj: autor

V tabulce jsou porovnány počty vlaků na jednotlivých úsecích zavedené JŘ 2022 a počty vlaků navrhované. Hodnota před lomítkem vyjadřuje směr od Pardubic do Havlíčkova Brodu, hodnota za závorkou vyjadřuje opačný směr. Z tabulky vyplývá, že v navrhovaném stavu zůstane počet vlaků v některých úsecích přibližně stejný nebo se zvýší. V úseku Hlinsko v Č. – Havlíčkův Brod dochází ke zvýšení o 111 %.

Celkové roční počty vlaků jsou vypsány v tabulce č. 4.

Tabulka 4 - Celkové počty vlaků za roční období

Ukazatel	2022	Návrh	Δ
Počty vlaků [vlaky]	25 316	17 808	- 7 508

zdroj: autor

V tabulce č. 4 lze v návrhu pozorovat pokles počtu vypravených vlaků o 7 508 oproti JŘ 2022, tedy o 30 % z původního počtu. Vlaky jsou totiž vedeny v delších úsecích než v JŘ 2022 a tím je v některých případech místo dvou vlaků veden jen jeden. Je tím dosaženo rovnoměrnější nabídky spojení, eliminace přestupů a efektivnějšího využití vozidel.

5. Cestovní doby a rychlosti

Pro srovnání GVD platného v roce 2022 a navrženého GVD byly vypočteny některé cestovní doby a rychlosti. První z nich je úseková rychlost, která byla počítána podle (5.1) (9)

$$v_u = 60 \cdot L \cdot T_c^{-1} \quad (5.1)$$

kde:

v_u [km·h⁻¹] = úseková rychlost;

L [km] = délka úseku – v tomto případě 94 km;

T_c [min] = celkový čas – vypočítán byl podle (5.2) (9)

$$T_c = T_j + (T_r + T_z) + T_{pob} \quad (5.2)$$

kde:

T_j [min] = čistá jízdní doba;

$T_r + T_z$ [min] = časová přírážka na rozjezd a zastavení;

T_{pob} [min] = součet pobytů ve stanicích a zastávkách.

Do hodnoty T_{pob} byl zahrnut i čas na přestup v žst. Hlinsko v Čechách, pokud je nutný. Další veličinou, která byla počítána je technická rychlost. Výpočet postupoval podle (5.3) (9)

$$v_t = 60 \cdot L \cdot (T_c - T_{pob})^{-1} \quad (5.3)$$

kde:

v_t [km·h⁻¹] = technická rychlost

Na základě zjištění technické a úsekové rychlosti pak mohl být vypočten jeden z kvalitativních ukazatelů a sice koeficient rychlosti β . Koeficient β je bezrozměrné číslo a udává poměr mezi úsekovou a technickou rychlostí. Jedná se spíše o srovnávací koeficient. Vypočten byl podle (5.4) (9)

$$\beta = v_u \cdot v_t^{-1} \quad (5.4)$$

kde:

β [-] = koeficient rychlosti

Výsledky výpočtů a porovnání hodnot pro JŘ 2022 a navrhovaný JŘ jsou uvedeny v tabulce č. 5 pro směr Havlíčkův Brod – Pardubice, resp. tabulka č. 6 pro opačný směr.

Tabulka 5 - Cestovní doby a rychlosti Havlíčkův Brod – Pardubice

	T_c [min]	T_{pob} [min]	T_{jrz} [min]	v_ú [km·h ⁻¹]	v_t [km·h ⁻¹]	β [-]
2022 – nejrychlejší spoj	113,0	17,5	95,5	49,9	59,1	0,844
Návrh – Sp	94,0	8,5	85,5	60,0	66,0	0,909
Δ	- 19,0	- 9,0	- 10,0	+ 10,1	+ 6,9	+ 0,065
2022 – nejrychlejší spoj	113,0	17,5	95,5	49,9	59,1	0,844
Návrh – Os	124,0	22,0	104,0	45,5	54,2	0,839
Δ	+ 11,0	+ 4,5	+ 8,5	- 4,4	- 4,9	- 0,005

zdroj: autor

Tabulka 6 - Cestovní doby a rychlosti Pardubice – Havlíčkův Brod

	T_c [min]	T_{pob} [min]	T_{jrz} [min]	v_ú [km·h ⁻¹]	v_t [km·h ⁻¹]	β [-]
2022 – nejrychlejší spoj	110,0	12,0	98,0	51,3	57,6	0,891
Návrh – Sp	95,0	9,0	86,0	59,4	65,6	0,905
Δ	- 15,0	- 3,0	- 12,0	+ 8,1	+ 8,0	+ 0,014
2022 – nejrychlejší spoj	110,0	12,0	98,0	51,3	57,6	0,891
Návrh – Os	135,0	32,0	103,0	41,8	54,8	0,763
Δ	+ 25,0	+ 20,0	+ 5,0	- 9,5	- 2,8	- 0,128

zdroj: autor

Z tabulek č. 5 a 6 vyplývá, že v případě Sp vlaků došlo k výraznému zrychlení (až o 19 min), zatímco u Os vlaků došlo ke zpomalení. Zpomalení u Os vlaků je pouze relativní, jelikož tyto jsou porovnávány s vlaky, které v JŘ 2022 tvoří nejrychlejší variantu spojení. Vzhledem k tomu, že v JŘ 2022 jsou jízdní doby téměř u každé varianty spojení odlišné, lze těžko definovat, se kterou variantou spojení by měla být varianta Os vlaku porovnávána. Os vlaky v navrženém JŘ obsluhují všechny nácestné stanice a zastávky. To je vykoupeno jejich nižší technickou a úsekovou rychlostí než u Sp vlaků. Díky zavedení Sp vlaků se úseková rychlost zvýšila (až o 10,1 km·h⁻¹) a vlivem snížení počtu zastávek u Sp vlaků narůstá i koeficient β.

6. Technologické ukazatele

Nejlépe lze práci vykonanou železničními vozidly popsat dopravním výkonem, který se udává ve vlakových kilometrech (vlkm). Pro výpočet hodnot vlkm byl použit vzorec (6.1). (9) Při výpočtu byla zohledněna veškerá omezení v podobě víkendů, státních svátků apod.

$$\sum NL_{os} = N_{DJ1} \cdot L_{V1} + N_{DJ2} \cdot L_{V2} + \dots + N_{DJn} \cdot L_{Vn} \quad (6.1)$$

kde:

NL_{os} [vlkm] = Celkový počet vlakových odjetých vlakových kilometrů;

N_{DJ} [dny] = Počet dnů, kdy jeden konkrétní vlak jede

L_V [km] = Délka trasy jednoho konkrétního vlaku

Dalším ukazatelem, který charakterizuje přepravní nabídku, jsou místové kilometry (místokm). Jejich výpočet byl proveden jako součin odjetých vlkm a kapacity souprav.

Porovnání těchto ukazatelů pro GVD 2022 a navržený GVD je uvedeno v tabulce č. 7.

Tabulka 7 - Vlakové a místové kilometry

	2022	Návrh	Δ
Dopravní výkon [vlkm]	1 000 939	1 407 952	+407 013
Přepravní nabídka [místokm]	113 636 784	169 440 960	+558 041 176

zdroj: autor

7. Potřebný počet vozidel

V tabulce č. 8 je zobrazeno porovnání potřebných vozidel podle řad pro JŘ 2022 a navrhovaný JŘ.

Potřebný počet vozidel pro JŘ 2022 vychází z turnusů vozidel, které jsou součástí pomůcek GVD. Provozní pracoviště (PP) Hradec Králové vypravuje na trať č. 238 MJ řady 844, které jsou nasazovány v rámci turnusové skupiny (TS) 871 jejíž oběh je dvoudenní, turnusová potřeba tedy čítá 2 ks. Dále PP Hradec Králové vypravuje na trať č. 238 MV řady 810 v rámci TS č. 875. Tento oběh je pětidenní, ve třech dnech působí tyto MV na trati č. 238. Z toho vyplývá, že turnusová potřeba pouze pro trať č. 238 by čítala 3 vozy této řady. O víkendech letní sezony PP Hradec Králové nasazuje na trať ještě přípojný vůz řady Bdtax, pro který je sepsán samostatný jednodenní oběh – TS č. 072. Velkou část spojů obsluhují MJ řady 814 spadající pod PP Havlíčkův Brod v rámci TS č. 881. Tento oběh je pětidenní, turnusová potřeba je tedy 5 vozidel. Dále do provozu zasahují vozidla TS č. 882. Oběh je třídnenní, z toho jeden den obsluhuje MJ řady 814 trať č. 238. Potřebný počet vozidel z TS č. 882 pouze pro trať č. 238 by tedy byl 1 ks. Posledním PP, ze kterého je obsluhována trať č. 238, je PP Česká Třebová. Pro trať č. 238 a trať č. 261 je sestavena čtyřdenní TS č. 868. Z toho tři dny obsluhují MJ řady 814 trať č. 238. V rámci TS č. 868 je pro trať č. 238 potřeba 3 ks MJ řady 814. Celkem je tedy potřeba $5 + 1 + 3 = 9$ MJ řady 814. Po sečtení s ostatními vozidly je výsledek následující: $9 (814) + 2 (844) + 3 (810) + 1 (Bdtax) = 15$ ks potřebných vozidel. Uvedený počet vozidel nezohledňuje provozní zálohy.

Tabulka 8 - Počty potřebných vozidel

Řada vozidla	2022	Návrh	Δ
810	3	0	- 3
814	9	0	- 9
844	2	7	+ 5
Bdtax ⁷⁸⁵	1	0	- 1
Celkem	15	7	- 8

zdroj: autor

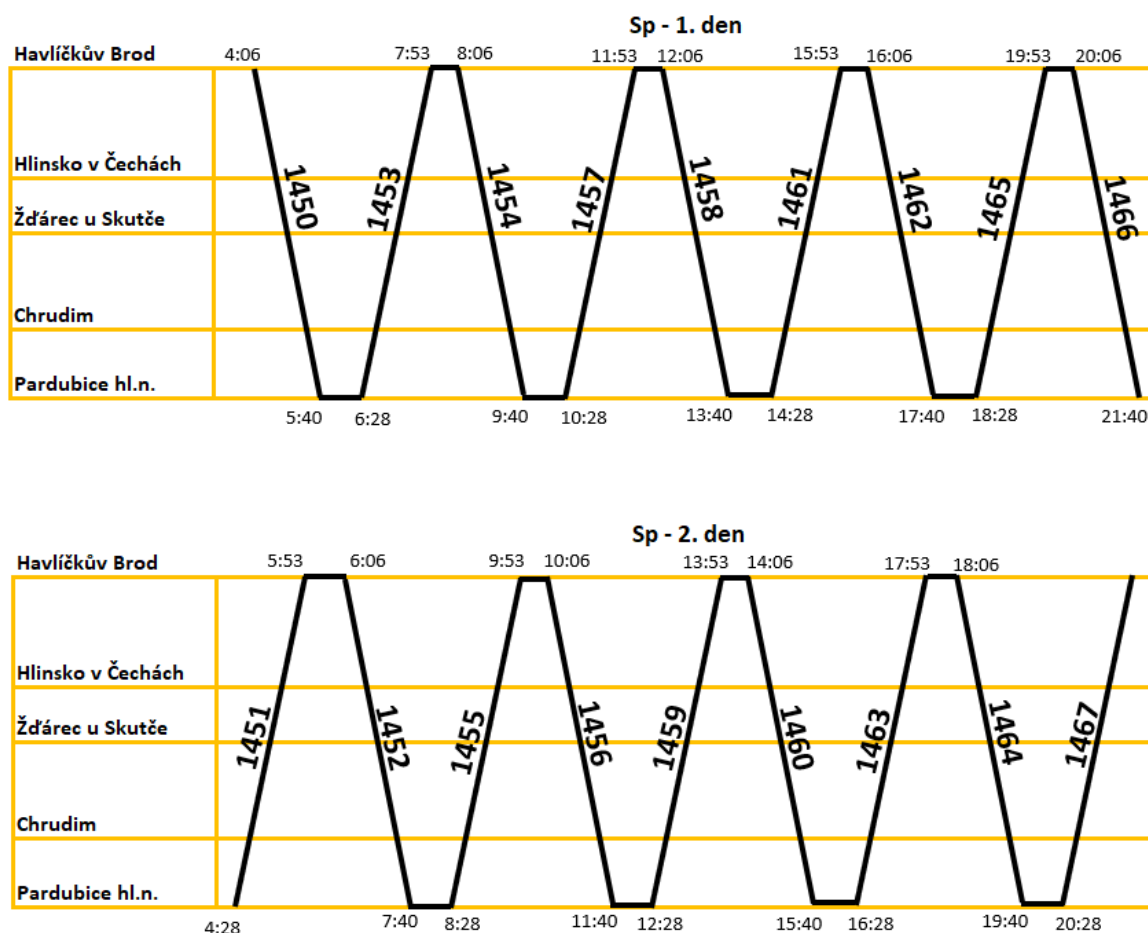
JŘ počítá s vedením všech vlaků MJ řady 844. Tím je zajištěn jednotný standard pro cestující zahrnující nízkopodlažnost, klimatizaci, bezbariérové WC apod. Zároveň tyto MJ mají vyšší průměrné zrychlení a jsou schopny využít maximální traťovou rychlost ve všech úsecích tratě a tím splnit navržené jízdní doby.

V období platnosti JŘ 2022 je potřeba pro zajištění provozu na trati z Pardubic do Havlíčkova Brodu celkem 15 vozidel. V navrženém JŘ je to pouhých 7 vozidel. Obě čísla jsou uvažována bez započítání záloh. Za tímto poklesem stojí efektivnější

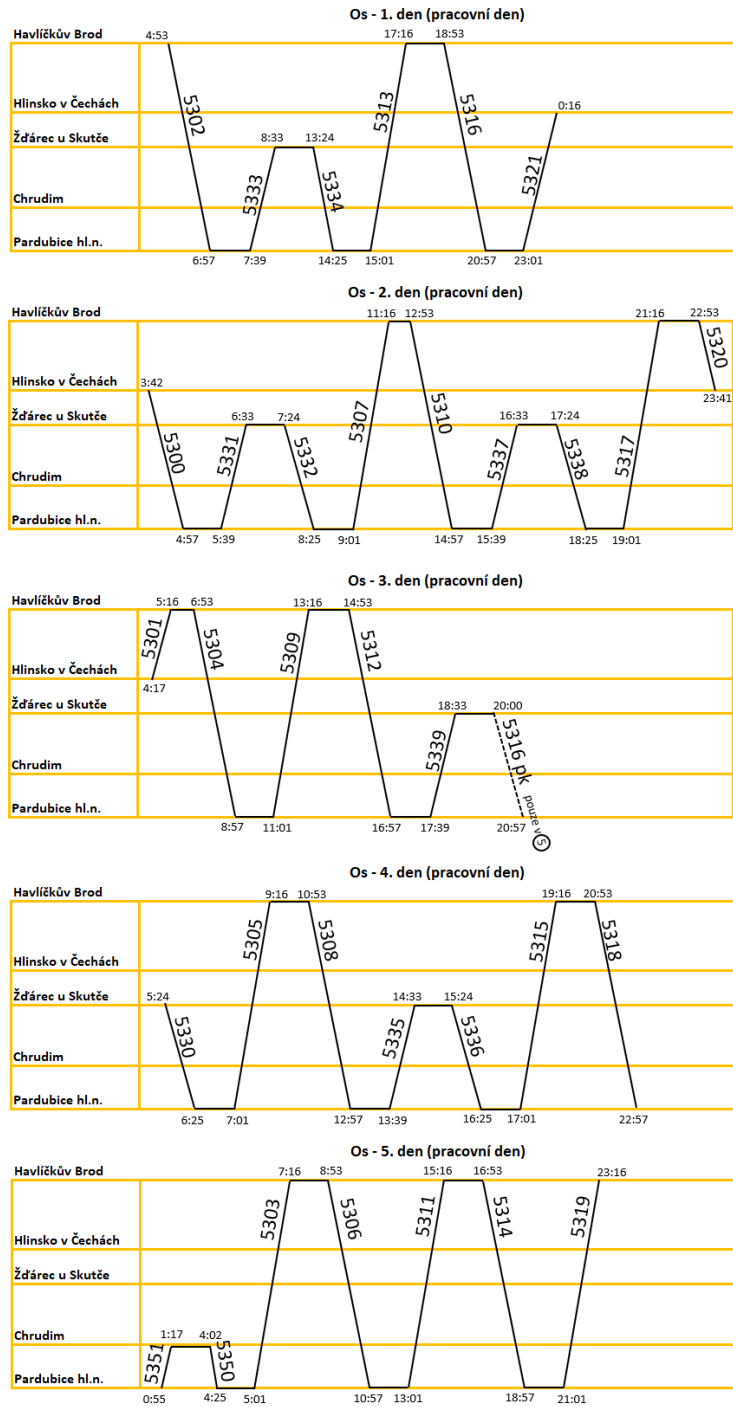
oběhy vozidel. Dále také to, že v období JŘ 2022 jsou vozidla, která jsou používána pro zajištění dopravy na trati Pardubice – Havlíčkův Brod, využívána i na jiných tratích. To, že jsou zkombinovány oběhy na více tratích dohromady, má za následek zdánlivě vyšší potřebu vozidel.

Snížení potřebného počtu vozidel znamená nižší náklady na pořízení vozidel a dále nižší náklady na údržbu vozidel. To pomáhá snížit fixní náklady na zajištění dopravy na předmětné trati.

Vozidla jsou rozdělena do dvoudenního oběhu, který pokrývá veškeré Sp vlaky (obr. č. 9) a pětidenního oběhu, který pokrývá veškeré Op vlaky. (obr. č. 10.)



Obrázek 9 - Oběhy MJ – spěšné vlaky, zdroj: autor



Obrázek 10 - Oběhy MJ – Sp vlaky, zdroj: autor

8. Spotřeba PHM

Spotřeba jednoho vlaku byla vypočtena jako suma jednotkových spotřeb v jednotlivých mezistaničních úsecích odpovídající jednotlivým řadám vozidel a místech zastavení. Jednotkové spotřeby jsou uvedeny v bakalářské práci. Počítáno bylo podle (8.1)

$$S_{vn} = \sum_{n=1}^{n=20} S_{jn} \quad (8.1)$$

kde:

S_{vn} [l] = spotřeba vlaku n ,

S_{jn} [l] = jednotková spotřeba vlaku v úseku n .

Jako příklad je uveden vzorový výpočet pro vlak Os 5356.

$$S_{vn} = 1,75 + 1,13 + 1,2 + 0,96 + 1,61 + 0,24 + 1,36 + 1,12 = 9,37 \text{ l}$$

Spotřebu za všechny vlaky v daném období pak lze vypočítat jako sumu spotřeb jednotlivých vlaků vynásobených počtem dní provozu těchto vlaků. Počítáno bylo podle (8.2).

$$S = \sum_{n=1}^n S_{vn} \cdot N_{Djn} \quad (8.2)$$

kde:

S [l] = celková spotřeba,

N_{Djn} [dny] = počet dní provozu vlaku n .

Vzorově pro vlak Os 5356:

$$S = 9,37 \cdot 364 = 3411 \text{ l}$$

V tabulce č. 9 je zobrazena celková spotřeba pro JŘ 2022, celková spotřeba pro navržený JŘ a jejich rozdíl.

Tabulka 9 - Spotřeba PHM

2022 (I)		Návrh (I)	Δ (I)
766 486		1 248 605	+482 119

zdroj: autor

Jde o nárůst o 63 %. Tento nárůst je způsoben především nasazením jiných vozidel, která disponují velkým výkonem (780 kW. Zároveň je navýšen počet naježděných vlkm, což má opět přímý vliv na spotřebu PHM. Na hodnotách spotřeby se projevuje i vedení tratě ve sklonu. (viz obrázek č.2) V období platnosti GVD 2022 spotřebují vlaky jedoucí ve směru Pardubice – Havlíčkův Brod celkem 432 240 l PHM (56,4 % z celkové spotřeby), zatímco vlaky jedoucí opačným směrem spotřebují dohromady 334 246 l (43,6 % z celkové spotřeby).

9. Náklady na železniční dopravní cestu

Náklady na dopravní cestu pro GVD 2022 a GVD navrhovaný jsou zobrazeny v tabulce č. 10. Jsou tvořeny náklady na přidělení kapacity dráhy, náklady na užití dopravní cesty a náklady na užití přístupových komunikací.

Tabulka 10 - Náklady na železniční dopravní cestu

Náklad	2022	Návrh	Δ
Přidělení kapacity dráhy	294 860,00	211 684,00	- 83 176,00
Užití dráhy	4 835 284,22	9 692 445,24	+ 4 857 161,02
Užití přístupových komunikací	881 798,53	1 580 951,04	+ 699 152,51
Celkem	6 011 942,75	11 485 080,28	+ 5 473 137,53

zdroj: autor

Výpočet nákladů na dopravní cestu byl proveden podle vzorců, které jsou stanoveny v Prohlášení o dráze celostátní a drahách regionálních 2022. (10) Z tabulky č. 10 vyplývá, že v případě navrženého GVD dochází k navýšení nákladů na dopravní cestu o 91 %. Důvodem je nasazení MJ řady 844 na všechny řady, jelikož tyto jsou těžší než dosud provozovaná vozidla. Výpočet užití dráhy a přístupových komunikací se odvíjí právě od hmotnosti vozidla. Navýšení ceny za užití dráhy je způsobeno i tím, že se zvýšil celkový počet odježděných vlkm a to o 417 013 vlkm. Naopak došlo k poklesu ceny za přidělení kapacity dráhy kvůli tomu, že je objednáváno méně tras.

Závěr

Po sérii výpočtů, ve kterých byly stanoveny jízdní doby a provozní intervaly, byl navržen taktový grafikon, ve kterém tvoří páteř dopravy spěšné vlaky ve dvouhodinovém intervalu proložené osobními vlaky rovněž ve dvouhodinovém intervalu. Díky tomuto řešení vzniknou nové přestupní vazby v uzlových stanicích. Zavedením spěšných vlaků je v návrhu dosaženo zkrácení cestovní doby o 19 minut z Havlíčkova Brodu do Pardubic, resp. o 15 minut v opačném směru. Navíc navržený grafikon je taktový, takže nabídka spojení je po celý den rovnoměrná a pravidelná. Navýšení počtu vlkm a nasazení modernějších, výkonnějších a kapacitnějších vozidel s sebou nese určitá negativa. Vlivem více odjetých vlkm a vyšší hmotnosti vozidel dochází k nárůstu variabilních nákladů na dopravní cestu. Zároveň dochází k nárůstu spotřeby PHM. Naopak dochází k poklesu počtu potřebných vozidel. V navrhovaném JŘ je potřeba pouze 7 vozidel jedné řady, zatímco v JŘ 2022 je potřeba celkem 15 vozidel čtyř různých řad. Redukce potřebného počtu vozidel na méně než polovinu, které se podařilo dosáhnout optimalizací oběhů vozidel a jejich efektivnějším využitím, by znamenala úspory v oblasti údržby a nákladů na vlastnictví těchto vozidel.

Použitá literatura

- [1] MINISTERSTVO SPRAVEDLNOSTI ČESKÉ REPUBLIKY. *Veřejný rejstřík a sbírka listin*. [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=147677&typ=PLATNY>
- [2] MAPY.CZ. *Mapy.cz*. [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.7659000&y=49.9853000&z=11>
- [3] SPRÁVA ŽELEZNIC. *Interní materiály*.
- [4] SPRÁVA ŽELEZNIC. *Mapy: Provozně-technické parametry tratí*. [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <https://provoz.spravazeleznic.cz/PORTAL/ViewArticle.aspx?oid=594598>
- [5] ACRI. *Starmon s.r.o. spustil první dálkově ovládaný úsek trati Chrudim – Hlinsko*. [online]. 2021, 23 srpen 2016 [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <https://acri.cz/2016/08/23/starmon-s-r-o-spustil-prvni-dalkove-ovladany-usek-trati-chrudim-hlinsko/>
- [6] STARMON S.R.O. *Interní materiály*.
- [7] SPRÁVA ŽELEZNIC, Veřejná zakázka, SUDOP: *Modernizace trati Hradec Králové – Pardubice – Chrudim, 3. stavba, zdvoukolejnění Pardubice – Rosice nad Labem – Stěblová*. [online]. Praha, 2021. [cit. 2021-11-01] Dostupné z: https://zakazky.spravazeleznic.cz/contract_display_8788.html

- [8] SPRÁVA ŽELEZNIC, s. o., odbor Jízdního řádu. Výpočet spotřeby / zrychlení, 2022-02-25
- [9] GAŠPARÍK, Jozef, KOLÁŘ, Jiří. *Železniční doprava: technologie, řízení, grafikony a dalších 100 zajímavostí*. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0058-3.
- [10] SPRÁVA ŽELEZNIC, *Prohlášení o dráze celostátní a drahách regionálních* [online], 2021, [cit. 2022-02-11], Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/dopravci/prohlaseni-o-draze-2022>

Seznam zkratek

AHr	automatické hradlo
ETCS	European train control system
JOP	jednotné obslužné pracoviště
JŘ	jízdní řád
MJ	motorová jednotka
OOSPO	osoby s omezenou schopností pohybu nebo orientace
Os	osobní vlak
PHM	pohonné hmoty
PIK	provozní interval křižování
Sp	spěšný vlak
TZZ	traťové zabezpečovací zařízení
vlkm	vlakokilometr

Lektorovali:

Ing. Rudolf Mrzena, Ph.D,
Správa železnic

Ing. Patrik Benna,
Krajský úřad Pardubického kraje

7. Návrh koordinace objednávek dopravní obslužnosti v železniční dopravě ČR

Filip Baran⁸

Klíčová slova

Dopravní obslužnost, objednávání dopravní obslužnosti, železnice doprava, železniční vozidla, oběhy vozidel

Keywords

Transport services, ordering of transport services, railway transport, railway vehicles, vehicle circuits

Anotace

Příspěvek se zabývá aktuálním systémem dopravní obslužnosti prostřednictvím železniční dopravy v České republice. Analyzuje její dopady na využívání vozidel na daných linkách z hlediska času, nákladů a v konečném důsledku i spokojenosti cestujících. Obsahem je zvolená regionální železniční linka, kde se rozcházejí požadavky jejich objednatelů, které způsobují např. časovou ztrátu cestujících. Příspěvek navrhuje sjednocení rozdílných požadavků objednatelů s postupem optimalizace využití časového fondu provozovaných vozidel na této lince za účelem snížit jejich nutný počet pro obsluhu dané linky a snížit náklady, které jsou na to vynaloženy. Výsledkem příspěvku je možný technologický postup, jak řešit rozpolcenost železničních linek různými požadavky objednatelů dopravní obslužnosti.

Abstract

The paper deals with the current system of transport services through rail transport in the Czech Republic. It analyses its impact on the use of vehicles on the given lines in terms of time, costs and ultimately passenger satisfaction. The scope is a selected regional rail line where the requirements of their customers diverge, causing e.g. time loss of passengers. The paper proposes to reconcile the divergent requirements of the customers with a procedure to optimize the use of the time pool of vehicles operated on this line in order to reduce the number of vehicles required to serve the line and to reduce the costs incurred. The result of

⁸ Ing. Filip Baran, student doktorského studijního programu Technologie a management v dopravě, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice.

the paper is a possible technological procedure to solve the ambiguity of railway lines by different requirements of customers of transport services.

Úvod

Tento příspěvek vychází z diplomové práce [1], která řešila tuto problematiku včetně optimalizace časového fondu železničních vozidel. V diplomové práci byla provedena analýza současného systému objednávek dopravní obslužnosti v železniční dopravě, definování z toho plynoucích nedostatků systému, uvedení příkladů a návrhy nástrojů k řešení této problematiky se zaměřením na vozidlový park včetně nákladového vyčíslení. Příspěvek vycházející z této práce je aktualizován a doplněn o další poznatky a zpřesňuje pozadí problémů.

1. Právní předpisy

V současnosti dopravní obslužnost a obecně liberalizaci železničního trhu upravuje evropské právní předpisy, např.:

- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1370/2007 ze dne 23. října 2007 o veřejných službách v přepravě cestujících po železnici a silnici a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 1191/69 a č. 1107/70, v nejnovějším konsolidovaném znění,
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/34/EU ze dne 21. listopadu 2012 o vytvoření jednotného evropského železničního prostoru, v nejnovějším konsolidovaném znění.

Na základě těchto předpisů vzniká národní legislativa upravující podmínky dopravní obslužnosti v České republice (ČR). Nařízení č. 1370 definuje, jak mohou státní orgány zasahovat do oblasti veřejné přepravy cestujících s cílem zkvalitnění služeb s tím souvisejících, než kdyby se o tyto služby pokoušely samotné tržní mechanismy. Důležitým aspektem je kompenzace, která se bude poskytovat od objednavatelů služeb:

- stát – Ministerstvo dopravy ČR (MD ČR),
- kraje,
- obce,

při závazku veřejné služby (ZVS) provozovatelům těchto služeb, tedy dopravcům. Kompenzace existuje pro pokrytí nákladů vzniklých z provozu zmíněných služeb. Smlouvy, které toto řeší, dále vymezují poskytované služby, území, proces výpočtu kompenzace a rozsah výlučných prav, které zamezují nadměrného kompenzování. Plán na poskytování služeb, tedy oné dopravní obslužnosti, se pořizují nejméně na 5 let a zároveň musí být omezena a nepřekročí 15 let [2], [3].

2. Aktuální situace

Jak již bylo zmíněno, objednavatelem dopravní obslužnosti v ČR je buď obec, kraj či stát. Je zde povinnost projednávat plány dopravní obslužnosti s dotčenými subjekty:

- objednavatel: stát → projednáno s krajem,
- objednavatel: kraj → projednáno s MD, sousedním krajem,
- objednavatel: obec → projednáno s krajem, ve kterém se obec nachází a v každém případě bude plán projednán s provozovatelem dráhy celostátní/regionální, na které má být provozována veřejná drážní osobní doprava, zde Správa železnic (SŽ).

Aktuálně se v dopravní obslužnosti v ZVS pohybují:

- národní dopravce = České dráhy, a.s. (ČD),
- soukromí dopravci:
 - RegioJet (RJ),
 - Leo Expres (LE),
 - Arriva vlaky (ARR),
 - GW Train Regio (GWTR),
 - Klub železničních cestovatelů (KŽC) – zanedbán kvůli malému pokrytí,
 - Die Länderbahn (DLB) – zanedbán kvůli malému pokrytí,
 - Automatizace Železniční dopravy Praha (AŽD) – zanedbán kvůli malému pokrytí.

ČD měly dříve podíl na všech dálkových linkách objednávaných MD ČR a regionální dopravní obslužnosti objednávané kraji. Od roku 2010 postupně přicházely myšlenky ohledně soutěžení o linky a počátkem roku 2015 ČD začalo ztrácet monopolní postavení na trhu až do okamžiku, kdy se plně otevřel vnitrostátní železniční trh v roce 2020. Dálkové a regionální linky, které nyní provozují soukromí dopravci, jsou zobrazeny v tabulce č. 1 a 2. Součástí je i jízdní řád (JŘ), kdy došlo na lince ke změně.

Tabulka 11: Seznam dálkových linek, kde dopravu provozují soukromí dopravci.

Doprovce	Od JŘ	Linka
RJ	2020	R8 Brno – Bohumín
	2022	R23 Kolín – Ústí nad Labem
GWTR	2017	R25 Plzeň – Most
ARR	2020	R21 Praha-Tanvald
		R22 Kolín – Šluknov
		R24 Praha – Rakovník
		R26 Praha – České Budějovice
	2021	R14 Pardubice – Liberec – Ústí nad Labem

Zdroj: [4], [5], [6], [7], [8].

Tabulka 12: Seznam regionálních linek, kde dopravu provozují soukromí dopravci.

Dopravce	Od JŘ	Linka	Objednavatel
RJ	2020	U1 Děčín – Ústí nad Labem – Teplice – Bílina – Most – Žatec	Ústecký kraj
		U3 Teplice – Litvínov	
		U5 Ústí nad Labem – Bílina	
		U7 Děčín – Ústí nad Labem	
		U13 Most – Žatec	
		(U1)+U16 Chomutov – Kadaň	
		U32 Ústí nad Labem – Štětí	
LEO	2020	Ústí nad Orlicí – Letohrad – Lichkov – Hanušovice/Bílá Voda	Pardubický kraj
ARR	2019	S49 Praha Hostivař – Roztoky u Prahy	město Praha
	2020	L31 Železný Brod – Tanvald	Liberecký kraj
	2022	L3 Liberec – Jaroměř	
	2020	Valašské Meziříčí – Vsetín – Střelná	
		Valašské Meziříčí – Vsetín – Střelná	
		Horní Lideč – Bylnice	
		Vsetín – Velké Karlovice	
		Staré Město u Uherského Hradiště – Bylnice	
		Újezdec u Luhačovic – Luhačovice	
		Uherské Hradiště – Veselí nad Moravou	
Valašské Meziříčí – Rožnov pod Radhoštěm			
GWTR	1998	Sokolov – Kraslice – Zwotental – Zwickau	Karlovarský kraj
	2007	Karlovy Vary dolní nádraží – Mariánské Lázně	
	2010	Milotice nad Opavou – Vrbno pod Pradědem	Moravskoslezský kraj
	2018	České Budějovice – Černý Kříž	Jihočeský kraj
		Číčenice – Nové Údolí	
	2022	Strakonice – Volary	Královéhradecký kraj
		Trutnov – Královec – Lubawka – Sędziszów	
	Wałbrzych – Meziměstí – Adršpach		

Zdroj:[6], [5], [7], [9], [10], [11], [12], [13].

V tabulce č. 2 regionálních linek najdeme výjimky se staršími daty, jako např. 2010, 2007 či 1998. Tyto linky patří GWTR, které dříve existovalo do roku 2011 jako Viamont REGIO, a např. na trati Milotice nad Opavou – Vrbno pod Pradědem je správce dráhy PKP Cargo International. Jinak shrnuto: na těchto výjimkách byly a jsou jiní správci dráhy než je národní SŽ, tudíž objednávka dopravní obsluhy se zde vymykala obvyklému národnímu systému.

2.1 Zhodnocení aktuálního systému

Se současnými právními předpisy EU v oblasti dopravní obslužnosti se železniční trh plně liberalizuje, a to přináší pozitivní, ale i negativní aspekty. Pro přehlednost budou jednotlivé aspekty rozděleny na pozitivní a negativní. Mezi ty s pozitivním dopadem patří:

- Možnost každého dopravce (i soukromého) uzavřít smlouvu veřejné dopravy v ZVS →

Při splnění podmínek objednatele má jakýkoliv podnikatelský subjekt možnost provozovat železniční dopravu. Aby dopravce získal smlouvu, bude se snažit snížit cenu, kterou za plnění služby v přepravě bude požadovat. Tímto způsobem mohou kraje ušetřit. Samozřejmě se posuzují i jiné stránky smlouvy – jaká vozidla dopravce (kvalita služeb) má k dispozici, aby splnil podmínky. Otázkou ale je, zda je to opravdu celkově levnější: cena v jediném okamžiku vs. náklady dlouhodobého provozu (údržba, tarif, mimořádnosti, selhání vozidel, ...)

- Zvýšení míry konkurence, a tak i kvality →

Mezi dopravci vzniká přirozeně konkurence, což je motivuje dosahovat většího obecného výkonu jejich společnosti (zlepšování služeb, vozidel, komfortu, lepších tarifních nabídek, flexibility atd.).

Negativních aspektů je bohužel více a patří mezi ně:

- Pravomoc krajů rozhodovat o veřejné dopravě na svém území, čímž ale vzniká nesoulad mezi kraji samotnými a MD ČR →

Díky tomu, že každý kraj má jinou představu o dopravě na vlastním území, se na hranicích srostáními tvoří třecí plochy, kde může být poptávaná přeprava uspokojena nadbytečně či nedostatečně ze stran obou krajů z důvodu nesouladu právě jejich představ. Na druhé straně mohou být nedostatečně kvalitní přípojné vazby v uzlových stanicích, kdy dálkové relace objednávané MD ČR přijíždějí příliš pozdě nebo příliš brzy k vlakovým spojům objednávaných krajem či naopak.

- S každým dalším dopravcem v ZVS vzniká čím dál větší tarifní nesoulad a pro cestujícího větší diskomfort výběru nejvhodnějšího jízdního dokladu →

To, že kraje dostaly v minulosti možnost objednávat dopravu místo MD ČR jim umožnilo prosadit vlastní podmínky, mezi kterými často je, že v objednávaných spojích budou platit místní tarify, které vznikly díky integrovaným dopravním systémům (IDS), které později integrovaly i železniční dopravu, a to buď současně starifem dopravce nebo výlučně. S každým takovým novým tarifem v krajích vznikají tarifní nesoulady v dálkové dopravě (mezi kraji). Tento nesoulad je řešen povolením užití tarifu dopravce zajišťujících dálkových spojů objednávaných MD ČR do dotčeného kraje. Ale i v dálkové dopravě může působit více dopravců, což se snaží řešit systém Jednotného tarifu (JT) s jízdenkami One Ticket (jedna jízdenka pro všechny dopravce, OT). A problém nastává, kdy cesta z bodu A do bodu C přes B vede minimálně dvěma různými dopravci s různými tarify ve svých

dálkových spojích. Cestující může užít One Ticket, což je ale znatelně dražší varianta, než kdyby jízdné tzv. půlil, ale...

Příkladem je cesta z Břeclavi do Ostravy přes Brno. Dálkovou dopravu na trati Břeclav-Brno provozuje spoje dopravce ČD a z Brna do Ostravy zase dopravce RJ. Tato cesta vede přes Jihomoravský, Olomoucký a Moravskoslezský kraj. Ve všech třech krajích je zavedené integrované jízdné na Os a Sp vlaky objednávané těmito krají. Na dálkové vlaky (R a výše) lze užít tarif dopravce a v některých případech i tarif IDS. Tudíž ve skutečnosti cestující má na výběr tři varianty a v tom různé výjimky:

- ✓ tři jízdenky IDS pro každý projetý kraj (omezený výběr spojů na vlaky kategorie Os, potažmo Sp a některé dálkové vlaky)
- ✓ dvě jízdenky dopravců (z jedné strany bez omezení na kategorie, z druhé omezení tarifních výhod)
- ✓ jízdenka One Ticket (nejdražší variant).

Ale aby to nebylo tak jednoduché... např. v případě dvou jízdenek dopravců, ČD tarifně nabízí bezplatný návrat do výchozí stanice v případě ujetí návazného přípoje, ale jízdní doklad zní jen do Brna, nikoliv do Ostravy, tudíž se s žádným přípojem RJ nepočítá a možnost bezplatného návratu neexistuje. Takové mohou být dopady při cestování na více jak jeden tarif, nemluvě o jejich rozdílnosti, co se týče nabízeného slevového sortimentu, typu jízdného, služeb, odškodnění a vůbec přepravních podmínek.

- S každým dalším dopravcem v ZVS se zvyšuje variace nasazených vozidel
→

Každý dopravce disponuje jinými vozidly, a tudíž např. na osobní linku v Jihomoravském kraji mohou být nasazena zcela odlišná vozidla s jinými úrovněmi komfortu, a to se s každou novou smlouvou může změnit. Proto již v minulosti byl návrh, že železniční vozidla bude vlastnit stát a dopravci je budou jen provozovat na základě smlouvy. Návrh však byl zamítnut, a přesto Jihomoravský kraj objednal 25 kusů 4 vozových a 6 kusů 2 vozových jednotek typu RegioPanter společně i se smlouvou na servis po dobu 30 let od Škoda Transportation. Tyto jednotky tak bude vlastnit kraj, budou mít i vlastní lak, který bude dávat najevo zainteresování kraje do přepravy cestujících a v současné době jsou již nasazovány [14].

2.2 Shrnutí aktuální situace

Liberalizace přináší mnoho úskalí, hlavně pro cestující – jiný tarif, jiná vozidla, jiné služby. Na druhé straně to umožnilo soutěž o dopravní obslužnost mezi dopravci a snížení ceny. Většina západních evropských států je plně liberalizovaná nebo se tomu blíží a podoba veřejné dopravy je ve všech velmi podobná, ne-li stejná. Tamní kraje mají na starost dopravu na svém území a tamní vláda (např. ministerstvo) se stará o dálkové relace. Obě tyto autority se snaží spolu komunikovat a sladovat své představy, ale ne vždy je to možné, a tudíž nesoulad může být kdykoliv a kdekoliv. Problematika tarifů v současnosti je mnohem širší a komplikovanější,

což vyžaduje samostatný výzkum, avšak bylo vhodné na tuto oblast upozornit, neboť to může tvořit další bariéru při propojování železniční dopravy.

3. Třecí plochy a význam jejich eliminace

Třecí plochy jsou místa na hranicích územní působnosti dvou a více objednavatelů dopravní obslužnosti, kde dochází ke konfliktu požadavků (např. jízdní řád, nasazená vozidla, tarif, dopravní infrastruktura atd.). Tato skutečnost neimplikuje pouze názorovou neshodu mezi objednateli, i když se to tak může jevit, neboť z psychologického hlediska čím více lidí je přítomno, tím více názorů na konkrétní věc existuje. Zároveň, i když existují dva a více krajských celků vedle sebe, neznamená to, že zde v konečném důsledku bude existovat jakákoliv neshoda, ale potencialita vzniku takových problémů se zvyšuje, než kdyby celou oblast spravovala pouze jedna autorita.

Eliminace jakékoliv třecí plochy při provozování veřejné dopravy v závazku veřejné služby by měla dle tohoto příspěvku přinést minimálně jeden z těchto aspektů:

- snížení celkových nákladů na dopravní obslužnost,
- zvýšení využití vozidel,
- uvolnění vozidel pro další užití,
- zmenšení času cestujícího stráveného na cestě (např. přestupy).

Na druhé straně by neměla přinášet jakékoliv komplikace s neopodstatněným zvýšením nákladů na provoz či snížení kvality uskutečněné přepravy s dopadem na cestující.

3.1 Pardubice hl. n. – Hlinsko v Čechách – Havlíčkův Brod

Jedná se o třecí plochu mezi Pardubickým krajem a krajem Vysočina na trati č. 238 (Pardubice-Rosice nad Labem – Havlíčkův Brod). Kraje zajišťují železniční spojení převážně nejdále do stanice Hlinsko v Čechách z vlastní strany, kde musí cestující přestoupit. Na trati se pohybuje až 92 spojů v obou směrech. Majorita z nich končí ve stanici Hlinsko v Čechách. Existují však malý počet spojů (až 11 spojů v obou směrech s vlivem na denní dobu provozu), které jsou vedeny celou tratí. Spojy provozuje dopravce České dráhy, jsou vedené různými vozidly nezávislé dieselové trakce. Celá trasa má 94 km. Třecí plocha vznikla i nasazeným vozovým parkem, neboť neexistovaly dostatečné prostředky na nákup uceleného a jednotného vozového parku pro celou relaci mezi dvěma kraji. Aktuální řešení dopravní obslužnosti také určuje související oběhy vozidel.



Obrázek 11: Trasování tratě č. 238 v úseku Pardubice – Havlíčkův Brod, Zdroj: [15], úprava autor

3.1.1 Informace o spojích

Zmíněná relace je značně různorodá, protože se dá rozdělit do několika sub-relací a opačně:

- Pardubice – Chrudim,
- Pardubice – Slatiny,
- Pardubice – Žďárec u Skutče.

V jistých případech vozidla přecházejí na jinou trať – ze Žďárce u Skutče směrem Polička. Obecně díky tomu takt není stejný, ale je citlivý na provoz podle daného dne a hodiny, tudíž nejvíce spojů pojedje v pracovní dny pondělí a pátek. V pracovní dny je takt z Pardubic přibližně 1hodinový, v dopravní špičce

30minutový, ojediněle se odjezd spojů prolíná z Pardubic hl. n. a Pardubic-Rosic n. L. ve stejný čas. Z Pardubic do Hlinska se dá dostat pouze spěšnými vlaky, ojediněle osobními vlaky, které jsou spíše užívané pro ostatní sub-relace. Z Hlinska už změny taktu nejsou tak intenzivní, v ranní špičce je takt 1hodinový, v dalších částech dne i 2hodinový. Spoje z Hlinska směřující do Pardubic jsou pak doplňovány již zmíněnými sub-relacemi, které doplňují hlinecký takt.

3.1.2 Vozový park

Na obou stranách je největší zastoupení motorových jednotek ř. 814/914 s komerčním názvem RegioNova. Na Pardubické straně nalezneme modernější motorovou jednotku ř. 844 s komerčním názvem RegioShark a menší motorový vůz ř. 810 s přípojným vozem. Jako kvalitativně dostačující se jeví jednotka RegioShark, která je vybavena klimatizací, bezbariérovou toaletou, bezdrátovým připojením Wi-Fi, místy pro osoby s omezenou schopností pohybu a orientace (OOSPO) a je nízkopodlažní. Jednotka ř. 814/914 postrádá moderní služby, oproti jednotce ř. 844 je od výroby vybavená pouze bezbariérovou toaletou a místy pro OOSPO. Od roku 2020 se do jednotek řady 814/914 přidávají zásuvky 230 V a bezdrátové připojení Wi-Fi. Pokud se jedná o motorový vůz ř. 810, od výroby zde není ani jedna z výše zmíněných služeb. Stejně jako u jednotek RegioNova, je snaha tyto motorové vozy zkvalitnit (zásuvky 230 V, Wi-Fi, USB porty, informační systém apod.) a do budoucna se dá očekávat i rozsáhlejší modernizace (přidání klimatizace), kterou prosazuje např. Moravskoslezský kraj.

3.1.3 Vazby na ostatní linky

Celá cesta z Pardubic hl. n. do Havlíčkova Brodu nebo naopak trvá spěšným vlakem necelé 2 hodiny a přímým osobním vlakem přes 2 hodiny nejen kvůli většímu počtu zastávek, ale i díky delším pobytům ve stanicích. Pokud bychom zvolili spojení s přestupem v Hlinsku v Čechách, celá cesta bude trvat obdobně necelé 2 hodiny s přestupním časem 19 minut. V Pardubicích lze přestoupit na celou škálu spojů mířící na západ (Praha a dále Plzeň, České Budějovice či Ústí nad Labem), východ (Olomouc a dále Ostrava či Brno a dále Břeclav) či sever (Hradec Králové a dále Liberec). V Havlíčkově Brodě jsou už přestupní možnosti omezenější (Jihlava, Kolín či Brno). Důležitou linkou v Havlíčkově Brodě je Praha – Brno pod označením Ministerstva dopravy R9, na kterou je možný přestup prakticky do 10 minut po příjezdu z Hlinska, dále pak přestup na osobní vlaky směr Humpolec, Ledec nad Sázavou, Kolín a Jihlava.

3.1.4 Eliminace třecí plochy

Eliminovat tuto třecí plochu je obtížné kvůli charakteru Pardubic, který vyžaduje různorodější spojení s okolními obcemi (již zmíněné sub-relace). Pokud bychom se však omezili na Hlinsko v Čechách, sloučení stran by nedělalo větší problém

s patřičnou úpravou oběhů vozidel z důvodu velmi malého obrátového času v Hlinsku. Bylo by však nutností se vyhnout skládání souprav z motorových vozů ř. 810, aby se stabilizovala nabízená úroveň přepravy. Dále by bylo možné třecí plochu odstranit proměnnou kapacitou souprav (2 jednotky), kdy jedna jednotka by zůstala v Hlinsku a další by pokračovala až do Havlíčkova Brodu. Jednotka končící ve Hlinsku by vyčkala na příjezd protijedoucího spoje pro spojení a na obrát do Pardubic. Bylo by však nutné vyloučit motorový vůz řady 810 a sjednotit vozový park, neboť jednotka RegioShark má automatické spřáhlo a RegioNova konvenční šroubovku – i to je řešitelné skrze adaptér, ale navyšovalo by to obtížnost v technologii práce.

4. Postup eliminace třecí plochy

V této kapitole je nastíněno, jak lze postupovat při eliminaci třecích ploch v železniční dopravě, včetně přínosů, které tyto způsoby mohou přinést. Součástí je i rámcové vyčíslení nákladů.

4.1 Teoretický postup eliminace

Pro eliminaci třecí plochy (dále jen TP) s co nejmenším zásahem do již vytvořených oběhů je potřeba zanalyzovat tyto oběhy a obraty/přechody souprav z/na spoje. Cílem je vždy spoje končící v třecí ploše/řezu relace vést dál do jedné počáteční stanice z druhé strany třecí plochy. Např. pokud spoje vyráží z Pardubic do Hlinska v Čechách, kde je přestup na Havlíčkův Brod, je snaha tyto spoje neukončovat v Hlinsku v Čechách, ale vést je dál až do Havlíčkova Brodu.

Proveditelnost eliminace bez zásahu do oběhů je možné pouze tehdy, pokud obrátový čas v řezu relace (Hlinsko v Čechách) je natolik velký, že postačí na jízdu z řezu do počáteční stanice na druhé straně TP a na jízdu nazpět včetně přijatelného času pobytu v konečné stanici pro technologickou práci. Samozřejmě to záleží na časové konzistenci spojů. Pokud časová rezerva obrátu není dostatečně velká, je nutné oběhy vytvořit znovu. Celá tato analýza poukáže i na to, zda je aktuální počet souprav nedostačující, dostačující nebo či dokonce přebytečný.

4.2 Výpočet pouze vozidlových nákladů

V tomto pohledu na TP je důležitou hodnotou celkový počet najetých km dotčených spojů (dopravní výkon), potažmo vozidel (oběhy vozidel a jejich proběh), protože v daných spojích jich může být víc než jen jedno vozidlo. Jinými slovy, střed pozornost musí být kladen jen na ty náklady, které přímo souvisí s použitými vozidly (náklady na dopravní výkon, náklady na užití dopravní cesty, náklady na čištění a údržbu, režijní náklady apod.). Výpočet je relativně jednoduchý, hlavně v případě využití aktuálních oběhů. Výsledkem je možnost srovnat celkový počet najetých kilometrů před a po eliminaci třecí plochy.

4.3 Výpočet všech relevantních nákladů

Oproti výpočtu pouze vozidlových nákladů, rozdíl zde spočívá ve výpočtu dalších dílčích hodnot, ze kterých vycházejí nákladové položky, které přímo nesouvisí s pohybem vozidel (např. náklady na vlakovou četnu, strojvedoucí, pokladny apod.). Díky tomu tento způsob nabídne detailní náhled, na jakých položkách se změna nejvíce projeví, neboť je potřeba vytvořit i turnusy/směny personálu. A to může být rozhodující, zda se eliminace třecí plochy vyplatí z finančního hlediska, nebo alespoň z hlediska komfortu pro cestující.

4.4 Řešená železniční linka

Detailní postup výpočtu a eliminace třecí plochy je uveden v diplomové práci, ze které tento příspěvek vychází [1], [16]. V této podkapitole jsou uvedeny pouze důležité skutečnosti.

Podoba oběhů vozidel je značně komplikovaná – vozidla, která jsou nasazena na řešenou třecí plochu, v této relaci nezůstávají, hlavně ty od Pardubic. Jak již bylo zmíněno, ČD na relaci Pardubice – Hlinsko v Čechách / Havlíčkův Brod – Hlinsko v Čechách nasazují převážně motorové jednotky řady 814, částečně motorové jednotky řady 844 a ojediněle motorové řady 810. Jednotky řady 844 jsou pod Hradcem Králové a jako jediné se nejvíce udržují na třecí ploše. Oproti tomu jednotky řady 814 (pod Pardubicemi / Havlíčkovým Brodem) různě přechází mezi Hlinskem v Čechách a Poličkou, tedy mezi řešenou tratí č. 238 a tratí č. 261, z Pardubické strany. Trať č. 261 se odděluje ve stanici Žďárec u Skutče. Vozidla z Havlíčkova Brodu míří buď do řešeného Hlinska v Čechách, či na opačnou stranu do Humpolce. A jako poslední, řada 810 se na řešené třecí ploše objevuje velmi sporadicky z Pardubické strany. Jsou hlavně využívány na ramenech Heřmanův Městec – Chrudim a Chrudim – Moravany. Na obsluze řešené třecí plochy se podílí celkově 19 vozidel (plus blíže neurčená záloha):

- řada 844: 2,
- řada 814: 12,
- řada 810: 5.

Je nutné podotknout, že jednotlivé typy vozidel nejsou nasazené na řešené třecí ploše ve stejné časové míře a každé jednotlivé vozidlo najede různý počet kilometrů. Proběh vozidel je logicky větší než dopravní výkon, neboť na jednom spoji může jet víc souprav, než je potřeba nebo se jedná o prázdné jízdy (Sv, Lv), např. přesun do výchozí stanice, přesun do určené stanice pro čištění či provozní ošetření apod.

Při eliminaci byla maximální snaha zachovat původních charakter spojů, tudíž i jejich jízdní dobu. Trať je jednokolejná, to komplikuje krácení jízdních dob spojů kvůli potřebnému křížování vlaků. Obecně po prodloužení relací a tím i jízdních dob dojde logicky k velkému nárůstu dopravního výkonu, ale také k mnoha konfliktům, ať už se jedná o jízdní doby, kapacitu trati (především jednokolejná) i nadbytečnosti v případě některých upravených spojů, neboť mohou jet ve velmi

podobný čas s rozdílem 5-10 minut, jako spoje, kterou mají stejnou trasu, ale upraveny nebyly. Nebo jedou v čas, kdy po takových spojích není poptávka v dané trase. Pak je na objednavateli s přihlédnutím k přepravním proudům určit, které spoje budou zrušeny, protože konfliktní spoje mohou být různého charakteru, kapacity nebo kategorie, např. Sp vs. Os. Bez zrušení takových spojů se zbytečně zvyšují náklady, přetěžuje trať a v konečném důsledku je takt ve stanicích příliš zbytečně krátký (30 a méně minut).

Konfliktní spoje však nemusí být nutně rušeny, takovým příkladem jsou dva konfliktní spoje kategorie Sp a Os, kdy jízdní doba vlaku Sp je zřetelně kratší než spoje Os. Relativně kratší jízda spoje kategorie Sp je vhodnější pro pracovní dny, kdy je pro cestující důležitější rychlejší přeprava do práce či do školy do větších aglomerací. Naopak spoj Os může být vhodně pro víkendy, kdy není nutný spěch. Z takové situace je možné omezit Sp vlak pouze na pracovní dny a Os pouze na víkendy, neb se zastupují v daný čas. Avšak každý případ je specifický a je nutné k němu přistupovat samostatně.

Autor příspěvku upravil trasy všech dotčených spojů, následně zrušil spoje, které byly konfliktní, či které byly dle jeho názoru nadbytečné. Dále mírně upravil časové polohy některých spojů při tvorbě oběhů pro zachování plynulosti železničního spojení.

Úprava oběhů souprav proběhla pro dny pondělí, pátek, sobota a neděle. Provoz v pracovních dnech pondělí-čtvrtek je stejný, liší se pouze pátek. Nejvíce souprav je v provozu v pátek (8 vozidel) a nejméně v sobotu (6 vozidel). Z výpočtu $8 * 1,165$ vychází, že je potřeba min. 10 souprav, z toho 2 záložní [17]. To je asi o 4 vozidla méně (10 vs. 14 – bez řady 810), než je aktuálně použito. Zcela přesný počet vozidel použitých jen na řešené relaci nelze definovat, neboť jak již bylo zmíněno, vozidla přechází na jiné relace. Nové oběhy tudíž striktně požadují nasazení daných vozidel jen pro jednu relaci.

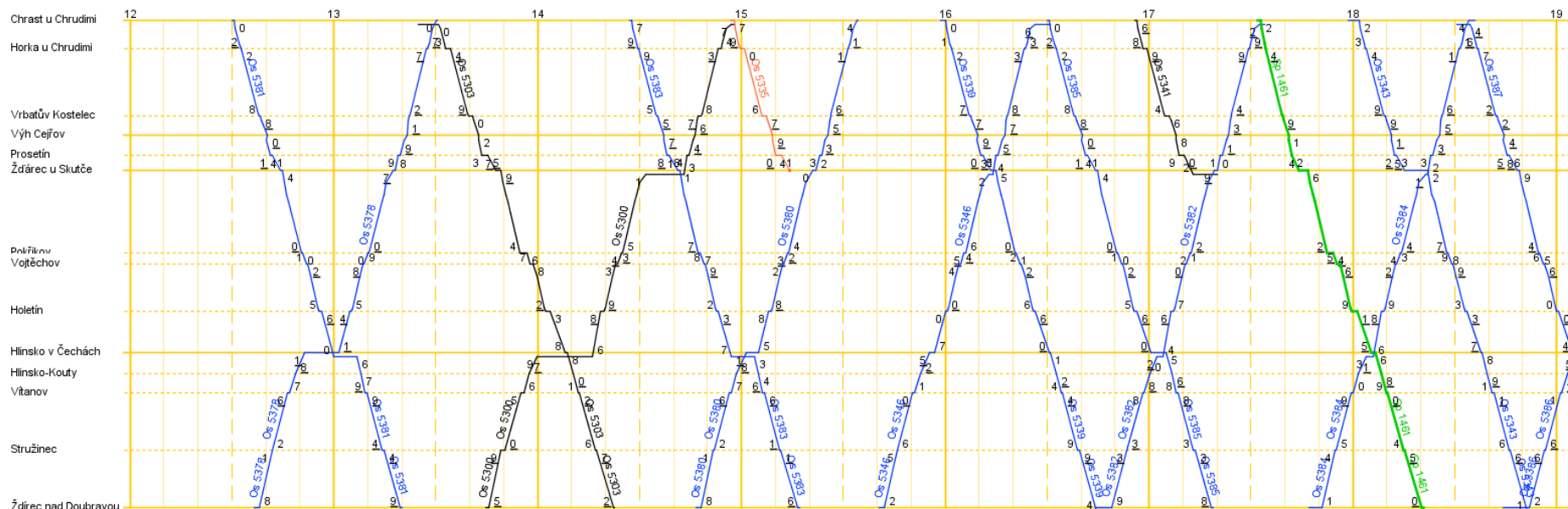
Správné uspořádání oběhů jednotlivých souprav mírně narušovala vedlejší trať č. 261 (Žďárec u Skutče – Polička – Svitavy), kdy některé spoje z Pardubic přecházely na tuto trať ve Žďárci u S., kde poté měnily číslo na jiný soubor osobních vlaků, či zůstaly v řešeném souboru – tyto spoje řešeny nebyly. Výjimkou byl spoj č. 5333, jehož cílová stanice jsou Slatiňany či Polička v závislosti na dnu provozu. Další úskalím byl např. spoj s číslem 5366, na který většinu času přecházela souprava spoje 25055 z trati č. 016 (Moravany – Chrudim), který není obsahem řešení. Avšak v rámci zachování integrity vytvořených oběhů je zajištěno, že řešené soupravy takové spoje mohou pokrýt.

Nicméně, vytvořené oběhy plně nezohledňují vedlejší relace (tratě), tedy pokud by se upravená relace aplikovala, muselo by dojít k restrukturalizaci oběhů, což by s velkou pravděpodobností zvýšilo počet potřebných souprav. Na druhou stranu navýšení je logické, neboť i uvedené počty vozidel pro relaci s třetí plochou také nezahrnují vedlejší relace, tudíž výsledný počet by byl vyšší v obou případech.



Obrázek 12: Motorový vůz ř. 810 a motorové jednotky ř. 814/914 a 844 (zleva), Zdroj: autor

Předpokládá se, že na konci roku 2023 by měly být nasazeny nové jednotky řady 847. To by logicky mělo vyrovnat kvalitativní povahu celé relace, ale i tento předpoklad může být mylný. V každém případě tím hrozí stále nejednotnost vozového parku – možná diferenciací údržby a další autorizace pro strojvedoucí. Řešení tohoto problému možná ani neexistuje, protože ve většině případů nejsou prostředky na to, aby se nakoupily nová vozidla na celou provozovanou síť krajem [18].



Obrázek 13: Ukázka nákrasného jízdního řádu po eliminaci třecí plochy, zdroj: autor

Legenda:

- černé spoje – ponechány, neboť už před eliminací byly vedeny v celé trase,
- modré – sloučené spoje, které před eliminací končily ve stanici Hlinsko v Čechách = nové spoje,
- zelené – původní spoje s upravenou denní dobou provozu,
- oranžové/červené – spoje s variantními trasami na základě denní doby provozu, úprava trasy by minimálně komplikovala oběhy.

4.5 VÝSLEDEK OPTIMALIZACE A ZJIŠTĚNÉ SKUTEČNOSTI

V této kapitole je zhodnocení výsledků příspěvku a zamyšlení se nad tím jejím přínosem. V tabulce č. 3 se nachází náklady na dopravní obslužnost Pardubice – Hlinsko v Čechách – Havlíčkův Brod v aktuálním stavu (s třecí plochou) a ve stavu bez třecí plochy, což je podstatou práce.

Tabulka 13: Srovnání celkových nákladů v relaci Pardubice – Havlíčkův Brod bez třecí plochy.

Dopravní obslužnost Pardubice – Hlinsko v Čechách – Havlíčkův Brod		
Náklady [Kč]	S třecí plochou	Bez třecí plochy
Náklady na dopravní cestu	8 991 002	10 006 984
Náklady na dopravní výkon	9 090 848	11 558 924
Celkové náklady	18 081 850	21 565 908

Zdroj: autor

Práce jako taková měla v první řadě poukázat na to, co způsobila liberalizace osobní železniční dopravy. Následně měla tyto skutečnosti zanalyzovat, navrhnout univerzální řešení a aplikovat je. Jak již bylo zmíněno, eliminace třecí plochy by měla stručně přinést min. jeden z těchto aspektů:

- snížení nákladů na dopravní obslužnost ← ukazatel: celkové náklady na provoz,
- zvýšení využití vozidel ← ukazatel: náklady na dopravní cestu, případně proběh vozidel,
- snížení nutného počtu vozidel ← ukazatel: počet potřebných vozidel / souprav,
- zvýšení komfortu cestování ← nasazená vozidla, počet přestupů, celková doba přepravy a doby pobytů.

Samotná eliminace třecí plochy mění využití vozidel a jejich nutný počet, neboť se upravují trasy spojů a případně oběhy. Zvýšení využití vozidel nijak nesouvisí s *ukazatelem součinitele využití jízd vozidel*, který je jedním z ukazatelů pro posouzení efektivního využití vozového parku. Spíše společně s počtem souprav vytváří synergický efekt, kdy méně vozidel najede ve stejné dopravní obslužnosti stejný počet km nebo i více a přebytečná vozidla lze užít jinak či vůbec (úspora z nákladů na menší vozový park). Z toho poté vychází celkové náklady na dopravní obslužnost, avšak velkou proměnnou v procesu úpravy je typ vozidla a jeho jednotková cena za 1 vlkm, ve kterém jsou zahrnuty náklady na jeho provoz (údržba, čištění, režijní náklady apod.). Finálním přínosem je poté zvýšení komfortu pro cestující minimálně v tom, že není nutný přestup, který vytváří prostoje a tím prodlužuje celkově dobu přepravy.

V aktuální stavu je relace rozdělena na dvě části: Pardubice – Hlinsko v Čechách a Hlinsko v Čechách – Havlíčkův Brod. Jen na jedné části jsou nasazena dražší vozidla na provoz, který pokrývají ze 73,4 %. V druhé části jsou plně nasazena levnější vozidla na provoz. Celou nákladovou situaci popisuje tabulka č. 4.

Tabulka 14: Srovnání dopr. výkon pro jednotlivá vozidla v relaci Pardubice – Havlíčkův Brod.

Náklady na dopravní výkon jednotlivých vozidel v relaci s třecí plochou		
Vozidlo	Pardubice – Hlinsko v Č.	Havlíčkův Brod – Hlinsko v. Č.
Mot. jednotka 814 3,58 Kč/vlkm	117 936 km	284 960 km
	422 211 Kč	1 020 157 Kč
Mot. jednotka 844 19,93 Kč/vlkm	331 344 km	0 km
	6 603 686 Kč	0 Kč
Náklady na dopravní výkon jednotlivých vozidel v relaci bez třecí plochy		
Vozidlo	Pardubice – Havlíčkův Brod	
Mot. jednotka 814 3,58 Kč/vlkm	542 568 km	
	1 942 393 Kč	
Mot. jednotka 844 19,93 Kč/vlkm	474 136 km	
	9 449 531 Kč	

Zdroj: autor.

Z tabulky vyplývá, že v celé sledované relaci dělené na dvě části najezdí za rok – v dopravní obslužnosti s třecí plochou:

- 814: 402 896 km,
- **844: 331 344 km,**

v dopravní obslužnosti bez třecí plochy:

- 814: 474 136 km,
- **844: 542 568 km.**

Výsledkem je, že celkový dopravní výkon je vyšší, avšak v situaci bez třecí plochy dražší jednotka 844 najezdí značně více kilometrů než v situaci s třecí plochou, a celkově i více než levnější jednotka 814. Primárně tedy na eliminaci záležití, jaká vozidla jsou nasazena, kde a v jaké intenzitě. Homogenní vozový park by poté přinesl nejen stejnou kvalitou ve všech spojích, ale i sjednocenou údržbu.

Závěr

V příspěvku byl zanalyzován současný systém dopravní obslužnosti ČR v závazku veřejné služby se všemi jeho aspekty, které mají dopad na cestující. Česká republika jako člen Evropské unie se musí řídit stanovenými evropskými právními normami a její legislativou, tudíž měnit nastavený systém veřejné dopravy nelze. Proto byla navržena státní opatření, které by měly minimalizovat negativní dopady tohoto evropského systému. Příspěvek dále analyzoval vybranou dopravní obslužnost s třecí plochou i s návrhem na její eliminaci. Výsledkem každé eliminace je zjištění, zda eliminace vůbec má přínos a odhalení vstupů, které mají značný vliv na snižování nákladů na dopravní obslužnost.

Třecí plocha může vzniknout z vícero různých důvodů, ať už se jedná infrastrukturu či vozidla, s čímž se pojí finanční prostředky. Dalšími důvody může být rozdílná představa objednatelů o uplatněných tarifech nebo jízdním řádu. Eliminovat třecí plochu lze dvěma způsoby, a to buď upravením stávajících oběhů bez jejich razantního narušení nebo vytvořením zcela nových oběhů. To však záleží, jak velká je časová rezerva na obrat ve stanici řezu relace. O výši výsledných nákladů na provoz vozidel rozhoduje nejen počet nasazených vozidel, ale finanční náročnost jednotlivých typů vozidel, u kterých záleží, na jaké vzdálenosti jsou nasazovány a jak často, jinými slovy – kolik dopravního výkonu z celkového počtu pokryjí.

Jak již bylo zmíněno, čtenář by měl vzít v úvahu, že detailní postup eliminace nalezne v diplomové práci [1].

Seznam zkratk

ARR	Arriva vlaky
AŽD	Automatizace železniční dopravy Praha
ČD	České dráhy, a.s.
ČR	Česká republika
DLB	Die Länderbahn
GWTR	GW Train Regio
IDS	Integrovaný dopravní systém
JŘ	Jízdní řád
JT	Jednotný tarif
KŽC	Klub železničních cestovatelů
LE	Leo Express
MD ČR	Ministerstvo dopravy České republiky
OOSPO	Osoby s omezenou schopností pohybu a orientace
OT	One Ticket
PKP Cargo	Polskie Koleje Państwowe Cargo
RJ	Regiojet
SŽ	Správa železnic
TP	Třecí plocha
ZVS	Závazek veřejné služby

Literatura

- [1] F. Baran, „Optimalizace využití časového fondu železničních vozidel“. Univerzita Pardubice, 2021.
- [2] *Regulation (EC) No 1370/2007 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on public passenger transport services by rail and by road and repealing Council Regulations (EEC) Nos 1191/69 and 1107/70*, roč. 315. 2007. Viděno: 13. listopad 2022. [Online]. Dostupné z: <http://data.europa.eu/eli/reg/2007/1370/oj/eng>
- [3] *Zákon o veřejných službách v přepravě cestujících a o změně dalších zákonů*, roč. 2010. Viděno: 13. listopad 2022. [Online]. Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=194&r=2010>
- [4] Jan Sůra, „České dráhy přijdou od prosince o rychlíky Kolín - Ústí nad Labem. RegioJet bude levnější“, *Zdopravy.cz*, 30. březen 2021. <https://zdopravy.cz/ceske-drahy-prijdou-od-prosince-o-rychliky-kolin-usti-nad-labem-regiojet-bude-levnejsi-77685/> (viděno 17. listopad 2022).
- [5] „Regiojet | Vlakové a autobusové jízdenky“, *Kam jezdíme*. <https://regiojet.cz/kam-jezdime> (viděno 17. listopad 2022).
- [6] „GW Train Regio“, *GW Train Regio*. <https://www.gwtr.cz/> (viděno 17. listopad 2022).
- [7] „Arriva“, *Naše spoje*. <https://www.arriva.cz/cs/autobusy-a-vlaky/vlaky> (viděno 17. listopad 2022).
- [8] Ministerstvo dopravy České republiky, „Smlouva na provoz rychlíků mezi Plzní a Mostem ušetří státu 80 milionů korun“. <https://www.mdcr.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Ministerstvo-dopravy-podepsalo-smlouvu-na-provoz-r> (viděno 17. listopad 2022).
- [9] Jan Sůra, „Arriva začne od prosince provozovat vlaky z Liberce až do Jaroměře, České dráhy se vrátí do Lomnice“, *Zdopravy.cz*, 16. září 2021. <https://zdopravy.cz/arriva-zacne-od-prosince-provozovat-vlaky-z-liberce-az-do-jaromere-ceske-drahy-se-vrati-do-lomnice-91711/> (viděno 17. listopad 2022).
- [10] Jan Sůra, „Čtvrt roku do velké změny na železnici. Kraje i stát novým dopravcům věří, že stihnou nabrat lidi“, *Zdopravy.cz*, 15. září 2019. <https://zdopravy.cz/ctvrt-roku-do-velke-zmeny-na-zeleznici-kraje-i-stat-novym-dopravcum-veri-ze-stihnou-nabrat-lidi-34281/> (viděno 17. listopad 2022).
- [11] Jan Sůra, „GW Train Regio převezme vlaky v Pošumaví. Místo regionov budou jezdit nejspíše RS1“, *Zdopravy.cz*, 26. březen 2021. <https://zdopravy.cz/gw-train-regio-prevezme-vlak-v-posumavi-misto-regionov-budou-jezdit-nejspise-rs1-77334/> (viděno 17. listopad 2022).

- [12] Jan Sůra, „GW Train Regio uhájil provoz v Karlovarském kraji na deset let. Cena za kilometr stoupla jen o inflaci“, *Zdopravy.cz*, 10. říjen 2021. <https://zdopravy.cz/gw-train-regio-uhajil-provoz-v-karlovarskem-kraji-na-deset-let-cena-za-kilometr-stoupla-jen-o-inflaci-93801/> (viděno 17. listopad 2022).
- [13] Jan Sůra, „Rok a čtvrt do startu provozu v Pošumaví. GWTR zbývá jen modernizace interiéru“, *Zdopravy.cz*, 24. září 2022. <https://zdopravy.cz/rok-a-ctvrt-do-startu-provozu-v-posumavi-gwtr-zbyva-jen-modernizace-interieru-127104/> (viděno 17. listopad 2022).
- [14] Jan Sůra, „Smlouva na jihomoravské pantery detailně: návrh interiéru do 4 měsíců, cena zůstane i při změně norem - Zdopravy.cz“. <https://zdopravy.cz/smlouva-na-jihomoravske-pantery-detailne-navrh-interieru-do-4-mesicu-cena-zustane-i-pri-zmene-norem-39448/> (viděno 17. listopad 2022).
- [15] „Mapy.cz“, *Mapy.cz*. <https://mapy.cz> (viděno 13. listopad 2022).
- [16] „Pomůcky JŘ pro služební potřebu“. Správa železnic, s. o., 2022 2000.
- [17] Jan Hrabáček a Petr Nachtigall, *Provozování dráhy a drážní dopravy III*, Studijní opor. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011.
- [18] „České dráhy, a. s. | PESA dodá další vozy pro České dráhy, druhá objednávka podepsána“. <http://www.ceskedrahy.cz/tiskove-centrum/tiskove-zpravy/-32236/> (viděno 4. prosinec 2022).

Lektorovali:

prof. Ing. Vlastislav Mojžíš, CSc.,

Univerzita Pardubice

Ing. Václav Haas,

ROPID

8. Porovnání metodik hodnocení kvality geometrie koleje

Daniel Joudal ⁹,

Pavel Kulich ¹⁰,

Otto Plášek ¹¹

Klíčová slova

geometrické parametry koleje, statistické hodnocení, celková známka kvality koleje

Keywords

track geometry parameters, statistical evaluation, overall track quality score

Anotace

V článku je porovnána v současnosti v České republice používaná metodika hodnocení kvality geometrie koleje pomocí celkové známky kvality (CZK) s nově vytvořenou metodikou indexu kvality trati, vyvinutou na Technické univerzitě ve Štýrském Hradci (TU Graz Track Quality Index – TUG_TQI). Cílem porovnání je zjistit vzájemné výhody a nevýhody obou hodnotících metodik a pomocí nich vypočtených hodnotících indexů.

Pro tento účel byl vybrán vhodný úsek trati, který byl vyhodnocen pomocí obou metodik. Úsek byl vybrán tak, aby ve výsledcích co nejlépe vynikly vlastnosti obou metodik pro různé parametry tratí z hlediska geometrických parametrů a konstrukce železničního svršku.

⁹ Bc. Daniel Joudal – Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb, Veveří 331/95, Brno, daniel.joudal@vutbr.cz

¹⁰ Ing. Pavel Kulich – Správa železnic, státní organizace, Dlážděná 1003/7, Praha, 110 00, kulich@spravazeleznic.cz

¹¹ doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D. – Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb, Veveří 331/95, Brno, otto.plasek@vutbr.cz

Abstract

The paper compares the method currently used in the Czech Republic to assess the quality of track geometry using the overall quality score (CZK) with a track quality index method newly developed at the Technical University of Graz (TU Graz Track Quality Index – TUG_TQI). The aim of the comparison is to find out the mutual advantages and disadvantages of both evaluation methods and the evaluation indexes calculated using them.

For this purpose, the suitable track section was selected, evaluated using both methods and then the results obtained were compared. The selected section was chosen in such a way that the characteristics of both methods for different track parameters in terms of geometric parameters, track quality and superstructure stand out as much as possible in the results.

Úvod

Současné hodnocení geometrických parametrů koleje (GPK) v České republice vychází z úsekového hodnocení a hodnocení lokálních závad [2]. Všechny měřicí prostředky s kontinuálním záznamem, využívané pro centrální diagnostiku, umožňují obojí způsob hodnocení. Výstupy všech těchto měřicích prostředků musí být převoditelné do Informačního systému provozního stavu sítě tratí (IS PSST). Hodnocení kvality geometrických parametrů koleje je vždy vztaženo k danému rychlostnímu pásmu [1].

Úsekové hodnocení je založeno na výpočtu známek kvality (ZKV) pro úseky dané délky. Pro tyto úseky jsou pak ZKV počítány pro jednotlivé parametry GPK, a to pomocí různých metod a postupů výpočtů. Jednotlivé známky kvality GPK jsou pak zkombinovány do celkové známky kvality (CZK) úseku a známky podbití (ZP). Pro výpočet jednotlivých ZKV je využito koeficientů závislých na daném parametru a rychlostním pásmu [2].

Hodnocení lokálních závad v současnosti vychází ze skutečnosti, že GPK jsou měřeny jako skutečná geometrie koleje nebo jsou na skutečnou geometrii přepočteny, a to pomocí matematického modelu s příslušnou přenosovou funkcí. Norma ČSN 73 6360–2 [1] rozlišuje odchylky GPK dle toho, zda se jedná o přejímku nové trati (stavební odchylky) anebo o provoz trati (provozní odchylky). Pro všechna rychlostní pásma je stanoveno hodnocení provozních odchylek GPK:

- Mez sledování AL (Alert Limit) – pokud je stanovená hodnota překročena, je třeba stav GPK posoudit a vzít v úvahu při plánování udržovacích prací.
- Mez zásahu IL (Intervention Limit) – pokud je stanovená hodnota překročena, je třeba provést udržovací práce tak, aby před příští kontrolou nedošlo k překročení mezní provozní odchylky.
- Mez bezodkladného zásahu IAL (Immediate Action Limit) – pokud je stanovená hodnota překročena, je nutné provést bezodkladně opatření k zajištění bezpečnosti provozu.

Index kvality trati vyvinutý na Technické univerzitě ve Štýrském Hradci (TUG_TQI), vybraný k porovnání se současně používanými ZKV, používá pro hodnocení jiný přístup. V případě TUG_TQI se při uplatnění vlivu rychlostního

pásma zohledňují hodnoty mezí, sledované pro lokální závady. Při výpočtu tedy lze zohlednit dohodnutou mez daného parametru v daném rychlostním pásmu [3]. Pro výpočet TUG_TQI byla pro porovnání zvolena mez zásahu IL.

1. Porovnávané metodiky hodnocení GPK

Index celkové známky kvality a známka podbíjení

Známky kvality jsou bezrozměrné parametry úsekového hodnocení, rozdělené do tří skupin:

- Zámka kvality jednotlivých parametrů (ZKV)
- Celková známka kvality (CZK)
- Zámka podbíjení (ZP)

Výpočet CZK a ZP je založen na výpočtu směrodatných odchylek (SDO) pro úseky dlouhé 200 m [2]. Tyto směrodatné odchylky jsou poté přepočítány na známky kvality.

Známky kvality jsou navrženy tak, aby pro dané rychlostní pásmo měly statistické rozdělení pravděpodobností s průměrem 3 a stanovený podíl všech hodnot kterékoliv ze známek byl menší nebo roven 4. Mezní hladinou pro hodnocení vyhovujících tratí za provozu pro jednotlivé známky je hodnota 4. Tato hodnota není sama o sobě bezpečnostním kritériem, ale vyjadřuje žádoucí standard údržby [1, 2].

Výpočet známek se provádí následujícím způsobem:

a) směrodatná odchylka jednotlivého parametru je vypočítána podle vztahu:

$$SDO = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i^2}, \quad (1)$$

kde:

n ... počet vzorků měření

x_i ... odchylka od střednice hodnocené geometrické veličiny

b) Zámka kvality jednotlivých GPK je dána vztahem:

$$ZKV = 6 * \left(1 - \exp\left(\frac{-SDO^m}{b}\right)\right), \quad (2)$$

kde:

SDO ... směrodatná odchylka příslušné veličiny

b, m ... číselné konstanty stanovené na základě statistik SDO

c) celková známka kvality a známka podbíjení se poté vypočtou:

$$CZK = [k * \max\{(w_{SK} * ZKV_{SK} + w_{RK} * ZKV_{RK}); (w_{PK} * ZP_{PK} + w_{VK} * ZP_{VK})\}]^q, \quad (3)$$

$$ZP = [k * \max\{(w_{SK} * ZKV_{SK}); (w_{PK} * ZP_{PK} + w_{VK} * ZP_{VK})\}]^q, \quad (4)$$

kde:

ZKV ... známka kvality, index označuje příslušný parametr

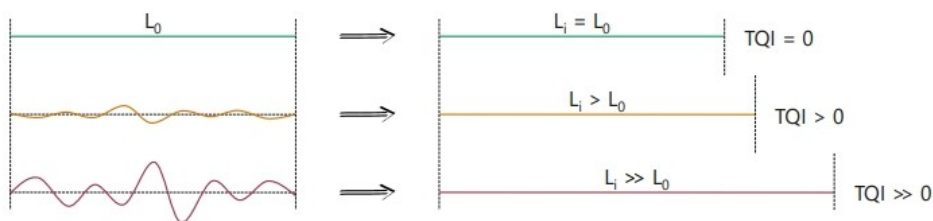
ZP ... známka podbíjení, index označuje příslušný geometrický parametr

w... váhové koeficienty jednotlivých veličin

k, q ... koeficienty respektující jednotlivá rychlostní pásma

Index kvality trati TUG_TQI

Hlavním cílem indexu kvality trati Technické univerzity v Grazu bylo vytvořit univerzální



systém pro hodnocení GPK, který by se dal využít na všech tratích [3]. Index má eliminovat všechny nevýhody dosud používaných metodik, např. počítání vad GPK bez závažnosti, používání subjektivních váhových faktorů atd.

Index byl navržen tak, aby splňoval tyto podmínky:

- popsat celkovou kvalitu geometrie koleje, která zahrnuje jak lokální závady, tak rozptyl jednotlivých signálů,
- opírat se o fyzikální principy a vyhýbat se subjektivním váhovým faktorům,
- umožnit hodnotit kombinaci všech GPK, pro které jsou definované meze,
- použitelnost pro různé konstrukce koleje (rozchod, rychlost atd.),
- nebyť ovlivněn rozšířením rozchodu či projektovanou strmostí ve vzešupnicích.

Díličí indexy kvality pro jednotlivé parametry využívají pro svůj výpočet tzv. délku prostorové křivky. Jedná se v zásadě o délku křivky vytvořené naměřenými odchylkami. Čím je tato křivka delší, tím je index kvality horší [3].

Žádné odchylky

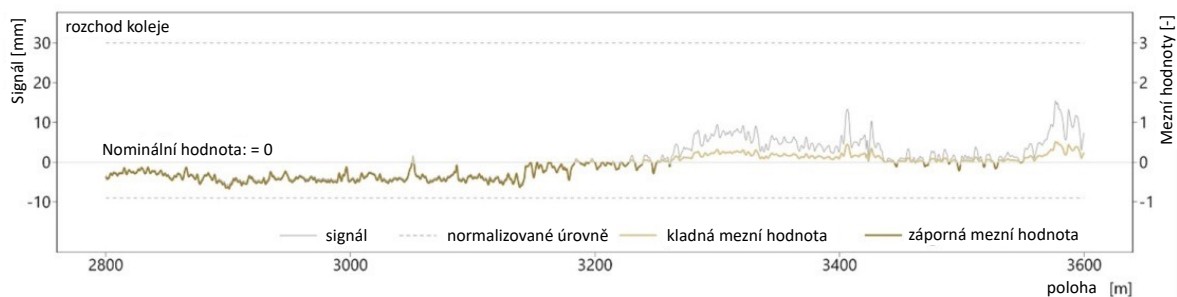
Mírné odchylky

Velké odchylky

Obr. 1 Délka prostorové křivky a její vztah k odchylkám GPK (3)

Za účelem porovnání konstrukčních a geometrických parametrů koleje a jejich odchylek se jednotlivé signály normalizují. Normalizace signálů se provádí z důvodu zanesení váhy měřeného parametru do celkového hodnocení trati. Normalizace spočívá ve vydělení signálu předem definovanou hodnotou, přičemž lze využít například hodnotu meze zásahu (IL). Pro srovnávací výpočty byly použity meze „IL“ dle ČSN 73 6360-2 [1].

Zajímavá je normalizace signálů, které mají rozdílnou mez zásahu pro kladné a záporné hodnoty odchylek, tj. např. pro parametr rozchod koleje (RK).



Obr. 2 Příklad normalizace parametru RK (3)

Z obr. 2 je patrné, že záporné hodnoty odchylek rozchodu koleje mají po normalizaci mnohem vyšší vliv na délku prostorové křivky než kladné hodnoty, a tudíž mají i větší vliv na hodnotu indexu vztaženého k rozchodu koleje.

Výpočet TUG_TQI probíhá v následujících krocích:

- 1) Rozdělení parametrů GPK a jejich mezí na kladné a záporné hodnoty, pokud je to zapotřebí. Rozdělují se pouze parametry, které mají jinou mezní hodnotu pro kladné a záporné hodnoty. Pro účely porovnání byly jako mezní zvoleny hodnoty IL.
- 2) Normalizace všech signálů s ohledem na zvolené nebo stanovené mezní hodnoty.
- 3) Sloučení všech signálů, u nichž byly zavedeny rozdílné kladné a záporné meze.
- 4) Výpočet délky prostorové křivky (L_i – viz výše) signálů jednotlivých parametrů dle vztahu:

$$L_i = \sum_{j=1}^{m-1} \sqrt{(x_{j+1} - x_j)^2 + (y_{i(j+1)} - y_{ij})^2}, \quad (5)$$

kde:

x_j ... poloha normalizované hodnoty parametru

y_j ... hodnota normalizovaného parametru

- 5) Výpočet dílčího indexu kvality (TQI_i) pro jednotlivé parametry dle vztahu:

$$TQI_i = \left(\frac{L_i}{L_0} - 1 \right) * 10^x \quad (6)$$

kde:

L_i ... délka signálu vypočtená podle vztahu (5)

L_0 ... délka hodnoceného úseku

10^x ... zvětšení řádu pro přehlednost (TQI_i vychází ve velmi malých řádech), typická hodnota používaná ve výpočtu TQI je 10^4

- 6) Zprůměrování hodnot dílčích indexů TQI_i pro levou a pravou kolejnici, pokud jsou u daného parametru GPK takto sledovány.
- 7) Výpočet celkového indexu (TUG_TQI) pomocí dílčích indexů TQI_i jako jejich průměr:

$$TUG_TQI = \frac{\sum_{i=1}^n TQI_i}{n} \quad (7)$$

kde:

TQI_i ... dílčí indexy kvality jednotlivých parametrů

n ... počet indexů

Velkým rozdílem ve výpočtu TUG_TQI oproti CZK je, že využívá tzv. klouzavou metodu při výběru zkoumaného úseku. Ta spočívá v tom, že vypočítá hodnotu kvality ve středu hodnoceného úseku a poté se přesune o délku měřičského kroku, kde výpočet provede znovu. Měřené úseky se tak překrývají. Délka měřičského základny je pro tento výpočet 200 m, což je typická hodnota pro CZK [2].

2. Příklad hodnocení kvality geometrických parametrů koleje a porovnání metodik

Pro porovnání výše uvedených metodik hodnocení kvality GPK byl zvolen úsek trati Malšice – Sudoměřice u Bechyně. Jedná se o jednokolejnou trať nacházející se v rychlostním pásmu RP0 s oblouky malých poloměrů. Sledovaný úsek je dlouhý 7,8 km, začíná ve staničení km 10,6 a končí v km 18,2. Železniční svršek je soustavy S49 s pražci SB 5, kolejnice jsou upevněny na podkladnicích TR 5.

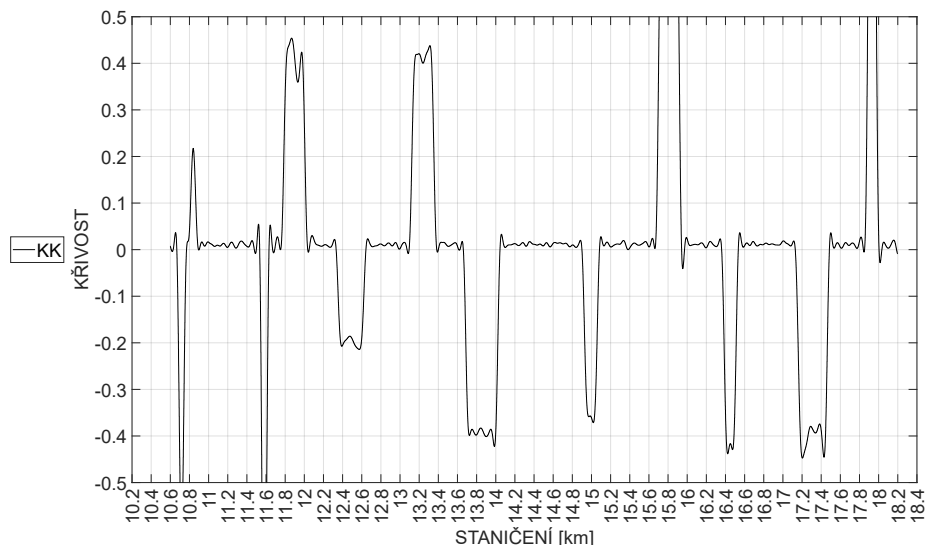
Pro výpočet TQI byly použity mezní hodnoty pro rychlostní pásmo RP0:

IL rozchodu koleje (RK) -8 mm a +33 mm

IL převýšení koleje (PK) ± 18 mm

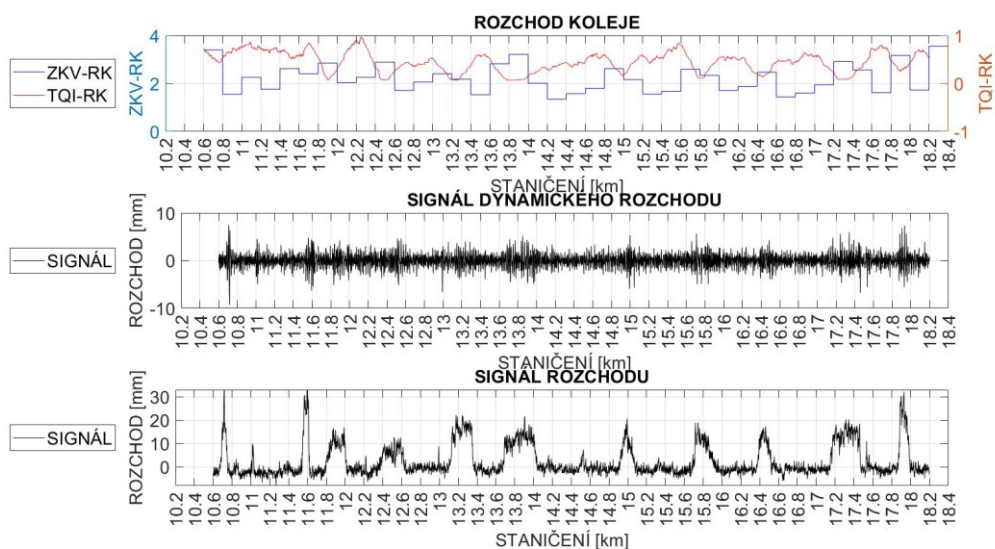
IL směru koleje (SK) ± 18 mm

IL výšky koleje (VK) ± 20 mm



Obr. 3 Přehled hodnoceného úseku – průběh křivosti koleje

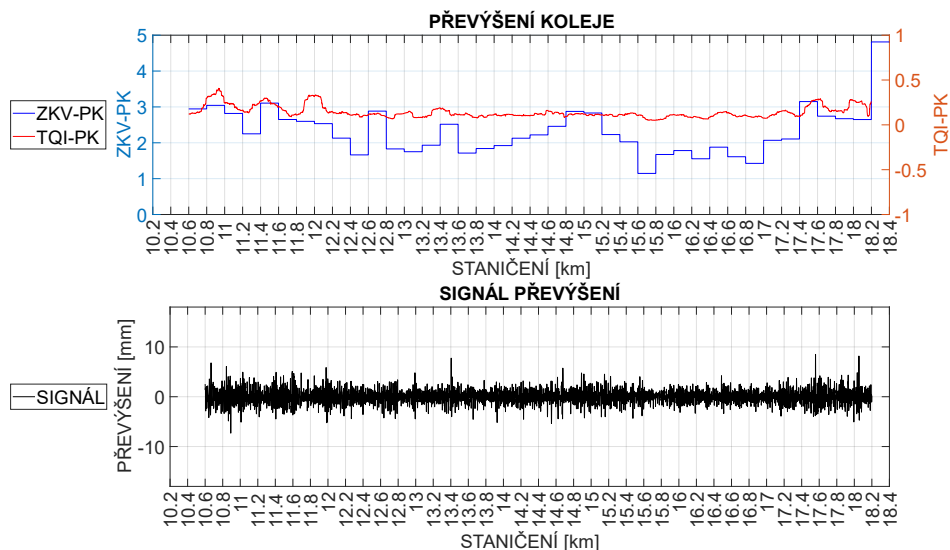
Rozchod koleje:



Obr. 4 Graf parametru Rozchod koleje (RK), Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2

ZKV_RK je počítána ze signálu dynamického rozchodu koleje. Dynamickou hodnotou rozchodu koleje je myšlena krátkovlnná složka RK (v pásmu $\lambda = 3-25$ m), která je zbarvena hodnot rozšíření RK v obloucích. V místech rozšíření rozchodu (viz graf křivosti na obr. 3) vykazují ZKV_RK vysoké hodnoty. Naopak dílčí index TQI_RK je počítán z hodnot celkového rozchodu a má vyšší hodnoty v místech, kde jsou odchylky rozchodu v záporných hodnotách. Z pohledu jízdy vozidla jsou záporné odchylky rozchodu nepříznivější než odchylky kladné, a proto lze říct, že svým průběhem vystihuje TQI_RK lépe skutečnost.

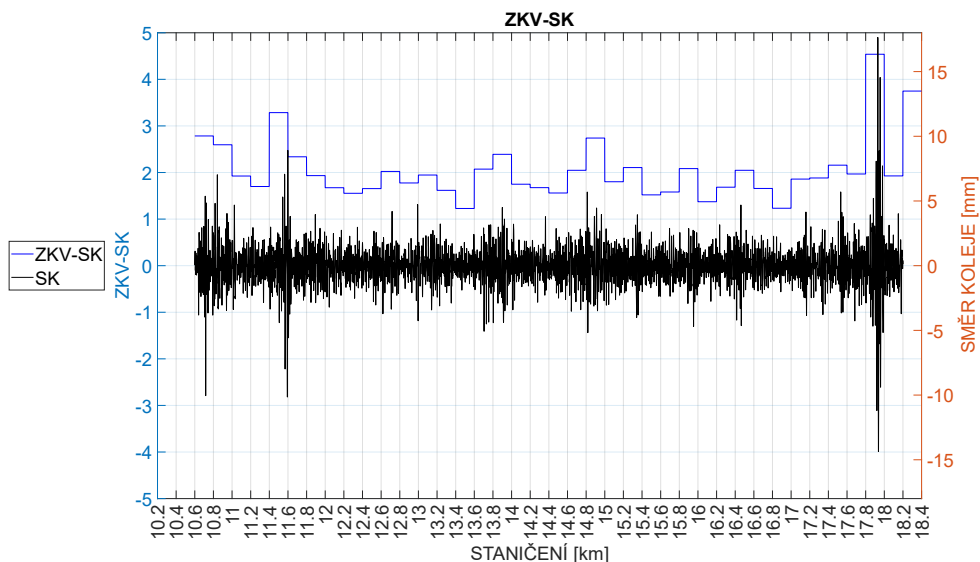
Převýšení koleje:



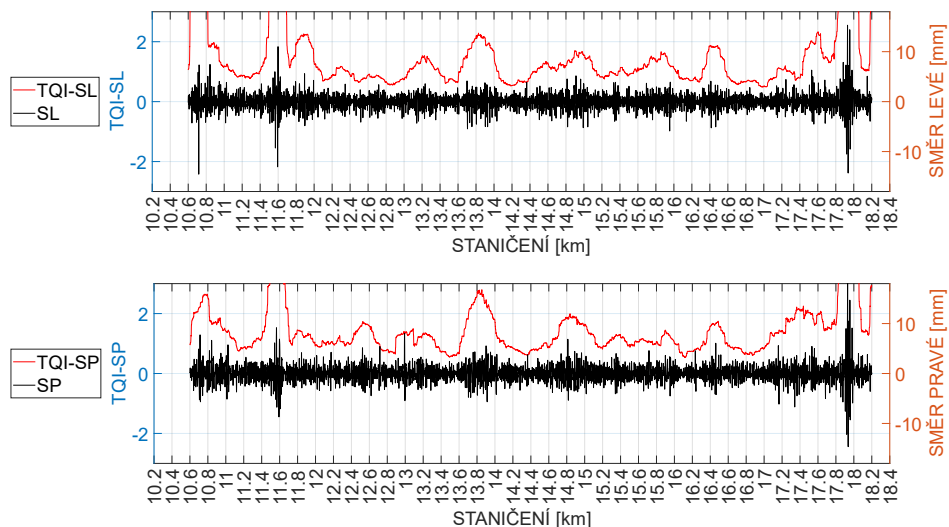
Obr. 5 Graf parametru Převýšení koleje (PK) Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2

ZKV_PK i TQI_PK jsou počítány z dynamického převýšení koleje. Průběh dílčího indexu TQI_PK vykazuje v grafu na obr. 5 plynulejší průběh a hodnoty relativně nižší (vzhledem k uvažovaným mezím) než ZKV_PK.

Směr koleje:



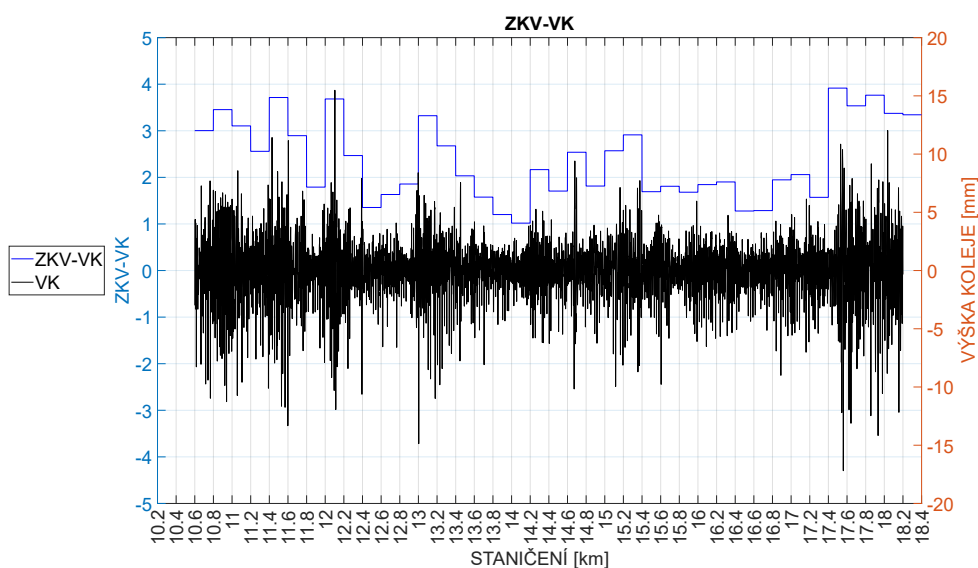
Obr. 6 Graf parametru Směr koleje (SK), Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2



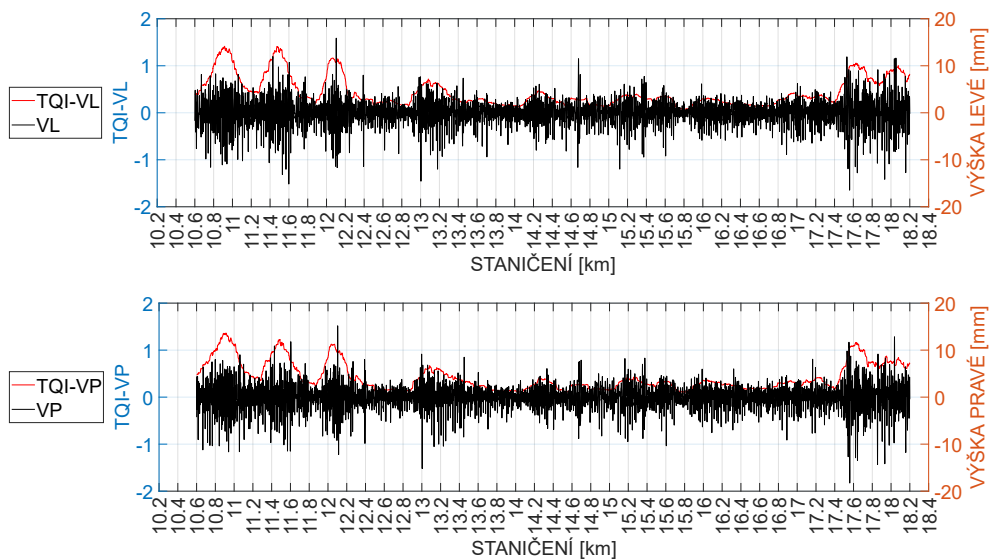
Obr. 7 Grafy parametrů Směr pravé kolejnice (SP) a Směr levé kolejnice (SL), Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2

Pro směr koleje musely být vytvořeny dva grafy, viz obr. 7, protože zatímco index ZKV počítá s průměrem směrů levé a pravé kolejnice, tak dílčí index TQI započítává průběhy směrů jednotlivých kolejnice zvlášť. Hodnoty dílčího indexu TQI na obr. 7 se nachází na levé modré ose (na rozdíl od grafů RK a PK na obr. 6 a obr. 7). Průběhy výstupů obou metodik jsou podobné. Kolem km 18,0 je hodnota směru koleje velmi blízko mezní hodnotě IL. Proto dílčí indexy TQI_SK, SL nabývají v tomto místě vysoké hodnoty.

Výška koleje:



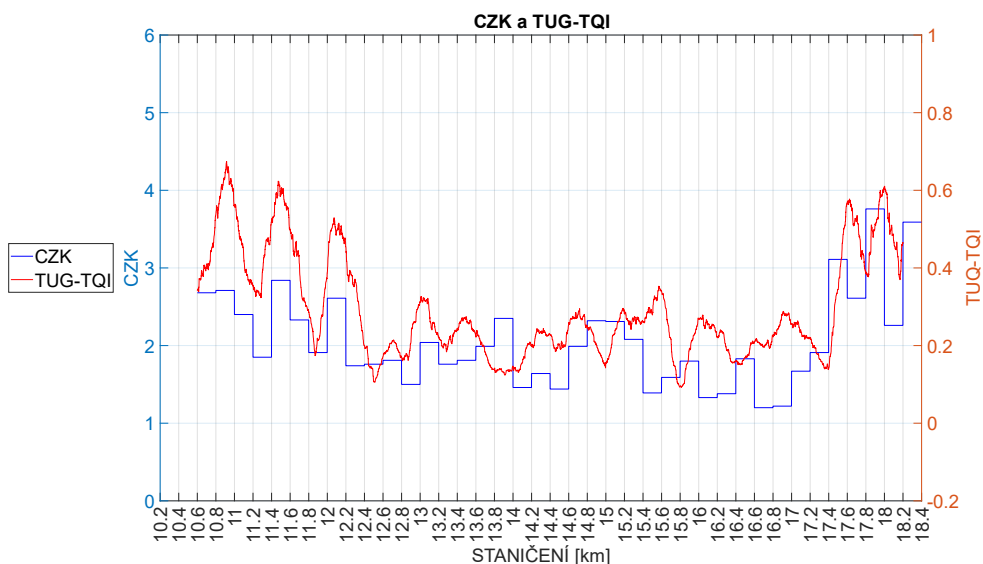
Obr. 8 Graf parametru Výška koleje (VK), Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2



Obr. 9 Grafy parametrů Výška pravé kolejnice (VP) a Výška levé kolejnice (VL), Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2

I pro výšku koleje musely být vytvořeny dva grafy, viz obr. 9, protože zatímco index ZKV počítá s průměrem výšek levé a pravé kolejnice, tak dílčí index TQI započítává průběhy výšek jednotlivých kolejnice zvlášť. Hodnoty dílčího indexu TQI se nachází na levé modré ose. Můžeme vidět, že průběh dílčího indexu TQI lépe kopíruje průběh signálu, avšak průběhy křivek indexů vypočítaných oběma metodikami jsou opět podobné.

Graf CZK a TUG_TQI:



Obr. 10 Graf CZK a TUG_TQI, Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2

Průběh TUG_TQI je na několika místech významně odlišný od průběhu CZK. Děje se tak v místech, kde jsou záporné hodnoty rozchodu koleje. To je způsobeno značným rozdílem obou metodik v postupu k vyhodnocení rozchodu koleje, viz graf ZKV_RK a TQI_RK na obr. 4.

Závěr

V praktické části byly pro zkoumaný úsek vypočteny známky / indexy jednotlivých geometrických parametrů koleje i celkové známky / indexy kvality trati pomocí obou porovnávaných metodik. Pro obě metodiky byly zvoleny tyto geometrické parametry: rozchod koleje, převýšení koleje, směr koleje, výška koleje. Tyto parametry byly zvoleny z důvodu přímé porovnatelnosti obou metodik, protože CZK počítá právě s těmito geometrickými parametry.

Při porovnání metodik bylo zjištěno, že jak jednotlivé dílčí indexy TQI, tak i celkový index kvality TUG_TQI, citlivěji kopírují průběh naměřených hodnot, a tím lépe upozorňují na lokální závady. V případě rozchodu jsou hodnoty jednotlivých indexů rozdílné v místech záporných hodnot rozchodu koleje. To je způsobeno značným rozdílem obou metodik v postupu k vyhodnocení rozchodu koleje. V ostatních případech jsou průběhy obou metodik podobné.

Způsob výpočtu CZK je velmi složitý z důvodu potřeby zařazení statistických a váhových koeficientů do výpočtu. Tyto koeficienty se mohou v průběhu času měnit, což například komplikuje zkoumání vývoje geometrických parametrů v průběhu více let.

Výhodou výpočtu TUG_TQI je, že se dá použít pro všechny tratě a parametry, které mají přiřazenou mezní hodnotu, v našem případě mez zásahu IL. Další výhodou je, že je tento výpočet v čase neměnný (za předpokladu stabilních mezních hladin GPK), a také to, že správce infrastruktury může případně celkový index TUG_TQI konfigurovat z jednotlivých dílčích indexů TQI dle vlastní potřeby.

Literatura

- [1] ČSN 73 6360-2 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba.
- [2] Předpis SŽDC S2/4 Předpis pro zajišťování diagnostiky železničního svršku měřícími prostředky s kontinuálním záznamem.
- [3] Analyzing Major Track Quality Indices and Introducing a Universally Applicable TQI. Applied Sciences. 10.8490. 10.3390/app10238490. Offenbacher, Stefan & Neuhold, Johannes & Veit, Peter & Landgraf, Matthias. (2020)

Lektorovali:

Ing. Miloslav Volejník,

Správa železnic, státní organizace

Ing. Leoš Horníček, Ph.D.,

Fakulta stavební ČVUT v Praze