

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Možnosti nasazování vozidel s nízkoemisními pohony na železnici v rámci ČR

Bc. Ladislav Kmoch

Diplomová práce
2023

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Ladislav Kmoch**
Osobní číslo: **D21482**
Studijní program: **N1041A040008 Technologie a management v dopravě**
Specializace: **Dopravní management, marketing a logistika**
Téma práce: **Možnosti nasazování vozidel s nízkoemisními pohony na železnici v rámci ČR**
Zadávací katedra: **Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky**

Zásady pro vypracování

Úvod

1. Popis možností využití nízkoemisních pohonů na železnici
2. Obecná analýza neelektrizovaných tratí v ČR
3. Opatření a návrhy vycházející z analytické části práce
4. Zhodnocení návrhů

Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **50-60 stran**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucí/ho**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:
dle pokynů vedoucí/ho práce

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jindřich Ježek, Ph.D.**
Katedra dopravního managementu, marketingu
a logistiky

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Pavla Lejsková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. dubna 2023

Prohlašuji:

Práci s názvem Možnosti nasazování vozidel s nízkoemisními pohony na železnici v rámci ČR jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnici Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 12. 5. 2023

Ladislav Kmoch v. r.

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Jindřichu Ježkovi, Ph.D., za vstřícný přístup a velmi cenné rady při zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval pracovníkům Správy železnic, státní organizace a Ing. Ondřeji Kovaříkovi za poskytnuté podklady.

ANOTACE

Diplomová práce se zaměřuje na problematiku nízkoemisních kolejových vozidel na železnici. V práci je popsán vývoj v oblasti nízkoemisních technologií pro železnici především v posledních několika letech. Dále je stručně analyzována železniční síť v České republice. Práce se zabývá možnostmi využití nízkoemisních kolejových vozidel na železničních tratích v České republice. Práce je zaměřena především na to, jak by se mělo přistupovat k další podpoře železnice jako k jedinému ekologickému dopravnímu oboru v současné době, aby byla zachována a rozšířena jeho konkurenceschopnost vzhledem k ostatním dopravním módům.

KLÍČOVÁ SLOVA

nízkoemisní kolejová vozidla, železniční infrastruktura, vodíkový článek, elektromobilita, životní prostředí

TITLE

Possibilities of low-emission railway rolling stock deployment in the Czech Republic

ANNOTATION

The diploma work focuses on the issue of low-emission rolling stock on railways. The work describes the development in the field of low-emission technologies for railways especially in the last few years. Furthermore, the railway network in the Czech Republic is briefly analyzed. The diploma work describes the possibilities of deploying the use of low-emission rolling stock on railway network in the Czech Republic. It is focused mainly on how to attract the rail system as currently only environmentally friendly transport system and to maintain and increase its competitiveness in comparison to other transport modes.

KEYWORDS

low emission rolling stock, rail infrastructure, hydrogen fuel cell, electromobility, environment

OBSAH

ÚVOD	10
1 POPIS MOŽNOSTÍ VYUŽITÍ NÍZKOEMISNÍCH POHONŮ NA ŽELEZNICI.....	11
1.1 Charakteristika dostupných nízkoemisních pohonů v oblasti železniční dopravy	11
1.1.1 Vodíkový palivový článek (FCH).....	11
1.1.2 Bateriový zdroj energie	14
1.1.3 Hybridní pohon	14
1.1.4 Jiné možnosti.....	14
1.2 Vývoj železničních vozidel dle druhů pohonu.....	16
1.2.1 Společnost Alstom	16
1.2.2 Společnost Stadler Rail AG	19
1.2.3 Společnost Siemens AG.....	22
1.2.4 Škoda Transportation a.s.....	25
1.3 Výhody a nevýhody jednotlivých druhů pohonu	26
1.3.1 Vodíkový palivový článek (FCH).....	26
1.3.2 Bateriový zdroj energie	26
2 OBECNÁ ANALÝZA NEELEKTRIZOVANÝCH TRATÍ V ČR.....	27
2.1 Rozdělení tratí do kategorií.....	27
2.1.1 Struktura železniční sítě v ČR a její hustota dle krajů	28
2.1.2 Organizace dopravní obslužnosti na železniční síti	35
2.1.3 Meziregionální tratě a posouzení uzlů z pohledu dopravní obslužnosti	35
2.1.4 Objednatelé dopravy	38
2.2 Analýza příslušných dokumentů.....	39
2.2.1 Vodíková strategie pro klimaticky neutrální Evropu	40
2.2.2 Vodíková strategie České republiky	41
2.3 Výstup analytické části	42
3 OPATŘENÍ A NÁVRHY VYCHÁZEJÍCÍ Z ANALYTICKÉ ČÁSTI PRÁCE.....	44
3.1 Návrh metodiky pro nasazování nízkoemisních kolejových vozidel.....	44
3.1.1 Návrh obsahu kategorie vstupních dat pro oblast současné infrastruktury	44
3.1.2 Návrh obsahu kategorie vstupních dat pro oblast současné technologie dopravy	45
3.1.3 Návrh obsahu vstupních dat pro oblast geografických a klimatických dat.....	45
3.1.4 Návrh obsahu vstupních dat pro oblast sociologických údajů a ukazatelů v rámci oblasti.....	45

3.1.5	Návrh obsahu vstupních dat pro oblast poptávky po dopravě.....	46
3.1.6	Návrh obsahu vstupních dat pro oblast objednávání dopravy.....	46
3.1.7	Návrh obsahu vstupních dat pro oblast interoperability a kolejových vozidel	46
3.1.8	Návrh obsahu vstupních dat pro ostatní oblasti	47
3.2	Klíčovní aktéři.....	47
3.2.1	Státní správa, samospráva a jejich složky	47
3.2.2	Majitelé a provozovatelé drah	48
3.2.3	Doprováci.....	48
3.2.4	Zákazníci	48
3.2.5	Výrobci a dodavatelé vozidel.....	48
3.2.6	Výrobci infrastrukturních komponentů.....	48
3.2.7	Výrobci a dodavatelé provozních systémů.....	49
3.2.8	Subjekty zajišťující dodávky trakční elektrické energie, případně trakčního paliva nebo jiných druhů energií	49
3.3	Rizikové faktory.....	49
3.3.1	Rizikové faktory v oblasti infrastruktury	49
3.3.2	Rizikové faktory v oblasti technologie.....	51
3.3.3	Rizikové faktory v oblasti vozidel	52
3.3.4	Metoda práce s rizikovými faktory (nebo kvantifikace rizikových faktorů).....	53
3.3.5	Vyhodnocení dopadů rizik	55
3.4	Návrh identifikace jednotlivých úseků vhodných pro nasazení nízkoemisních vozidel	56
4	ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ	60
4.1	Popis položek kalkulace.....	60
4.2	Kalkulace nákladů pro elektrizaci (prostou elektrizaci).....	62
4.3	Kalkulace nákladů pro bateriovou jednotku (BEMU)	64
4.4	Kalkulace nákladů pro jednotku s vodíkovým článkem	65
4.5	Zhodnocení výsledků kalkulace.....	66
	ZÁVĚR	68
	POUŽITÁ LITERATURA.....	69
	SEZNAM TABULEK.....	76
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	77
	SEZNAM ZKRATEK.....	78

SEZNAM PŘÍLOH.....	81
--------------------	----

ÚVOD

V poslední době je kladen velký důraz na šetrnost k životnímu prostředí u všech činností člověka. Především jde o takzvanou uhlíkovou stopu, tedy snížení emisí oxidu uhlíku ve všech oblastech lidské činnosti. Doprava je velkým znečišťovatelem životního prostředí. Největší podíl na znečišťování skleníkovými plyny v oboru dopravy mají námořní, letecká a silniční doprava. Železniční doprava je v tomto porovnání vysoce ekologická, protože produkuje pouze 0,5 % z celkového objemu emisí z dopravy. To ale neznamená, že by měla být vynechána z řešení, která vedou ke snížení emisí oxidu uhlíku. Kromě snahy o převedení značné části nákladní dopravy na železnici z jiných dopravních módů a preferenci osobní železniční dopravy, což jsou hlavní cíle politiky Evropské Unie, je třeba se zabývat také náhradou používaných fosilních paliv na železnici palivy pocházejícími z obnovitelných zdrojů. Největší dopady mají tyto nové technologie do nákladové oblasti jak v oblasti infrastruktury, kolejových vozidel, tak i v dalších oblastech. Železnice je z dlouhodobého pohledu velmi konzervativní a citlivý systém, je tedy nutné, aby změny související se zaváděním nízkoemisních technologií na železnici byly vnímány jako příležitost k posunu kupředu. Aby bylo dosaženo tohoto požadovaného stavu vnímání věci, je třeba mít k dispozici analytické materiály, na jejichž základě budou navrženy postupy, které neohrozí rozvoj železničního systému a jeho konkurenceschopnost. Provedené změny nepřinesou okamžité výsledky ihned, ale jedná se o dlouhodobou vizi a záměry, které by měly v budoucnu posílit vliv a postavení železnice jako strategického dopravního módu pro celou společnost. Diplomová práce má za cíl analyzovat současné prostředí železniční dopravy a navrhnout jednoduché, srozumitelné a smysluplné využití nízkoemisních technologií a paliv na železnici tak, aby železniční doprava byla dopravou ještě ekologičtější, udržitelnou a konkurenceschopnou.

1 POPIS MOŽNOSTÍ VYUŽITÍ NÍZKOEMISNÍCH POHONŮ NA ŽELEZNICI

První kapitola diplomové práce popisuje jednotlivé druhy nízkoemisních pohonů, které jsou v současnosti k dispozici v železniční dopravě. Dále se zaměřuje na popis vývoje a výroby kolejových vozidel využívajících uvedené alternativní druhy pohonů. Také jsou popsány výhody a nevýhody jednotlivých druhů pohonů, a to jak z pohledu samotných vozidel (souprav), tak nezbytně potřebné podpůrné infrastruktury, která je pro jednotlivé druhy pohonů odlišná.

1.1 Charakteristika dostupných nízkoemisních pohonů v oblasti železniční dopravy

Emise doprovázejí dopravu v celém jejím vývoji. S navýšením požadavků na přepravu ve všech dopravních oborech zákonitě došlo k nárůstu počtu dopravních prostředků a nároků na kapacitu dopravní infrastruktury. Vysoké požadavky na dopravu způsobují velký nárůst dopravních prostředků produkujících emise všeho druhu (CO₂, hluk, vibrace atd.). Některé emise se dařilo v průběhu tohoto navýšení více či méně redukovat, ale například emise CO₂ neprodukuje ve velkém jen doprava, ale i jiná průmyslová odvětví. Proto se snižováním emisní zátěže CO₂ v dopravě začali zabývat odborníci ve všech dopravních módech. Tento vývoj byl postupný a začal nejdříve v silniční dopravě (z ní byla ne vždy správně převzata odborná terminologie jinými dopravními obory), následovala doprava železniční, vodní a jako poslední doprava letecká.

Níže jsou uvedeny jednotlivé nejpoužívanější typy nízkoemisních pohonů využitelných na železnici.

Nízkoemisní železniční vozidla nejsou dosud na rozdíl od silničních nízkoemisních vozidel legislativně přesně vymezena. Obecně lze označit jako nízkoemisní železniční vozidla taková, která mají nulové, popřípadě výrazně nižší emise, než mají konvenční železniční vozidla.

1.1.1 Vodíkový palivový článek (FCH)

Zájem o využitelnost vodíku jako zdroje pro produkci trakční energie v posledních letech prudce roste. Výjimkou není ani sektor železniční dopravy. Důkazem toho, že je plánováno značné využití vodíku jako paliva, je například vytváření strategických plánovacích dokumentů. Jedná se o dokumenty jak na nadnárodní úrovni (např. Evropské

Unie), tak na národní úrovni, tedy tzv. vodíkové plány jednotlivých členských států EU. V tomto ohledu nezaostává ani Česká republika, která má již dokument Vodíková strategie České republiky vypracován. Tento dokument je jedním z možných nástrojů, který by měl pomoci České republice splnit závazky v rámci evropských dokumentů věnujících se problematice životního prostředí, udržitelnosti a emisí. V dlouhodobém horizontu by mělo být hlavním cílem dosažení klimatické neutrality.

V mnoha zemích EU včetně ČR byla problematika ekologické železniční dopravy zahrnuta jako součást Národních plánů obnovy, které vycházejí z EU Green Deal a EU Recovery Plan.

Electric motor news (2020) uvádí popis fungování vodíkových článků. Ty jsou umístěny na střeše jednotky spolu s nádržemi obsahujícími vodík. Vodík je veden z těchto zásobních nádrží do palivového článku. Dalším vstupem je kyslík, který je čerpán (získáván) ze vzduchu. V pohonném článku dochází k chemické reakci kyslíku a vodíku a je vytvářena elektrická energie. Jde o tzv. reverzní elektrolýzu, při níž jako produkty reakce vznikají destilovaná voda a (elektrická) energie. Tato vytvořená elektrická energie je primárně využita pro trakční motory. Zbytek energie, která není v daném okamžiku využita je veden do úložiště. Jako úložiště energie jsou využívány lithium-iontové baterie. Energie je do úložiště také dodávána z kinetické energie při brždění jednotky, a to rekuperací. Energie z baterií je pak využívána při akceleraci (jako dodatečná energie), pokud je to nezbytné, a dále je také využívána pro napájení palubních systémů jednotky (jako například: klimatizace/vytápění jednotky, osvětlení uvnitř soupravy, automatické otevírání dveří atd.).

Spolu s využitím FCH nového typu pro získávání trakční energie bude nutné vyřešit řadu problémů, spojených především s nutností změn v legislativní oblasti a výzvy v oblasti výstavby nové a doplňkové infrastruktury. Jedná se například o návrh plánu pro rozmístění vodíkových plnicích stanic.

Česká vodíková technologická platforma (HYTEP) uvádí, že vodík patří mezi nejrozšířenější prvky na Zemi a tvoří převážnou část veškerého hmotného vesmíru. Kvůli své vysoké reaktivitě se vodík na planetě Zemi vyskytuje v drtivé většině v podobě sloučenin. V základní formě se jedná se o bezbarvý, hořlavý plyn. Je také nejlehčím a nejjednodušším prvkem (první prvek Periodické soustavy prvků).

Podle společnost Ricardo, je pro využití vodíku jako paliva pro FCH nutné rozlišovat vodík podle toho, jakého je původu. V současné době je okolo 96 % celkové produkce vodíku z fosilních paliv. Zbývající 4 % jsou vyráběna elektrolýzou vody (v budoucnosti by se zastoupení tohoto typu výroby vodíku mělo zvyšovat). Obecně je pro průmyslové účely

vypracováno rozdělení na jednotlivé kategorie dle původu produkce vodíku. Toto barevné rozdělení je uvedeno níže na Obrázku 1.

COLOUR	FUEL	PROCESS	PRODUCTS
BROWN/BLACK	Coal	Steam reforming or gasification	H ₂ + CO ₂ (released)
WHITE	N/A	Naturally occurring	H ₂
GREY	Natural Gas	Steam reforming	H ₂ + CO ₂ (released)
BLUE	Natural Gas	Steam reforming	H ₂ + CO ₂ (% captured and stored)
TURQUOISE	Natural Gas	Pyrolysis	H ₂ + C (solid)
RED	Nuclear Power	Catalytic splitting	H ₂ + O ₂
PURPLE/PINK	Nuclear Power	Electrolysis	H ₂ + O ₂
YELLOW	Solar Power	Electrolysis	H ₂ + O ₂
GREEN	Renewable Electricity	Electrolysis	H ₂ + O ₂

Obrázek 1 Rozdělení vodíku dle způsobů výroby (Ricardo, úprava autor)

Jak uvádí Pyke (2021) jednotlivé podkategorie je možné sdružit do hlavních kategorií, dle jejich podobných vlastností.

Pod pojmem bílý vodík se označuje vodík, který se vyskytuje volně v přírodě. Jedná se o čistý vodík, tedy přesněji H₂. Tato forma vodíku je poměrně vzácná a příliš se s ní není možné setkat.

Hnědý vodík je kategorie, do které je zařazena podkategorie hnědý (černý) vodík a šedý vodík. Obě tyto podkategorie využívají jako zdroj fosilní palivo (uhlí nebo zemní plyn). V současné době tvoří tato kategorie přibližně 90 % komerčně dostupného vodíku.

Modrý vodík je druhou kategorií, do níž patří podkategorie modrý a tyrkysový vodík. Podobně jako u předchozí kategorie je zdrojem fosilní palivo, v tomto případě zemní plyn. Jako vedlejší produkt vzniká uhlík v pevném skupenství. Hlavní rozdíl oproti předchozí kategorii (hnědý vodík) je v technologii ukládání a odstraňování produkovaného oxidu uhličitého.

Zelený vodík je kategorií, do níž patří červený, fialový (růžový), žlutý a zelený vodík. Všechny tyto podkategorie získávají vodík díky elektrické energii získávané z obnovitelných zdrojů energie (větrná, vodní, solární atd.). K získávání vodíku patřícího do této kategorie se využívá elektrolýzy, jejímž výsledkem je molekulární vodík a kyslík (tedy H₂ a O₂). Tento vodík je bezpochyby možné označit za nízkoemisní palivo.

1.1.2 Bateriový zdroj energie

Jako další alternativa k diesellové trakci, která je v současné době využívána na neelektrizovaných tratích je energie z baterií.

Jak uvádí VDE (2018), zdrojem trakční energie je v tomto případě baterie (BEMU). Tyto jednotky jsou vhodné především pro kratší neelektrizované tratě. Využití se nabízí také na částečně elektrizovaných tratích (tratě, kde některé úseky nejsou elektrizovány).

Výhodou tohoto pohonu je možnost nabití baterie při čekání vlakové soupravy přímo ve stanici, a to z trakčního vedení. Nutná je ale dostatečná doba čekání vlakové soupravy v dané stanici, kde nabíjení probíhá.

1.1.3 Hybridní pohon

Z popisů uvedených v předchozí části práce je zřejmé, že hybridní pohon se na železnici využívá již poměrně dlouhou dobu (v odborné terminologii je užíván název „přenos výkonu“). Švestka na webových stránkách Atlas lokomotiv uvádí, že přenos výkonu znamená, jakým způsobem je výkon motoru přenášen do trakčních motorů, které vozidlo pohánějí. V minulosti byl používán obdobně jako u silničních vozidel mechanický přenos výkonu, tedy spalovací motor byl přímo propojen na převodovku, která zajišťovala přenos výkonu na jednotlivé nápravy. Při nasazování stále výkonnějších motorů, přestal mechanický přenos dostatečovat a byl nahrazen elektrickým přenosem výkonu na principu „spalovací motor-generátor elektrické energie-trakční motor“.

V případě nízkoemisních vozidel se tedy jedná spíše o tzv. duální pohon (není použit spalovací motor). Jde tedy o kombinaci různých typů zdroje energie. Nejčastěji využívaná je kombinace „trakční vedení-baterie“. Uvažuje se také o kombinaci „trakční vedení-FCH“, zde je ovšem nutno vyřešit některá bezpečnostní rizika.

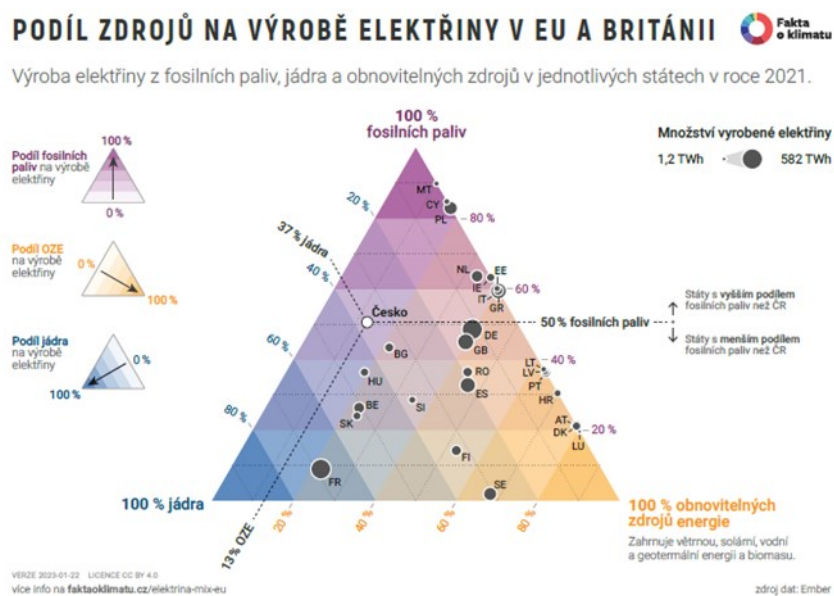
1.1.4 Jiné možnosti

Pro úplnost je nutné zmínit, že výše uvedené možnosti pohonu nejsou jediné nekonvenční nízkoemisní způsoby pohonu železničních kolejových vozidel a jednotek, o kterých se uvažuje nebo bylo uvažováno v minulosti. Následující druhy pohonu jsou ale v práci zmíněny jen okrajově, a to z důvodu problematiky představitelného uvedení do provozu za současného stavu, nebo ekonomické neefektivity. Mezi tyto možnosti patří například jaderný pohon, nebo použití konvenčního trakčního vedení využívající elektrickou energii pouze z obnovitelných zdrojů energie.

S myšlenkou využití železniční jednotky na jaderný (atomový) pohon se bylo možno setkat v 50. a 60. letech 20.století v USA a SSSR. Jak uvádí Hlavatý (1964) prototyp vyvíjený

v SSSR byl problematický svou velikostí, musel by obsahovat ochranný štít proti záření a vyžadoval by speciální železniční infrastrukturu s rozchodem 4 m. Jak uvádí webové stránky Security magazin (2019), podobné problémy byly i v případě návrhu lokomotivy s atomovým pohonem v USA vedeném fyzikem L.B. Borstem, u kterého se jako problematický faktor ukázala vysoká cena prototypu a jeho paliva. Tyto prototypy tak byly omezeny pouze na návrhové dokumentace a nikdy nebyly uvedeny ani do zkušebního provozu. Tato varianta pohonu se zdá být i v dnešní době, a to i přes velký technologický pokrok, poměrně nereálnou cestou, která je spíše otázkou vzdálené budoucnosti.

Jako jedna z dalších možností nízkoemisních pohonů je využití klasického trakčního vedení. Zde je ovšem nutné zohlednit i původ využívané elektrické energie, tedy zda pochází z obnovitelných zdrojů. Tato identifikace je ovšem v reálném provozu nemožná. Je tedy otázkou, jak nahlížet na pohon elektrickou energií z trakčního vedení, a zda je možné ho označit za zcela nízkoemisní pohon.



Obrázek 2 Podíl zdrojů na výrobě elektrické energie v Evropě (zdroj: Fakta o klimatu, data: Ember, 2023)

Další možností je využití lineárního elektromotoru, který se uplatňuje u tzv. maglevů (drah na principu magnetické levitace). Tato možnost je ale pro využití v České republice poměrně nereálná, například z důvodu velmi vysokých nákladů na budování nové dopravní infrastruktury.

Jednou z nadějných možností se jeví využití HVO. Společnost AERRL (Asociace pronajímatelů hnacích železničních vozidel pro osobní i nákladní dopravu) ve svém webinaru (AERRL, 2023) uvádí, že HVO je jednou z alternativ k překlenutí období přechodu od nafty

k nízkoemisním palivům jako je například vodík. Využití HVO není podmíněno požadavky na úpravu kolejových vozidel, či nových plnicích stanic nebo jiné podpůrné infrastruktury. Používá se do konvenčních hnacích vozidel, a má pozitivní vliv především na emise CO₂, které se využitím tohoto paliva snižují přibližně o 85 % oproti naftě. Pro výrobu tohoto paliva jsou využívány odpadní produkty z potravinářského průmyslu (oleje z gastronomické výroby). Nevýhodou tohoto paliva je v současnosti jeho vysoká cena.

Jak uvádí společnost AERRL (2023) v rámci svého webináře, dalším možným využitelným palivem pro železniční hnací vozidla je RNG. Toto palivo se vyrábí z biomasy a jeho využití snižuje emise CO₂ až o 70 % oproti využití nafty. Vyžaduje ale úpravu stávajících hnacích vozidel a také výstavbu nových plnicích stanic.

Dle AERRL (2023) je také možné využít jako palivo čpavek (amoniak). I zde je ale nutné zmodernizovat konvenční diesellová vozidla a uzpůsobit je pro využívání tohoto druhu paliva. Nevýhodou tohoto druhu paliva je mimo jiné fakt, že k ujetí stejné vzdálenosti se spotřebuje asi třikrát větší množství amoniaku než dieselu.

1.2 Vývoj železničních vozidel dle druhů pohonu

Vývoj nízkoemisních železničních vozidel je v současné době celosvětově velmi dynamický. Pustilo se do něho mnoho výrobců kolejových vozidel. Někteří již byly schopni vytvořit plně provozuschopné jednotky pro osobní dopravu. V další části práce jsou uvedeny příklady některých výrobců, kteří již ve vývoji v této oblasti značně pokročili. Vývoj ale není u všech ve stejných fázích a typech, proto se i popis může rozsahově lišit v množství informací.

1.2.1 Společnost Alstom

Alstom je nadnárodní korporace s hlavním sídlem ve Francii. Na trhu se zaměřuje především na oblasti výroby železničních a městských kolejových vozidel, dále na výrobu a instalaci zabezpečovacích zařízení a také systémů na řízení dopravy. Velký důraz klade především na udržitelnou mobilitu, snaží se přicházet s inovativními řešeními, které mají vést ke snížení emisí.

Jak uvádí společnost Alstom na svých stránkách, jednotka s pohonem využívajícím vodíkové palivové články Coradia iLint byla poprvé představena na veletrhu InnoTrans v Berlíně v roce 2016. Na vývoji jednotky se podílely pobočky ve francouzském Tarbes a německém Salzgitteru, kde se začínají sériově vyrábět.

Na webových stránkách Railway technology (2020) je uvedeno, že jednotka Coradia iLint vychází z úspěšné řady s diesellovým pohonem Coradia Lint 54. Jednotka Coradia iLint

je nízkopodlažní, v základní konfiguraci má 150 míst k sezení a dalších 150 míst ke stání. Na jedno naplnění je schopna ujet až 1000 km. Maximální rychlost jednotky je 140 km/h.

V následující části je uvedeno představení jednotky Coradia iLint v jednotlivých oblastech v časovém sledu.



Obrázek 3 Coradia iLint v železniční stanici Česká Třebová (Autor, 2022)

Společnost Alstom uvádí, že v září 2018 byly jednotky Coradia iLint nasazeny do komerčního provozu v Dolním Sasku (SRN). Konkrétně se jednalo o téměř 100 km dlouhý úsek trati Cuxhaven – Bremerhaven – Bremervörde – Buxtehude. Tento komerční provoz s cestujícími trval 18 měsíců a byly nasazeny 2 HEMU jednotky. Celkem za tuto dobu jednotky najely přibližně 180 000 km.

Jak uvádí společnost Alstom (2018), na rozdíl od konvenčních hnacích vozidel je odpadním produktem provozu jednotky Coradia iLint pouze pára. V porovnání s konvenčními hnacími vozidly dosahují tedy jednotky kromě výrazně lepších emisních parametrů také nižší produkce hlukových emisí. Hluk je další externalitou, která má významný nežádoucí vliv v provozu železniční dopravy.

Alstom (2020) uvádí, že výše zmíněná HEMU jednotka byla uvedena do provozu v roce 2018 v Dolním Sasku. Mimo území SRN byl první „pilotní provoz“ Coradia iLint na konci roku 2019 v Nizozemsku. Uskutečnil se jako téměř dvou týdně (10 dní) testovací provoz (v noci, bez cestujících) na 65 km dlouhé trati mezi městy Groningen a Leeuwarden na severu Nizozemska. Dohoda o testovacím provozu byla uzavřena mezi představiteli společnosti Alstom a provincie Groningen, kde provoz zajišťuje dopravce Arriva a ProRail

(nizozemský manažer infrastruktury). Mimo jiné byla také testována mobilní plnicí stanice vyvinutá společností Engie, což je jeden z předních světových dodavatelů energií.

Druhou zemí, kde byl zahájen komerční provoz s cestujícími se, jak uvádí Alstom (2020), stalo v září roku 2020 Rakousko. Provoz byl zajišťován dopravcem ÖBB (Österreichische Bundesbahnen – Rakouské spolkové dráhy) a trval necelé 3 měsíce. Jednalo se o provoz na náročných tratích (geograficky náročný profil trati, náročné klimatické podmínky). Tímto provozem zároveň došlo k potvrzení, že Coradia iLint je vhodná pro veškeré profily tratí a zvládá i obtížné úseky tratí (např. co do obtížnosti sklonu trati). Během tříměsíčního provozu byla jednotka Coradia iLint nasazena na čtyřech tratích, a to v oblastech Dolní Rakousy, Vídeň a Štýrsko.

Jak uvádí společnost Alstom (2021) na svých webových stránkách, tak v červnu roku 2021 byla jednotka Coradia iLint představena také v Polsku, konkrétně na testovací trati Żmigrod nedaleko města Wrocław. Jednalo se o dvoudenní prezentaci Coradia iLint investorům, zástupcům místních organizátorů dopravy, vládním a dalším úřadům, a také médiím. Smyslem této akce bylo seznámit přítomné zástupce s možností potenciálního nasazení vodíkových jednotek na území Polska.

V červenci roku 2021 proběhlo nasazení jednotek Coradia iLint ke komerčnímu provozu s cestujícími. Na trati Hechingen – Gammertingen – Sigmaringen probíhal po dobu osmi měsíců. Provoz byl zajišťován německým dopravcem SWEG (Südwestdeutsche Landesverkehrs-GmbH).

Výrobce kolejových vozidel, společnost Alstom (2021) zmiňuje, že v srpnu roku 2021 byla jednotka Coradia iLint představena také ve švédském Östersundu. Jednalo se o prezentaci a testovací jízdu, podobně jako tomu bylo v červnu 2021 v Polsku. Účelem této akce bylo ukázat potenciál HEMU jednotek k jejich možnému využití pro veřejnou železniční osobní dopravu na území Švédska.

V září roku 2021 byla, jak uvádí společnost Alstom (2021), jednotka Coradia iLint předvedena ve Francii. Konkrétně se jednalo o testovací jízdy v železničním testovacím centru Centre d'Essais Ferroviaires nacházejícím se ve Valenciennes (kde je také sídlo Agentury EU pro železnice, která železniční vozidla vrcholově schvaluje). Právě nasazení jednotek Coradia iLint by mohlo v budoucnu pomoci ke snížení emisí a hluku způsobovaných železničním provozem na území Francie. Řešení má také podporu francouzské vlády a to díky tzv. „Vodíkovému plánu“ (Hydrogen plan).

Alstom (2022) také zmiňuje, že během května 2022 proběhlo představení jednotky Coradia iLint také v České republice v rámci akce Coradia iLint Railshow. Během týdenního

pobytu byla jednotka představena na vybraných tratích a v železničních stanicích po celé České republice. Tato akce byla přístupná i pro veřejnost, a to jak prohlídka jednotky v určených železničních stanicích, tak také možnost jízdy přímo jednotkou pro předem registrované osoby.

Railvolution (2022) na svých webových stránkách uvádí, že společnost Alstom jako řešení pro neelektrizované úseky tratí nabízí také bateriové jednotky s názvem Coradia Continental BEMU. Jedenáct kusů těchto jednotek již bylo objednáno VMS (Verkehrsverbund Mittelsachsen) ve spolupráci s Zweckverband Verkehrsverbund Mittelsachsen (ZVMS) v první polovině roku 2020. Jednotky budou vyráběny v německém montážním závodě Alstomu ve Salzgitteru. Podle smlouvy by měly být provozovány na neelektrizované trati Saská Kamenice (Chemnitz)-Lipsko. Jak zmiňuje společnost Alstom (2020), do provozu by měly být uvedeny dle plánu v prosinci roku 2023. Jednotka s dojezdem čistě na baterie okolo 120 km a maximální rychlostí 160 km/h je pro výše zmíněnou trať Saská Kamenice-Lipsko, dlouhou 80,2 km s maximální traťovou rychlostí 120 km/h a průměrnou dosahovanou rychlostí okolo 101 km/h zcela dostačující. Trakční lithium-iontové baterie budou nabíjeny přes trolejové elektrické vedení v koncových stanicích Saská Kamenice a Lipsko.

1.2.2 Společnost Stadler Rail AG

Společnost Stadler je švýcarský výrobce kolejových vozidel. Byla založena v roce 1942 v Curychu Ernstem Stadlerem. V současnosti má pobočky v několika státech Evropy, včetně České republiky. Jedna z poboček je v Africe (Alžírsko) a v Severní Americe (USA). Hlavním sídlem společnosti je švýcarské město Bussnang.

Společnost Stadler uvádí na svých webových stránkách, že svou nabídkou pokrývá mnoho segmentů trhu s železničními kolejovými vozidly. Jako první je možné uvést vysokorychlostní soupravy. V této oblasti společnost nabízí jednotku SMILE. Jedná se o jedenácti vozovou soupravu, jež byla představena na veletrhu InnoTrans v Berlíně v roce 2016. Souprava je certifikována podle Nařízení TSI a splňuje bezpečnostní normu EN 15227. SMILE dosahuje maximální rychlosti 250 km/h. Od roku 2019 jsou tyto soupravy provozovány na tratích Curych-Milán (Gotthardským tunelem), a také Frankfurt nad Mohanem-Milán.

Jak uvádí výrobce Stadler na svých webových stránkách, poskytuje dále soupravy určené pro konvenční dálkovou železniční dopravu (s rychlostí do 200 km/h). Jedná se o FLIRT2000 a KISS200. Také nabízí širokou škálu hnacích vozidel. Jako příklad je možné

uvést hnací vozidla s názvy EURO9000, EURO6000, EURO4001, EUROLIGHT a EURODUAL (s elektrickou i dieselovou trakcí). Stejně tak Stadler nabízí vozidla pro městskou hromadnou dopravu, a to několik modelů tramvají.

Společnost Stadler má ve svém portfoliu i několik souprav vyráběných pro regionální dopravu. Jde o soupravy s názvy KISS, GTW, WINK a FLIRT 160.

Dále Stadler vyvíjí soupravy FLIRT H₂ a FLIRT AKKU. Jedná se o soupravy s využitím palivového článku FCH, respektive baterie (BEMU) k produkci energie pro trakční motory.

Jak uvádí výrobce Stadler, tak jednotka FLIRT AKKU je koncept vyráběný touto společností od roku 2017. Souprava může být použita jako dvou, nebo čtyř-vozová. Kapacita míst soupravy je v rozmezí 120 až 180 míst. Je vhodná pro neelektrizované, popřípadě částečně elektrizované tratě. Zdrojem energie pro trakční motor je baterie (BEMU). Tuto baterii je možné nabíjet z trakčního vedení (pomocí pantografu/sběrače) na úsecích trati kde je k dispozici. Plné nabití z elektrického trakčního vedení je možné za 15 minut. Dále je také možné nabíjení baterie rekuperací, tedy přeměnou kinetické energie dopravního prostředku na energii elektrickou, která probíhá při brždění jednotky. Zdroj energie z baterie je využíván na krátké (kratší) úseky, kde by měl nahradit dieselovou trakci. Dojezd výhradně na zdroj energie z baterie by se měl pohybovat okolo 150 km. V roce 2021 byl FLIRT AKKU držitelem světového rekordu kolejové železniční jednotky v překonané vzdálenosti na čistě bateriový pohon (na jedno nabití) s hodnotou 224 kilometrů. Maximální rychlost jednotky je 160 km/h.

Na stránkách Railvolution (2022) je uvedeno, že v roce 2019 si dopravce DB Regio (dceřinná společnost DB) objednal 55 jednotek FLIRT AKKU. Tyto jednotky budou nasazeny ve spolkové zemi Šlesvicko-Holštýnsko. Jedna z těchto jednotek byla 8. dubna 2022 představena v České republice ve zkušebním centru VUZ Velim (Výzkumný ústav železniční a.s.).

V roce 2021 bylo od DB Regio objednáno dalších 44 jednotek FLIRT AKKU. Jednotky budou provozovány na několika tratích v rámci tří spolkových zemích (Porýní-Falc, Sársko a Bádensko-Württembersko). Jednotka bude pro 325 cestujících, z toho 172 míst k sezení. Jednotky by měly nahradit v současnosti provozované dieselové jednotky v rozmezí let 2025 a 2026. Minimální dojezdová vzdálenost je stanovena na 80 km (nejkratší neelektrizovaný úsek na vybraných tratích by měl být 48 km).

V roce 2022 si DB Regio objednal 14 jednotek FLIRT AKKU v konfiguraci dvou-vozové. Jednotka má 99 míst k sezení a bude nasazena ve spolkové zemi Meklenbursko-

Přední Pomořansko. Konkrétně budou jednotky provozovány v tomto severoněmeckém regionu na dvou tratích (Wismar - Rostock – Tessin; a Bad Doberan - Rostock - Graal-Müritz). Provoz by měl být zahájen v roce 2026.

Stejně tak jako FLIRT AKKU tak i FLIRT H2 je určen jako náhrada kolejových vozidel na dieselový pohon na neelektrizovaných tratích, popřípadě částečně elektrizovaných tratích. Jak uvádí Fender (2022) v roce 2019 společnost Stadler uzavřela memorandum o spolupráci s dopravním úřadem okresu San Bernardino (SBCTA), které obsahuje pozdější objednávku 4 jednotek FLIRT H2. Kontrakt zahrnuje i opci na dalších 25 jednotek, které by měly nahradit v současnosti provozované diesellové jednotky. Jednotky by měly být v provozu od roku 2024. Budou nasazeny v rámci projektu The Redlands Passenger Rail Project na čtrnácti kilometrové trati v rámci města San Bernardino (mezi stanicemi San Bernardino Transit Center a University of Redlands), které je nedaleko města Los Angeles ve státě Kalifornie (USA). Vzhledem k tomu, že v USA je naprosté minimum elektrizovaných tratí má toto řešení teoreticky velký potenciál pro tamní trh. Stát Kalifornie plánuje v budoucnosti výrazné snížení emisí v rámci dopravy, použití jednotek FCH je uvažováno například na trati mezi městy Merced a Sacramento.



Obrázek 4 Stadler FLIRT H2 na veletrhu InnoTrans v Berlíně (Keith Fender, 2022)

Jak uvádí společnost Stadler (2022), tak jednotka FLIRT H₂ má 108 míst k sezení. Maximální rychlost jednotky je 130 km/h. Jednotka využívá k získávání energie také rekuperaci. Důležitou vlastností je také fakt, že jednotka je navržena tak, aby byla bezproblémově provozuschopná i za vysokých teplot (okolo 49 °C). Vzhledem k podnebí v Kalifornii musí být na tuto potřebu kladen velký důraz.

Dojezd jednotky (na jedno nabití) je navržen na více než 460 km (minimální zaručená vzdálenost). Přičemž čas potřebný k doplnění vodíku pomocí vodíkové plnicí stanice je méně než 30 minut. Což je v porovnání s BEMU jednotkou FLIRT AKKU přibližně dvojnásobná doba, na druhou stranu je ale třeba zohlednit několikanásobně delší dojezdovou vzdálenost.

1.2.3 Společnost Siemens AG

Společnost Siemens byla založena v roce 1847 v Berlíně. Zakladatelem byl Werner von Siemens a ve svých počátcích se zabývala především výrobou telegrafů, což se přeneslo později do oblasti výroby sdělovací a zabezpečovací techniky pro železniční dopravu. Společnost se postupným vývojem dostala až na pozici významného výrobce elektroniky a v dnešní době je rozšířena téměř celosvětově.

Oblastí dopravy se zabývá Siemens Mobility, který má velmi široké portfolio poskytovaných produktů. Věnuje se oblasti mobility, a to v kolejové (železniční) a silniční dopravě. V oblasti kolejové dopravy se zabývá oblastí výroby kolejových vozidel, poskytuje řešení pro automatizaci a digitalizaci a také se podílí na elektrizaci kolejové dopravy.

V oblasti kolejových vozidel Siemens nabízí kompletní portfolio hnacích vozidel všech typů. Jedním z nejprodávanějších je řada hnacích vozidel Vectron. Vyrábí také vysokorychlostní vlakové soupravy. Konkrétně se jedná o soupravy Intercity-Express (ICE 4) a Velaro (provozováno v několika zemích Evropy).

Společnost Siemens také nabízí vozidla pro metro s názvem Inspiro. Společnost dodala okolo 5000 kusů vozidel do 21 měst po celém světě. Mimo to Siemens také vyrábí tramvajová vozidla.

Jak popisuje společnost Siemens, tak v oblasti regionální dopravy poskytuje řadu vlakových souprav Desiro a Mireo. Vlaková souprava Mireo představuje řešení v oblasti regionální dopravy. Společnost Siemens již tuto soupravu dodala do několika spolkových zemí v rámci SRN (například Bádensko-Württembersko, Bavorsko, Hesensko, Braniborsko). Mireo se vyznačuje nízkou hmotností soupravy, efektivním aerodynamickým designem a flexibilitou. Soupravu Mireo lze nakonfigurovat podle potřeb objednatele od soupravy s kapacitou 150 míst (s délkou 50 metrů) až na soupravu s kapacitou 520 míst (s délkou 150

metrů). Mezi těmito dvěma krajními variantami lze vytvořit ještě další čtyři varianty s různým počtem míst a délkou.

Jak uvádí společnost Siemens Mobility, souprava s pohonem vodíkovým článkem vyráběná společností Siemens byla nazvána Mireo Plus H. Tato vlaková souprava má široké spektrum využití, což je dáno její poměrně dlouhou dojezdovou vzdáleností (na jedno nabití), která je až 600 km (pro dvou vozovou konfiguraci) a až 1000 km (pro tří vozovou konfiguraci). Mireo Plus H je tedy možné použít i na tratích které jsou kompletně neelektrizované (zcela bez trakčního vedení). Soupravu je možné provozovat ve dvou, nebo tří vozové konfiguraci. Dvou vozová souprava má délku 47 m a kapacitu 130 míst. Tří vozová souprava má délku 63 m a kapacitu 180 míst. Maximální rychlost soupravy je 160 km/h. Siemens odhaduje životnost soupravy Mireo Plus H na asi 30 let. Spolu s německým dopravcem DB společnost Siemens provedla první testovací jízdu společně s představením mobilní vodíkové plnicí stanice. Tato akce proběhla 9. září 2022. Souprava byla také k vidění na veletrhu InnoTrans 2022.

Jak poukazuje společnost Siemens (2020), tak využití této technologie na železnici v SRN je vcelku perspektivní, SRN má totiž okolo 40 % neelektrizovaných tratí. Společnost Siemens plánuje, že by se souprava měla objevit ve zkušebním jednoročním provozu v roce 2024, a to na trati Tübingen – Horb – Pforzheim. Podle propočtů by na této trati (Tübingen – Horb – Pforzheim) mělo nahrazení dieselové trakce soupravou Mireo Plus H snížit produkci emisí CO₂ o 520 tun za rok (kalkulováno na 200 tisíc najetých kilometrů, popřípadě 330 tun ročně pro 120 tisíc najetých km). Siemens společně s DB uvádí, že díky technologickému postupu dobíjení by mělo být stejně rychlé jako v případě doplňování paliva pro dieselové trakce. Doba doplnění paliva by tedy měla trvat okolo 15 minut. Oblast okolo města Tübingen, které se nachází ve spolkové zemi Bádensko-Württembersko, nedaleko města Stuttgart nebyla vybrána náhodou. V Tübingen bude vyráběn vodík pro provoz těchto jednotek. Jedná se o vodík, který bude získáván z obnovitelných zdrojů. Servisní centrum pro tyto nové jednotky bude provozovat příslušná dceřiná společnost DB, která plánuje pro opravy a údržbu těchto jednotek využívat svůj opravárenský závod v Ulmu.

Jak je uvedeno na webových stránkách společnosti Siemens (2022), tak výrobce Siemens Mobility obdržel zakázku na výrobu sedmi dvou-vozových jednotek Mireo Plus H od dopravce NEB. Jednotky by měly být nasazeny do provozu koncem roku 2024 v metropolitní oblasti Berlín (Braniborsko) na trati Heidekrautbahn. Součástí zakázky je také poskytnutí náhradních dílů pro tyto jednotky (na období 10 let), stejně tak i zajišťování údržby a oprav.

Jak uvádí společnost Siemens Mobility, souprava s bateriovým pohonem (BEMU) jejich výroby je označována jako Mireo Plus B. Jedná se o vlakovou soupravu vhodnou pro částečně elektrizované tratě. Využití této jednotky je omezeno dojezdovou vzdáleností (na jedno nabití), která se odhaduje na 80 až 120 km. Jedná se o úsek tratě, který je schopna jednotka urazit v případě, že je poháněna energií z baterií. Soupravu je možné provozovat ve dvou, nebo tří vozové konfiguraci. Dvou vozová souprava má délku 47 m a kapacitu 130 míst, tři vozová souprava 63 m a 180 míst.

Společnost Siemens dále uvádí, že se jí podařilo získat zakázku na 20 dvou vozových jednotek Mireo Plus B od Landesanstalt Schienenfahrzeuge Baden-Württemberg (SFBW). Předpokládá se, že jednotky budou v provozu od prosince 2023, a to na regionální trati v rámci zemského okresu Ortenau ve spolkové zemi Bádensko-Württembersko. Objednaná konfigurace jednotky Mireo plus B bude mít 120 míst k sezení, délku necelých 47 metrů a maximální rychlost 140 km/h.



Obrázek 5 Siemens Mireo Plus B (Siemens Mobility, 2022)

Další zakázku na 31 jednotek Mireo Plus B obdržela společnost Siemens od německého soukromého dopravce NEB. Jak uvádí autor (Šůra, 2023), jednotky budou provozovány na regionálních tratích ve spolkových zemích Braniborsko a Berlín od prosince roku 2024. Objednané konfigurace Mireo Plus B budou nabízet nejméně 128 míst k sezení

a úložný prostor, například s místy pro přepravu 12 jízdních kol. Siemens Mobility také bude poskytovat opravy a údržbu jednotek, stejně tak i náhradní díly do roku 2036.

1.2.4 Škoda Transportation a.s.

Dalším výrobcem zabývajícím se vývojem v oblasti železničních vozidel s nízkoemisními pohony je Škoda Transportation a.s., sídlící v Plzni. Společnost patřící do Škoda Group a. s. představila BEMU jednotku na veletrhu Innotrans v Berlíně. Stejně tak společnost začala výzkum a vývoj jednotky využívající k pohonu energii z vodíkových palivových článků.

Jak uvádí Ignačák (2023), tak jejich podnik má zkušenosti v oblasti výroby silničních vozidel s bateriovým pohonem (tramvaje 28 T2 pro turecká města Konya a Eskisehir a také tramvaje 36 T pro německý Mannheim, e-busy), stejně tak je tomu i v oblasti silničních vozidel s vodíkovým pohonem (konkrétně vodíkový autobus 36HB-Škoda H City).

Představená jednotka BEMU Škoda 15Ev3 by měla navazovat na řadu RegioPanter. Pohon jednotky je z trakčního vedení 3kV DC / 25kV ,50 Hz a trakční baterie. Jak uvádí Sůra (2022), jednotka s dojezdem okolo 80 km by měla dosahovat maximální rychlosti 120 km/h. Jednotka by měla být dvou vozová a nízkopodlažní. Využívat bude lithium-iontové baterie. Nasazení těchto jednotek je zvažováno v Moravskoslezském kraji, konkrétně na trati Ostrava-Studénka-Štramberk. Smlouva o akvizici těchto jednotek byla podepsána na konci března 2023. Společnost Škoda by ale v budoucnu chtěla pro své jednotky najít uplatnění nejen na neelektrizovaných tratích v České republice, ale také v zahraničí.



Obrázek 6 XMU platforma Škoda (Škoda Group a.s., 2023)

1.3 Výhody a nevýhody jednotlivých druhů pohonu

V této části práce jsou popsány klady a zápory související se zaváděním jednotlivých druhů nízkoemisních vozidel na železnici. Na jednotlivé typy pohonů je třeba nahlížet systémově, věnovat se je nutné nikoliv pouze výhodám a nevýhodám železničních vozidel (souprav). Je nutné také zohlednit potřeby výstavby nové infrastruktury, legislativní a bezpečnostní oblast a také vliv na technologii provozu železniční dopravy.

1.3.1 Vodíkový palivový člunek (FCH)

Výhodou FCH jednotek je velmi dlouhý dojezd na jedno naplnění. Je tedy možné ji provozovat i na delších úsecích tratě. Dle webináře AERRL (2023) již někteří výrobci pracují na plnicích vodíkových stanicích, kde by bylo možné provést doplnění vodíku za dobu srovnatelnou s doplněním paliva u konvenčních diesellových jednotek (okolo 15 minut).

Podle AERRL (2023), nevýhodou této technologie je, že nelze dobíjet z trakčního vedení při pobytu jednotky v železniční stanici. Dále jsou nutné vysoké počáteční investice do nové infrastruktury (především vodíkových plnicích stanic). Nutné je i uzpůsobení opravárenských a údržbových středisek pro tyto jednotky. Také musí být zohledněna nutnost zaškolení v práci s novou technologií, a to u všech pracovníků podílejících se na provozu. Problémem je také zajištění bezpečnosti v tunelech a cenová dostupnost tzv. zeleného vodíku, který je v současnosti velmi drahý. Tento fakt by se ale v budoucnu měl změnit.

1.3.2 Bateriový zdroj energie

Jak uvádí AERRL (2023), výhodou tohoto typu jednotek je možnost využití dobíjení baterie během pobytu ve stanici (pokud je zde k dispozici trakční vedení). Dále zde nejsou nutné žádné velké investice z pohledu infrastruktury, tzn. stávající infrastruktura je dostačující.

Dle AERRL (2023) by naopak nevýhoda v budoucnu mohla být v nedostatku vstupního materiálu pro výrobu (například lithium). Dále mají tyto jednotky poměrně malou dojezdovou vzdálenost. Problematický může být také provoz za extrémních teplotních podmínek. Vlivem těchto podmínek může dojít ke snížení již tak poměrně nízké dojezdové vzdálenosti. Další otázkou je finanční výhodnost časté výměny baterií během provozu a také nákladů spojených s jejich likvidací. Na některých tratích může být také problémem vyšší hmotnost soupravy (vyšší hmotnost na nápravu) v důsledku přítomnosti baterií, které mají nezanedbatelnou hmotnost.

2 OBECNÁ ANALÝZA NEELEKTRIZOVANÝCH TRATÍ V ČR

Česká republika má jednu z nejhustších železničních sítí na světě. Dle Správy železnic byla v roce 2022 provozní délka tratí v České republice 9355 km. Z toho 6141 km (přibližně 65,6 %) byly tratě neelektrizované. Z výše uvedených faktů je patrné, že snaha o snížení emisí vytvářených provozem konvenčních hnacích vozidel (nezávislá, dieselová trakce) na neelektrizovaných tratích je pro Českou republiku důležitým tématem. Hnací vozidla se spalovacími motory jsou provozována také na části elektrizovaných tratí, zde by také mohlo dojít k jejich náhradě vhodnými nízkoemisními vozidly.

2.1 Rozdělení tratí do kategorií

Dle zákona č. 266/1994 Sb., o drahách, v platném znění, jsou dráhy železniční, tramvajové, trolejbusové a lanové. Železniční dráhy se dělí do kategorií, a to podle jejich významu, účelu a technických podmínek. Kategorií železničních drah je šest: dráhy celostátní, regionální, místní, vlečky, zkušební dráhy a speciální dráhy. Ministerstvo dopravy ČR využívá pro rozřazení drah do kategorií celostátních a regionálních vybraných kritérií. Vzniká tedy tzv. „rozřazovací strom“, podle kterého se železniční dráhy rozdělují do těchto dvou kategorií. Jako hlavní kritéria pro rozřazování slouží například to, zda je dráha součástí Evropského železničního systému, AGC nebo AGTC. K dalším kritériím patří například intenzita nákladní dopravy (v jednotkách t/rok), takt dálkové dopravy (v minutách), zda trať spojuje krajská města, anebo je trať významná pro přeshraniční dopravu.

Pro problematiku nasazování nízkoemisních kolejových vozidel jsou důležité především stavební, technické a provozní parametry tratí. Klíčovým parametrem je, zda je trať elektrizována. Dále může hrát roli také maximální dovolené zatížení na nápravu, výškové a sklonové poměry.

Jak již je uvedeno v úvodu kapitoly 2, v České republice je přibližně 66 % provozní délky tratí neelektrizovaných. Na těchto úsecích je potenciál k postupné obměně konvenčních dieselových vozidel (jednotek) za jednotky, které jsou šetrnější vůči životnímu prostředí a provozně efektivnější. Využití nízkoemisních jednotek na těchto traťových úsecích by mělo pomoci dosáhnout stanovených cílů v rámci snižování negativních vlivů na životní prostředí (určených jak evropskými, tak národními závaznými právními dokumenty).

Číslování tratí využívané v diplomové práci je dle jízdního řádu pro cestující Správy železnic s. o., aby nedošlo k nedorozumění, o které konkrétní úseky se jedná, nejedná se tedy o číslování podle interního číselníku Správy železnic s. o..

2.1.1 Struktura železniční sítě v ČR a její hustota dle krajů

V této podkapitole byla železniční síť analyzována podle územně samosprávných celků (tedy krajů) s využitím klasifikace NUTS. Výpočtem byla stanovena hustota železniční sítě v jednotlivých krajích České republiky. V České republice je celkově 14 krajů (započítává se i hlavní město Praha). Hlavní město Praha je svými geografickými a demografickými vlastnostmi velmi specifické a odlišné od ostatních krajů. Hustota železniční sítě v jednotlivých krajích byla vypočtena (z dostupných dat za rok 2021) jako podíl provozovaných km tratí v příslušném kraji a rozlohy příslušného kraje v km². V rámci kraje je tedy hustota sítě přímo závislá na délce železniční sítě a nepřímo závislá na rozloze kraje. Je vyjádřena v jednotkách km/km². Hustoty železniční sítě v jednotlivých krajích byly zjištěny výpočtem a je uvedena v Tabulce 1.

Tabulka 1 Hustota železniční sítě v jednotlivých krajích

Název kraje	Hl.m. Praha	Středočeský kraj	Jihočeský kraj	Plzeňský kraj	Karlovarský kraj	Ústecký kraj	Liberecký kraj
Rozloha kraje v km ²	496,0	10 928,0	10 058,0	7 649,0	3 310,0	5 339,0	3 163,0
Provozní délka tratí v km (za rok 2021)	211,7	1 458,6	956,4	719,0	443,2	1 079,7	454,3
Hustota železniční sítě v km/ km ²	0,427	0,133	0,095	0,094	0,134	0,202	0,144
Název kraje	Královéhradecký kraj	Pardubický kraj	Kraj Vysočina	Jihomoravský kraj	Olomoucký kraj	Zlínský kraj	Moravskoslezský kraj
Rozloha kraje v km ²	4 759,0	4 519,0	6 796,0	7 188,0	5 272,0	3 963,0	5 431,0
Provozní délka tratí v km (za rok 2021)	666,5	581,5	577,3	753,6	620,7	357,1	643,8
Hustota železniční sítě v km/ km ²	0,140	0,129	0,085	0,105	0,118	0,090	0,119

Zdroj: Správa železnic s. o. (2022), Český statistický úřad, úprava autor

Hustota železničních tratí v rámci krajů hraje významnou roli v procesu objednávky rozsahu dopravy objednateli (stát/kraje) a má velký vliv na objednaný počet spojů v daném území a na vazby v uzlech.

Jak je vidět z Tabulky 1 (pokud se neuvažuje Hlavní město Praha, která je specifická) je možno rozdělit kraje dle hustoty železniční sítě do tří skupin. První skupina krajů má nízkou hustotu železniční sítě, která se pohybuje do 0,100 km/km². Do další skupiny je možné zařadit kraje s hodnotou 0,101 až 0,139 km/km². A poslední skupinou jsou kraje s vysokou hustotou železniční sítě nad 0,140 km/km².

Následující popis se vztahuje k současnému rozdělení sítě na jednotlivé tratě.

Do první skupiny podle výše uvedeného členění patří kraje Jihočeský, Plzeňský, Vysočina a Zlínský. V Jihočeském kraji je poměrně velké množství kilometrů elektrizovaných tratí. Neelektrizované tratě v tomto kraji jsou ve většině případů příliš dlouhé pro využití BEMU jednotek. Z toho se dá usoudit, že provoz těchto jednotek v tomto regionu nemá příliš velký potenciál. Obdobná situace jako v Jihočeském kraji je také ve Zlínském kraji.

Analogická situace je také v Plzeňském kraji, i zde jsou hlavní tratě elektrizovány. Některé neelektrizované tratě v tomto kraji se jeví jako poměrně vhodné pro využití vozidel s nízkoemisním pohonem.

Kraj Vysočina je s 0,085 km/km² krajem s nejnižší hodnotou hustoty železniční sítě v rámci České republiky. Vzhledem ke geografické poloze kraje je většina zdejších tratí velmi dlouhá, jedná se často o tranzitní úseky, které nemají začátek a konec na území kraje. Potenciál pro využití vlaků s nízkoemisními pohony se proto jeví, vzhledem k výše uvedeným skutečnostem, jako nízký.

Ve druhé skupině jsou zařazeny kraje Středočeský, Karlovarský, Pardubický, Olomoucký, Moravskoslezský a Jihomoravský.

Středočeský kraj je rozlohou největším krajem České republiky. Vzhledem ke své velké rozloze Středočeský kraj spadá s hodnotou 0,133 km/ km² do druhé určené skupiny. Jeho potenciál k nasazení jednotek s nízkoemisními pohony je ale znatelně vyšší než například u Jihočeského kraje, který je jediný srovnatelný, co se rozlohy týče. Naproti tomu v oblasti Středočeského kraje, především v jeho severní části, je poměrně značné množství tratí, které se při prvotním posouzení jeví jako tratě potencionálně vhodné pro nasazení nízkoemisních jednotek.

Jihomoravský kraj má mnoho elektrizovaných tratí. Důvodem elektrizace těchto tratí byly vysoké potřeby kapacity dopravy a zrychlení provozu. Přesto i zde je možno najít neelektrizované tratě, kde by bylo využití nízkoemisních jednotek přípustné.

Pardubický kraj, i přes svou poměrně malou rozlohu, má na svém území velmi významný úsek trati, který je jedním z nejméně zatížených úseků v České republice, jedná se o část tratě Kojice-Přelouč-Pardubice hl. n. - Choceň-Ústí nad Orlicí-Česká Třebová-Rudoltice v Čechách. Ve stanici Česká Třebová odbočuje trať do Brna. Tento úsek je součástí prvního a třetího železničního tranzitního koridoru. Tato trať je zcela stěžejní pro dálkovou osobní dopravu, je zde vedena značná část spojů mezi hlavním městem Prahou a dalšími významnými městy jako Brno, Olomouc a Ostrava. Na území Pardubického kraje částečně

zasahuje také druhý železniční koridor (rameno Přerov-Česká Třebová). Množství neelektrizovaných tratí v Pardubickém kraji je poměrně malé, přesto i zde je možné identifikovat několik tratí s vhodnou délkou, které připadají v úvahu pro nízkoemisní jednotky.

Olomoucký kraj má hlavní tratě elektrizované. Poměrně významnou tratí, jež není elektrizována, je trať Olomouc hl. n. – Krnov – Opava východ. Tato trať je ale příliš dlouhá pro uvažování o nasazení BEMU jednotek. Nasazení jednotek FCH je nutno posoudit s ohledem na úvahy o budoucím prodloužení elektrizace. Možnosti pro nasazení jednotek s nízkoemisními pohony v Olomouckém kraji jsou především na neelektrizovaných tratích v okolí města Olomouc.

Centrem Moravskoslezského kraje je ostravská aglomerace (tvořena městy Ostrava, Karviná, Opava, Třinec a Frýdek-Místek). Všechna tato města jsou, až na Frýdek-Místek, propojena elektrizovanými tratěmi. V Moravskoslezském kraji je značné množství neelektrizovaných tratí, u kterých jejich parametry umožňují uvažovat o nasazování nízkoemisních jednotek.

V této skupině se, především svou rozlohou, výrazně odlišuje Karlovarský kraj. Jedná se o třetí nejmenší kraj (menší jsou pouze Liberecký kraj a Hlavní město Praha) co se týče rozlohy v km². Hlavní tratě v této oblasti jsou elektrizovány. Jedná se o úsek Boč-Karlovy Vary-Sokolov-Cheb, a úsek trati Mariánské Lázně-Cheb. Dále jsou zde až na krátký úsek Cheb-Vojtanov veškeré tratě neelektrizované. Vzhledem k tomu, že se jedná o příhraniční oblast, je zde mnoho tratí pokračujících na německé území. I zde by mohla být využita vozidla s nízkoemisním pohonem. Na přeshraničních tratích by ale musela být připravena dohoda s pověřenými zástupci Německa.

Třetí skupinou jsou kraje s vysokou hustotou železniční sítě. Pokud jsou uvažovány kraje bez Hlavního města Prahy, potom vůbec největší hustota železniční sítě je v Ústeckém kraji, a to 0,202 km/ km². Liberecký a Královehradecký kraj se pohybují okolo hranice 0,140 km/ km². Liberecký a Královehradecký kraj také patří společně s krajem Vysočina k jediným krajům v České republice, na jejichž území neprochází ani jeden železniční tranzitní koridor.

Královehradecký kraj je jedním z krajů, které mají velmi malé procento elektrizovaných tratí. Jedinými elektrizovanými tratěmi na území Královehradeckého kraje jsou úseky tratí 031 Opatovice nad Labem-Pohřebačka – Hradec Králové hl. n. – Jaroměř, dále trať 021 Hradec Králové hl. n.-Týniště nad Orlicí, úsek tratě 020 Převýšov-Chlumeč nad Cidlinou-Hradec Králové hl. n. a úsek tratě 026 Týniště nad Orlicí-hranice s Pardubickým krajem. Ostatní tratě v tomto kraji jsou neelektrizované. Potenciál pro využití jednotek

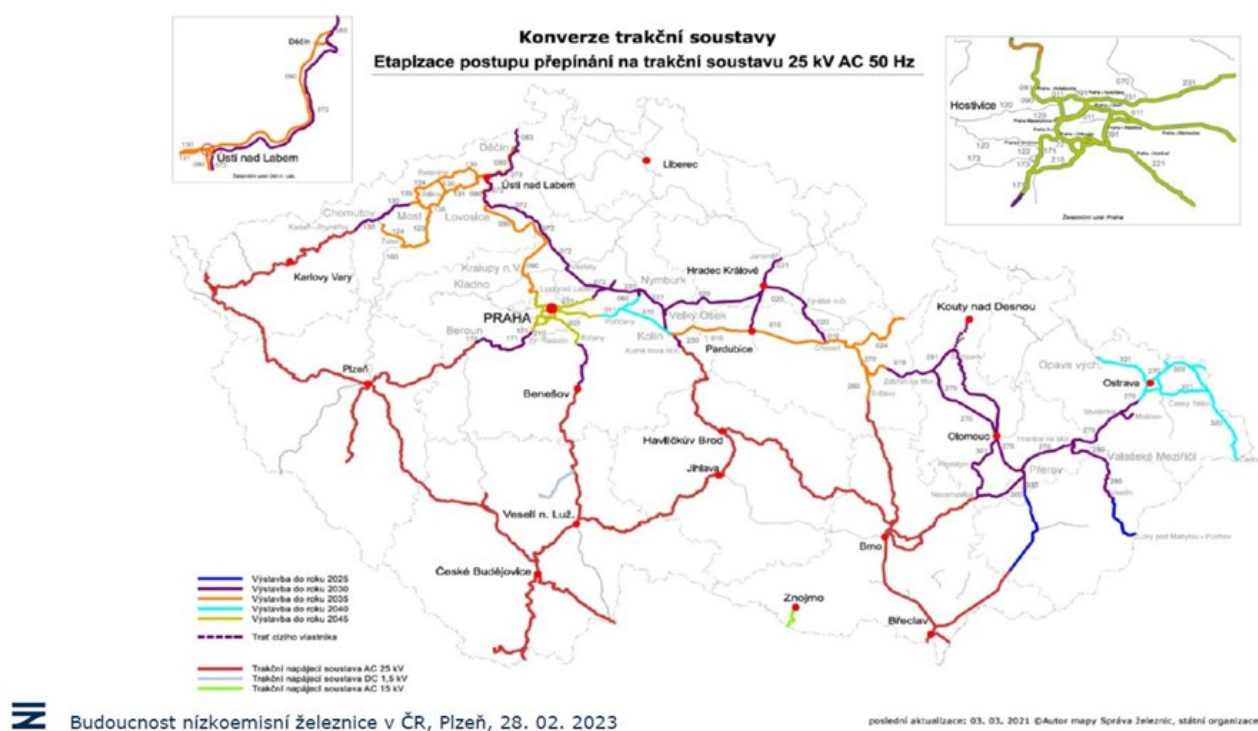
s nízkoemisním pohonem je zde vysoký, především v severní části kraje. Poměrně značným omezením ale mohou být klimatické podmínky v horských oblastech (Krkonoše, Podkrkonoší a Orlické hory) především během zimního období. Dalším problémem mohou být také poměrně obtížné sklonové poměry tratí v těchto horských a podhorských oblastech.

Liberecký kraj je jediným krajem v České republice, který nemá žádnou elektrizovanou železniční trať. Z tohoto pohledu je zde velký prostor pro možné nasazení jednotek s nízkoemisním pohonem. Na druhou stranu sklonové podmínky tratí a náročné klimatické podmínky v zimních měsících jsou problémy, které jsou ještě výraznější překážkou než v kraji Královehradeckém. Neelektrizovaných tratí, které se ale co do délky tratě jeví jako vhodné pro nasazování nízkoemisních jednotek je zde poměrně mnoho.

Ústecký kraj má železniční síť s velkou hustotou. Základ železniční sítě na území tohoto kraje tvoří elektrizované hlavní železniční tratě. Jedná se o tratě 090 a 098, úseky Hněvice – Lovosice – Ústí nad Labem hl. n. – Děčín hl. n. – Dolní Žleb a tratě 130 Děčín hl. n. – Ústí nad Labem hl. n. – Most – Kadaň-Pruněrov (včetně části tratě 140 a to úsek Kadaň-Pruněrov – Perštejn). Tyto tratě tvoří hlavní tahy ve směru do Prahy a Karlových Varů. Dále jsou zde ještě tratě 073 a 072 a to úseky Děčín východ – Ústí nad Labem-Střekov – Štětí. Vzhledem k vysoké hustotě železniční sítě v rámci regionu, i přes elektrizaci hlavní tahů, lze navrhnout nasazení vozidel s nízkoemisním pohonem na mnoha tratích v Ústeckém kraji.

Jak již bylo zmíněno dříve, v České republice je přibližně 34 % elektrizovaných tratí z celkové délky provozovaných tratí. Provozované elektrizované železniční tratě mají na území České republiky 4 různé napájecí soustavy. Elektrizované tratě jsou, co se týče napájecích soustav v České republice rozděleny na přibližně dvě demografické poloviny. Severní, kde převládá stejnosměrná soustava DC 3 kV (rozšířenější v ČR), a jižní se střídavou napájecí soustavou AC 25 kV 50 Hz. Naprosto minoritní (v jednotkách km) je pak zastoupení stejnosměrné napájecí soustavy DC 1,5 kV (v ČR pouze 24 km, tedy izolovaná trať Tábor-Bechyně) a střídavé napájecí soustavy AC 15 kV, 16 a 2/3 Hz (celkem 14 km, z toho 11 km trať Znojmo – státní hranice s Rakouskem a zbývající 3 km na trati 83 v oblasti u Dolního Žlebu) tato trakční soustava je ale významná z pohledu napojení na železniční síť sousedních států (SRN a Rakousko). Dlouhodobým cílem v této oblasti je dle Ministerstva dopravy sjednotit napájecí soustavy využívané na území České republiky. Dle dostupných provedených studií se jako výhodnější jeví přechod na střídavou napájecí soustavu (AC 25 kV 50 Hz).

Konverze trakční soustavy



Obrázek 7 Postup konverze trakčních soustav (Správa Železnic s. o., 2023)

Na Obrázku 4 je naznačen již zmiňovaný zamýšlený přechod (konverze) trakční soustavy. Tento proces je naplánován na jednotlivé etapy. V průběhu každé pětileté etapy dojde k přechodu ze stávající trakční soupravy na střídavou trakční soustavu AC 25 kV 50 Hz. Důvodů pro provedení konverze na jednotnou trakční soustavu je několik. Hnací vozidla pro vnitrostátní dopravu by mohla být jednodušší (nebylo by třeba využívat dvousystémová vozidla). Pro přeshraniční dopravu by pak stačila dvousystémová (AC 15 kV, 16 a 2/3 Hz). Došlo by k zjednodušení a zefektivnění napájení, nebylo by potřeba napájecích stanic, kde je transformováno napájení ze střídavé soustavy sítě (22 kV) na stejnosměrné napájení trakční soustavy 3 kV. Střídavá trakční soustava má také menší ztráty při přenosu a další výhodou by bylo efektivnější dobíjení baterií BEMU jednotek z tohoto typu trakční sítě.

V první etapě by měla být dokončena výstavba nutná pro přechod na střídavou trakční soustavu do roku 2025. Na toto období jsou naplánovány dva úseky tratě ve Zlínském kraji. Jedná se o část tratě 330 Přerov-Břeclav a úsek tratě 280 Hranice na Moravě – Střelná – státní hranice se Slovenskem.

Druhá etapa výstavby by dle plánu měla být dokončena v roce 2030. Jedná se o nejrozsáhlejší etapu, která zahrnuje přechod na novou trakční soustavu na velké části železniční sítě. Týká se elektrizovaných tratí v Olomouckém kraji. Přechod by měl být dokončen také na zbývajícím úseku trati 280 a 270. Dále na elektrizovaných tratích v okolí Hradce Králové (konkrétně trať 031 Hradec Králové hl. n.-Jaroměř, 020 Hradec Králové hl. n.-Chlumeck nad Cidlinou-Velký Osek a úseky tratí 021, 026, tj. Hradec Králové hl. n.-Týniště nad Orlicí-Chocet). V této etapě má také proběhnout konverze kompletních tratí na pravé straně břehu Labe. Jedná se o tratě 231, 072, 073 (tedy Kolín – Velký Osek – Nymburk hl. n. – Mělník – Ústí nad Labem-Střekov – Děčín východ – Děčín hl. n.) a 083 (Děčín hl. n. – státní hranice Německo). Ještě budou převedeny kratší úseky ve Středočeském kraji na trati 220 (Říčany-Benešov u Prahy), trati 170 v okolí Berouna a v Ústeckém kraji úsek trati 130 (Most – Kadaň-Prunéřov).

Ve třetí etapě s plánovaným provedením do roku 2035 je naplánována konverze úseku trati 001 (Kolín – Pardubice hl. n. – Česká Třebová – Rudoltice v Čechách) a krátký úsek trati 002 (Česká Třebová – Svitavy). Dále bude také provedena konverze tratě na levém břehu Labe, tedy trať 090 (až do Děčín hl. n.). Dále se tato etapa bude týkat elektrizovaných tratí v okolí měst Ústí nad Labem, Most, Chomutov a Žatec.

Čtvrtá a pátá etapa konverze jsou již menšího objemu co se týče počtu naplánovaných tratí ke konverzi. Čtvrtá etapa by měla proběhnout do roku 2040, skládá se z úseků v okolí měst Kolín, Poříčany a Nymburk (jedná se o část trati 001 a trať 060), dále proběhne v Moravskoslezském kraji na elektrizovaných tratích v okolí města Ostrava. Pátá etapa konverze je naplánována s termínem dokončení do roku 2050 pro elektrizované tratě v okolí Prahy.

Zároveň je třeba se zmínit, že územím České republiky prochází celkem 3 koridory Transevropské dopravní sítě TEN-T. Jedná se o koridory Orient/East-Med (východní a východo-středomořský), Baltic-Adriatic (baltsko-jadranský) a Rhein-Danube (rýnsko-dunajský). S ohledem na tuto skutečnost byly v rámci České republiky zformovány tzv. tranzitní koridory. Jsou to úseky železniční sítě, u kterých se Česká republika zavázala k jejich modernizaci na základě mezinárodních standardů a dohod (AGC, AGTC) nutných k interoperabilitě železničního sektoru v rámci Evropy. Určeny byly tyto 4 tranzitní koridory, které navazují na koridory TEN-T procházející územím ČR a v určitých místech dochází k jejich částečnému překryvu.

První železniční tranzitní koridor je vymezen na úsek sítě st. hranice Německo – Děčín – Praha – Pardubice – Česká Třebová – Brno – Břeclav – st. hranice Rakousko. Druhý koridor

st. hranice Polsko – Petrovice u Karviné – Ostrava – Přerov – Břeclav – st. hranice Rakousko (s odbočným ramenem Přerov – Česká Třebová). Třetí koridor je úsek st. hranice Německo – Cheb – Plzeň – Praha – Ostrava - st. hranice Slovensko (s odbočným ramenem Plzeň – Domažlice - (Nürnberg). Jako čtvrtý koridor byl určen úsek st. hranice Německo – Děčín – Praha – Tábor – Veselí nad Lužnicí – České Budějovice – Horní Dvořiště - st. hranice Rakousko.

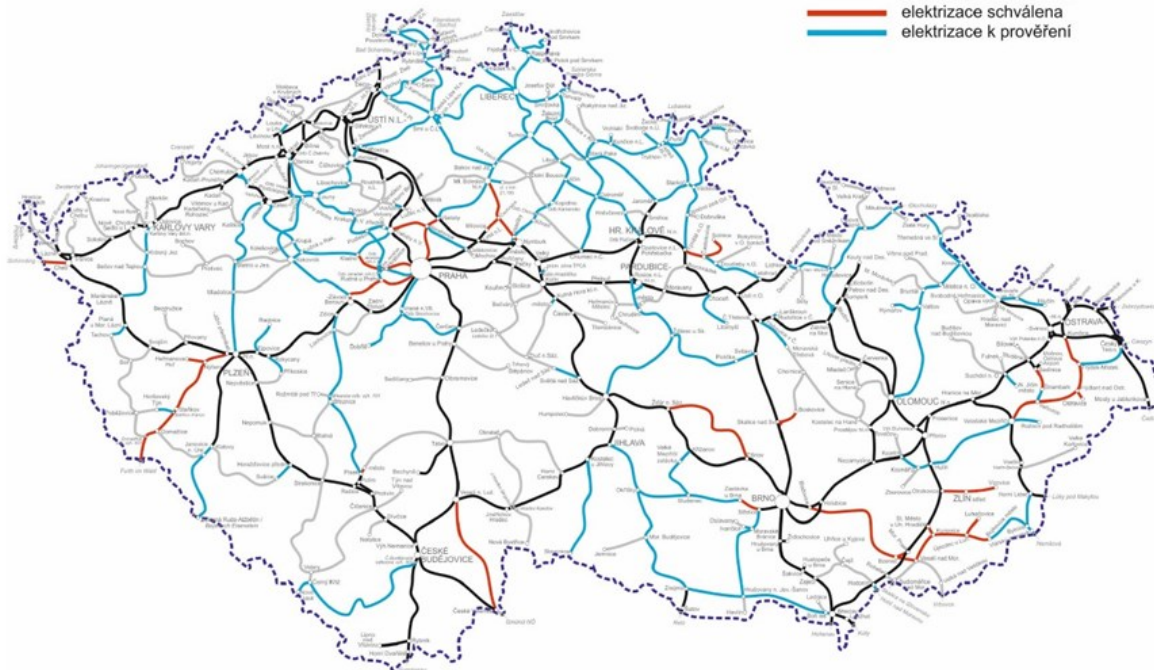
Železniční tranzitní koridory v ČR jsou až na velmi krátké úseky plně elektrizované. V rámci koridorů dosud nebyly elektrizovány úseky Cheb-st. hranice s Německem a Plzeň Domažlice- st. hranice s Německem. Železniční tranzitní koridory by měly dosahovat požadavků v oblastech jako maximální traťové rychlosti, traťová třída zatížení, prostorová průchodnost a dostatečná délka staničních kolejí.

Tyto tranzitní koridory tvoří kostru pro železniční síť v České republice. Nejsou to ale jediné železniční tratě zařazené do kategorie celostátních drah, zde je zařazeno ještě mnoho dalších tratí. Tyto tratě vytváří základ pro návazné regionální dráhy.

Elektrizace železniční sítě (do roku 2030)

Návrh výhledové elektrizace

-  elektrizace realizována
-  elektrizace schválena
-  elektrizace k prověření



příloha k č. j. 15417/2021-SŽ-GR-O6

Odbor přípravy staveb GR Správy železnic, verze 1/2023

Obrázek 8 Elektrizace železniční sítě v ČR (Správa Železnic s. o., 2023)

Na Obrázku 5 je znázorněn návrh výhledové elektrizace české železniční sítě dle plánu Správy Železnic do roku 2030. Oranžově vyznačeny jsou na mapě úseky tratí, které byly schváleny a měla by být zde do roku 2030 elektrizace provedena. Dále jsou na mapě modře vyznačeny úseky tratí, u kterých se musí prověřit, zda by byly vhodné k budoucí elektrizaci (většinou uvažována tzv. prostá elektrizace). Tratí k prověření vhodnosti elektrizace je velké množství a zasahují nerovnoměrně do značné části železniční sítě. Vzhledem k tomu, že proces elektrizace je finančně poměrně náročný, nelze počítat s tím, že všechny tyto uvažované úseky budou skutečně v nejbližší budoucnosti elektrizovány (v horizontu do roku 2040, popřípadě 2050).

2.1.2 Organizace dopravní obslužnosti na železniční síti

Důležitým faktorem ovlivňující možnost nasazení nízkoemisních kolejových vozidel je také organizace dopravní obslužnosti. V současnosti je organizace dopravní obslužnosti v jednotlivých krajích prováděna na základě objednávek státu (pro dálkovou dopravu) a krajských samospráv (pro regionální dopravu v rámci kraje). Tento systém není dostatečně koordinován v oblasti návaznosti spojů v uzlech nebo v okrajových oblastech krajů, kde reálné potřeby obyvatel na dopravu nejsou v souladu s hranicemi regionů.

Stát je v tomto procesu zastupován Ministerstvem dopravy, které je tedy objednatelem vlaků dálkové dopravy, kategorie EC, IC, Ex, R a Sp, pokud tyto kategorie vlaků nejsou provozovány na obchodní riziko dopravce. Zde je třeba zmínit, že vlaky výše uvedených kategorií jsou objednávány v mnohem větším rozsahu, než nařizuje základní dopravní obslužnost. Krajské samosprávy jsou objednateli vlaků osobní dopravy v rámci kraje.

Při zvažování nasazení nízkoemisních jednotek nesmí být posuzovány pouze provozní charakteristiky tratě, ale také další charakteristiky, jako například organizace dopravy.

2.1.3 Mezuregionální tratě a posouzení uzlů z pohledu dopravní obslužnosti

V této kapitole jsou analyzovány železniční uzly, jejich kategorizace, metodika rozdělení do kategorií a stručný popis jednotlivých kategorií. Železničním dopravním uzlem se rozumí železniční stanice nebo zastávka určená pro výstup, nástup a přestup cestujících, či pro vykládku, nakládku a překládku zboží. Vzhledem k tématu této práce je zde důležitá oblast osobní dopravy. Dále uvedené rozdělení do kategorií se týká pouze osobních železničních stanic a zastávek. Pro zmíněnou kategorizaci železničních stanic využívá Správa Železnic doporučení UIC 180 (doporučení UIC jsou právně nezávazná, pokud nejsou převedena nebo zmíněna v právních dokumentech EU nebo národním právu členských států EU). Do jednotlivých kategorií jsou zařazeny železniční stanice podle kvantifikovatelných

parametrů v rozmezí určeném pro danou kategorii. Dle užití metodiky UIC existuje pět kategorií železničních stanic, které jsou označeny velkými tiskacími písmeny dle abecedy (jedná se tedy o kategorie A až E). Aktualizace kategorií železničních stanic se provádí jedenkrát za rok.

Kategorizace stanic je prováděna podle doporučeného postupu uvedeném v UIC 180 jež rozděluje stanice do jednotlivých kategorií na základě posouzení stanic v pěti kritériích (na základě kvantifikovatelných ukazatelů železniční stanice).

Kritéria pro kategorizaci železničních stanic dle UIC 180 jsou:

- Kritérium A-počet cestujících, kteří denně využívají vlak v železniční stanici
- Kritérium T-počet vlaků denně zastavujících v železniční stanici nebo zastávce
- Kritérium P-počet nástupních hran v železniční stanici
- Kritérium S-rozloha železniční stanice nebo zastávky
- Kritérium I-návaznost

Kritérium A zohledňuje počet nastupujících a vystupujících cestujících za jeden den. Uvažuje se počet cestujících využívajících stanici během průměrného pracovního dne. Pokud se jedná o železniční stanici, která je využita k výstupu a nástupu cestujících pouze o víkendu (popřípadě sezónně), uvažuje se průměrný počet cestujících v sobotní nebo nedělní den (popřípadě průměrný počet cestujících v dané sezóně).

V kritériu T je posuzován počet zastavujících vlaků odpovídající průměrnému dni provozu stanice. Každý vlak se počítá pouze jedenkrát, ať už se jedná o výchozí, zastavující nebo končící vlak. Dále se také vlak počítá jedenkrát jako ucelená souprava, a to i když tato souprava je složena ze dvou nebo více vlaků nebo obsahuje přímé vozy s odlišnou konečnou stanicí. Toto kritérium započítává pouze skutečné hodnoty, není tedy důležitá hodnota dle jízdního řádu, ale směrodatný je počet vlaků, které danou železniční stanicí skutečně fyzicky projely (popřípadě je pro ně tato stanice výchozí či cílovou stanicí).

Kritériem P jsou kvantifikovány počty nástupištních/nástupních hran. Pokud je nástupištní hrana rozdělena na více úseků výhybkou, počítá se v rámci tohoto kritéria s hodnotou dva. Naopak jako jedna se započítává hrana, od které mohou odjíždět dva různé vlaky na opačné strany. Do tohoto kritéria se neuvažují nástupištní hrany využívající se výhradně pro služební účely (hrany, které slouží pro nástup a výstup zaměstnanců železničních podniků do služebních vlaků, například je takovéto nástupišť v České Třebové).

Kritérium S pracuje s hodnotou rozlohy železniční stanice v m². Výsledná hodnota rozlohy železniční stanice se skládá ze dvou částí:

- celková plocha (označována jako x) veřejného prostoru železniční stanice (vypočtena jako součet všech veřejných ploch v budově osobního nádraží, čekáren, bezplatných WC, přístupových cest, schodišť, výtahů, a ploch nástupišť)
- celková plocha (označována jako y) komerčního prostoru železniční stanice (skládá se z ploch součtu všech prodejen jízdenek, placených WC, pronajatých prostor, stánků s tiskovinami, s občerstvením a restaurací, obchodů, ale také hotelů, zdravotnických zařízení, kin a ploch využívaných pro další komerční služby).

Výsledná hodnota (s označením S) se poté vypočítá vynásobením hodnot x a y jejich určenými váhami: $S=0,8 * x + 1,2 * y$; a je vyjádřena v m².

Kritériem I je vyjádřena hodnota multimodality. Toto kritérium kvantifikuje návaznost z dané železniční stanice na ostatní druhy dopravy (tedy autobusy, IAD, parkoviště pro motocykly a osobní automobily, taxi, metro, tramvaje, trolejbusy, cyklistická doprava-odstavná místa pro kola, sdílení a pronájem automobilů nebo jízdních kol, popřípadě spojení na letiště nebo do přístavu). Hodnota multimodality je kvantifikována podle tabulky počtem bodů. Minimum je 0 bodů, což značí, že železniční stanice nemá návaznost na žádný další druh dopravy. A maximum 17 bodů je železniční stanice s návazností na všechny uvedené druhy dopravy na nejvyšší možné úrovni (tedy velké množství linek veřejné dopravy, velké množství parkovacích míst, návaznost na mezinárodní letiště a přístavy).

Celková hodnota přiřazená konkrétní železniční stanici, která rozhoduje o zařazení železniční stanice do určité kategorie, se označuje písmenem C. Tato hodnota je součtem všech pěti kritérií, která jsou váhově ohodnocena tak, že dojde k jejich vynásobení příslušným koeficientem. Největší váhu (30 %) má kritérium A, nejmenší naopak kritérium P (ohodnoceno 10 %) ostatní kritéria mají shodnou váhu (20 %). Výpočet parametru C se provede podle vzorce č. 1.

$$C = k(A) * 0,3 + k(T) * 0,2 + k(P) * 0,1 + k(S) * 0,2 + k(I) * 0,2 \quad (1)$$

kde:

C = parametr pro zařazení železniční stanice do kategorií

k(A) = kritérium A

k(T) = kritérium T

k(P) = kritérium P

k(S) = kritérium S

k(I) = kritérium I

Parametr C může nabývat hodnot od 1 (nejnižší možné) do 5 (nejvyšší možné). Dle výsledné hodnoty C jsou železniční stanice rozděleny do kategorií. Dle přidělené kategorie je také zajišťováno potřebné vybavení železniční stanice, její exteriér, interiér a informační systémy.

V dokumentu je mimo jiné řešena také bezbariérovost železničních stanic, která ale není zařazena mezi kritéria pro rozdělení železničních stanic do výše zmiňovaných kategorií.

Nízkoemisní kolejová vozidla mají potenciál i pro meziregionální železniční tratě. Meziregionální železniční tratě jsou všechny tratě, které překračují hranici krajů a na nichž se může provozovat objednávaná osobní železniční doprava. Těchto tratí je v rámci české železniční sítě značné množství. Vznikaly historickým vývojem jako takzvané lokální tratě, které měly za úkol řešit dopravu v oblastech pro potřeby přirozeného pohybu obyvatel a zboží podle tehdejších požadavků.

V dnešní době je možné hovořit o tratích, na kterých je i v současnosti dostatečná poptávka po přepravě, ale v mnoha případech objednávka dopravy neodpovídá přirozené spádovosti v rámci územně správních celků (okrajové oblasti krajů). Například se může jednat o problémy s využíváním integrovaných dopravních systémů různých sousedících krajů, ale i o dostupnost krajských center a dalších významných obcí v rámci kraje, z okrajové oblasti kraje.

Druhá kategorie těchto tratí jsou tratě, jejichž dnešní využití nemusí v mnoha případech reflektovat podmínky a potřeby mobility obyvatel a zboží, přesto ale mají stále svůj význam pro udržení kompaktnosti sítě a pro zajištění možnosti rychlejšího řešení odklonů při provozních poruchách a mimořádných událostech. Jedná se například o tratě Chlumec nad Cidlinou-Křinec (trať 028), dále Třebovice v Čechách-Dzbel-Prostějov hl. n. (trať 017 a 306) a také Bečov nad Teplou-Blatno u Jesenice (trať 161).

2.1.4 Objednatelé dopravy

V České republice existuje několik právních předpisů věnujících se veřejné dopravě a základní dopravní obslužnosti. V současnosti zde funguje systém, kdy objednatelem může být stát (který je zastupován Ministerstvem dopravy ČR), nebo krajské samosprávy (zastupovány krajskými úřady jednotlivých krajů). Z povahy těchto subjektů vyplývá, že jsou objednateli pro příslušnou oblast své působnosti, tedy MD pro dálkové vlaky a krajské úřady pro vlaky regionální. Proces objednávky dopravy v rámci České republiky je jedním z faktorů ovlivňujících možnosti nasazování nízkoemisních kolejových vozidel.

V právním řádu České republiky je soubor zákonů pro řešení problematiky oblasti veřejné osobní dopravy, jako například Zákon č. 194/2010 Sb., Zákon o veřejných službách v přepravě cestujících a o změně dalších zákonů. Tímto zákonem bylo transponováno Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1370/2007, platné od 23. října 2007 o veřejných službách v přepravě cestujících po železnici a silnici do českého právního systému. Zajišťování dopravní obslužnosti se týká kromě veřejné drážní osobní dopravy také veřejné linkové dopravy (autobusy, tramvaje, trolejbusy a další druhy hromadné dopravy).

Základní dopravní obslužnost zahrnuje provozování dopravy během všech dnů v týdnu pro zajištění základních potřeb pro mobilitu obyvatel (například přeprava do škol a za vzděláním, k návštěvě veřejných institucí, do zaměstnání, do nemocničních zařízení) a také volnočasových aktivit (jako například cesty do kulturních, rekreačních a společenských zařízení). Zajištěna by měla být doprava v obou směrech.

Zajišťování dopravní obslužnosti na území kraje je v působnosti krajské samosprávy (krajských úřadů). Kraj také může zajišťovat dopravní obslužnost i na území jiného kraje, ale pouze za podmínky souhlasu tím dotčeného jiného kraje. Obdobná je situace i v pohraničních oblastech, pokud je pro poskytnutí dopravní obslužnosti nutné zajistit veřejnou dopravu s částí cesty na území sousedního státu anebo je začátek či konec cesty v zahraničí. I zde musí být k provozování dopravy v režimu základní dopravní obslužnosti souhlas příslušného územního orgánu sousedního státu. Obdobná situace je i při zajišťování dopravní obslužnosti na území obce nad rámec dopravní obslužnosti kraje.

Stát zajišťuje objednávku vlaků dálkové dopravy a požadavky na objednávku vlaků mezinárodních. Zajišťování dopravní obslužnosti pro občany ČR na území jiného státu musí být opět v kooperaci s příslušnými orgány dotčeného státu.

Stát je v procesu objednávky vlaků zastupován Ministerstvem dopravy, které se musí dohodnout na výši financí uvolněných na kompenzace s Ministerstvem financí. Výše této určené kompenzace ovlivňuje rozsah dopravní obslužnosti, která je poskytována. Výjimkou je dopravní obslužnost pro potřeby obrany státu. V tomto specifickém případě je dopravní obslužnost poskytována Ministerstvem dopravy v součinnosti nikoliv s Ministerstvem financí, ale s Ministerstvem obrany.

2.2 Analýza příslušných dokumentů

Na úrovni Evropské Unie byl stanoven stěžejní cíl, a to do roku 2050 dosáhnout uhlíkové neutrality. K tomu, aby se bylo přiblíženo k dosažení tohoto ambiciózního cíle, nebo případně i dosaženo je třeba využít všechny možné nástroje ke snížení současných zdrojů

emisí. Jedním z takových nástrojů jsou i vodíkové strategie. Vodíková strategie je rozpracována jak na celoevropské úrovni, tak také na úrovni jednotlivých členských států.

2.2.1 Vodíková strategie pro klimaticky neutrální Evropu

V roce 2020 byl Evropskou komisí předložen dokument stanovující strategický plán pro vodík. Vodík není využitelný jen jako palivo ale také jako úložiště energie a mnoha dalšími různými způsoby. Je využitelný také v energetice a průmyslu.

Dokument v úvodu popisuje a charakterizuje vodík jako potenciální využitelné nízkoemisní palivo. Dále je zde uvedeno, jaké jsou možnosti získávání vodíku a dopady jednotlivých možností na životní prostředí (vypouštěním emisí během procesu výroby). Do roku 2030 by také mělo být dosaženo větší konkurenceschopnosti vodíku získávaného z obnovitelných zdrojů vůči vodíku získávaného z fosilních paliv.

Prioritizace vodíku z obnovitelných zdrojů je důležitým bodem dokumentu. Zabezpečení konkurenceschopnosti vůči vodíku z fosilních paliv by měla být zajištěna vývojem a využitím dokonalejších a výkonnějších elektrolyzérů. Popsány jsou také milníky, ve kterých má dojít k vytvoření elektrolyzérů vyšší úrovně a také postupnému zvyšování výroby vodíku z obnovitelných zdrojů.

Stanoven je také investiční program. Ten je podporován vznikem takzvané Evropské aliance pro čistý vodík. Investice budou nutné nejen v oblasti elektrolyzérů (ke zdokonalování a zvyšování jejich výkonu v gigawattech), ale také do infrastruktury pro distribuci a uskladnění vodíku stejně tak do vodíkových čerpacích stanic. V rámci již zmíněné aliance by měly být podporovány smysluplné projekty v oblasti technologií potřebných k zavádění vodíku. Dojít má také k usnadňování a prohlubování spolupráce v rámci investičních projektů. Některé členské státy zhotovují strategické plány týkající se vodíku na národní úrovni.

Jako klíčové jsou označeny dva trhy (oblasti), kde by mělo dojít k největšímu rozvoji v oblasti vodíkových technologií. Těmito oblastmi jsou oblast průmyslu a oblast dopravy (mobility). Využívat by se měl především nízkouhlíkový vodík, který by měl nahradit současný vysokouhlíkový v rafinériích a výrobních průmyslových podnicích.

Dokument uvádí poměrně širokou využitelnost vodíku v oblasti dopravy, a to především v situacích, kde je obtížné (nemožné) anebo neekonomické využít elektrizaci (elektrickou energii). Zmíněno je například vhodné využití vodíku pro autobusy MHD, vozidla taxislužeb nebo pro železniční vozidla provozovaná na vhodných úsecích železniční sítě. Zmíněn je i fakt, že by mělo mimo jiné také dojít k podpoře začleňování vodíkových

palivových článků do těžkých vozidel pro silniční nákladní a osobní dopravu, jako jsou například soupravy pro nákladní silniční dopravu a autokary. Tato skupina vozidel je totiž velmi významným znečišťovatelem, u něž zatím technologie pohonu vodíkovými články není příliš pokročile rozšířena a vyvinuta.

Dokument identifikuje vlaky s pohonem vodíkovým článkem jako alternativu pro tratě a úseky tratí, kde je elektrifikace neproveditelná, obtížná nebo je neefektivním (nerentabilním) řešením.

V oblasti letecké a námořní dopravy bude využití prostředků na pohon vodíkovými články vyžadovat ještě poměrně dlouhý vývoj a zavedení se očekává později, než je tomu v oblasti silniční a železniční dopravy.

Hlavním problémem, který omezuje a znemožňuje širší využití vodíkových technologií v odvětví dopravy a průmyslu, jsou dnes relativně vysoké náklady na výrobu vodíku a nutnost výstavby dodatečné podpůrné infrastruktury, která představuje vysoké počáteční investice při zavádění vodíkových technologií do praxe. Proto je nutné zajistit podporu projektů na celoevropské úrovni.

Evropská komise také v tomto dokumentu zmiňuje i potřebu podpory výzkumu a vývoje zabývajících se vodíkovými technologiemi. Určitá forma podpory v oblasti rozvoje vodíkových technologií je patrná již v současné době.

2.2.2 Vodíková strategie České republiky

Vláda české republiky v červenci roku 2021 schválila dokument s názvem Vodíková strategie České republiky, který byl sestaven Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR. Tento dokument navazuje na vodíkovou strategii stanovenou na celoevropské úrovni a také stanovuje možnosti vývoje v oblasti vodíkových technologií na území České republiky. Hlavní oblasti, kterými se strategie zabývá a pro které se snaží navrhnout možná budoucí východiska jsou oblast výroby a využití nízkouhlíkového vodíku, zdokonalení a rozvoj vodíkových technologií a také efektivní distribuce a skladování vodíku.

Vodíková strategie se týká široké škály odvětví, mimo dopravu se jedná také o oblast průmyslu, energetiky a také výrobců vodíkových technologií a infrastruktury pro distribuci a výrobu vodíku.

Dle uvedených prognóz je patrné, že oblast dopravy by měla být největším spotřebitelem nízkouhlíkového vodíku ze všech odvětví. Spotřeba tohoto druhu vodíku od roku 2030 do roku 2050 bude dle prognóz růst téměř exponenciálně. Dalšími významnými

spotřebiteli by měly být oblasti jako hutnictví, chemický průmysl nebo energetika. Od roku 2030 je předpokládána i zvyšující se spotřeba domácností.

Dokument je poměrně obsáhlý, proto je detailněji analyzován pouze v oblasti, kterou se diplomová práce zabývá. Jedná se o oblast dopravy, konkrétně železniční.

Co se týče využití vodíku v oblasti dopravy je velmi široké. Využití se plánuje, připravuje, nebo se o něm uvažuje ve všech hlavních dopravních módech.

S rozvojem vodíkových technologií v oblasti železniční dopravy nejsou v současnosti žádné zkušenosti. Čerpat poznatky, podklady a zkušenosti lze tedy pouze ze zahraničí, co se týče Evropy konkrétně z Německa. V této oblasti dopravy jsou v rámci České republiky využití vodíkových technologií, popřípadě železničních souprav s pohonem vodíkovými články v etapě plánů a vizí. V dokumentu se také uvádí, že pokud budou železniční dopravci nuceni dosahovat v roce 2050 téměř bezemisního provozu budou muset zvážit využití alternativ k dnes konvenčním dieselovým kolejovým vozidlům. Výměna těchto jednotek na poslední chvíli těsně před rokem 2050 nebude zvládnutelná. Proto je nutné řešit budoucí situaci již v nejbližších letech. Jako alternativy jsou v současné době možné dva typy pohonu, a to bateriový a pohon s využitím vodíkových článků. Dokument také zmiňuje velký potenciál pro využití vodíkové technologie u lokomotiv pro posun. Nutností je také vybudování potřebné infrastruktury, tedy především sítě plnicích stanic.

2.3 Výstup analytické části

Z provedené analýzy byly identifikovány některé problémové oblasti, které jsou zásadní pro posouzení vhodnosti zavedení nízkoemisní dopravy na železniční neelektrizované síti.

Tyto oblasti jsou dále seřazeny podle důležitosti jejich významu pro železniční systém:

- Chybí metodika pro posouzení vhodnosti nasazení nízkoemisních technologií (elektrizace a nízkoemisní kolejová vozidla) z pohledu technicko-technologického a ekonomického. Metodika musí vycházet z dalších nezbytných podkladů (strategické dokumenty pro oblast nízkoemisní železniční dopravy), které ale nejsou součástí platné legislativy ani na evropské, ani na národní úrovni.
- Chybí dokument, který by identifikoval a stanovil vhodné tratě v rámci České republiky pro využití nízkoemisních kolejových vozidel
- Není dostatečné právní ukotvení v národní a evropské legislativě pro nízkoemisní železniční dopravu (není zahrnuto v zákoně 266/1994 Sb., Zákon o drahách,

na evropské úrovni nejsou zpracované příslušné TSI pro nízkoemisní dopravu, a to jak pro vozidla, tak i pro infrastrukturu).

- Chybí definice železničního nízkoemisního vozidla (kvalitativní a kvantitativní požadavky) v národní a evropské platné legislativě.
- Není definován přesně pojem nízkoemisní zdroj energie z pohledu jeho identifikace v přenosových sítích.

3 OPATŘENÍ A NÁVRHY VYCHÁZEJÍCÍ Z ANALYTICKÉ ČÁSTI PRÁCE

Návrhová část práce vychází z analytické části a identifikovaných problematických oblastí. Hlavní součástí návrhové části je popis metodiky, podle které by měl každý subjekt uvažující o nasazení nízkoemisních vozidel posoudit vhodnost využití konkrétního typu vozidla na posuzované části železniční sítě. Posouzení vhodnosti je rozděleno do dvou základních částí, technické a ekonomické. Obě jsou vzájemně propojeny a významně se ovlivňují. Pro správné rozhodování je třeba, aby obě části byly posouzeny objektivně a nebyly zatíženy dílčími omezeními platnými pouze pro některou část metodiky.

3.1 Návrh metodiky pro nasazování nízkoemisních kolejových vozidel

Jako vstupní data jsou využity údaje týkající se současného stavu zkoumané železniční tratě (či její úseku). Vstupní data by měla být vybrána a posouzena komplexně pro všechny oblasti vztahující se k provozování železniční dopravy na daném úseku. Vstupní data je možno rozdělit do několika kategorií. Kategorie vstupních dat pro jakoukoli posuzovanou trať jsou uvedeny v jednotlivých podkapitolách.

3.1.1 Návrh obsahu kategorie vstupních dat pro oblast současné infrastruktury

Současná infrastruktura trati má určité stavební, technické, technologické a provozní parametry. Do této kategorie vstupních dat jsou zařazeny:

- Stavební parametry infrastruktury: zářezy a náspy, umělé stavby, jako například mosty, viadukty, tunely, mimoúrovňová křížení (podjezdy) a další.
- Technické parametry infrastruktury: sklonové a směrové poměry (například sklon v promile, poloměry oblouků v metrech apod.), typy staničních, traťových a přejezdových zabezpečovacích zařízení a trolejová vedení.
- Provozní parametry infrastruktury: soubor vlastností infrastruktury, který je popsán v TTP pro každou trať, jedná se například o stanovenou traťovou rychlost, maximální dovolenou délku vlaků, parametry kapacity železniční dopravní cesty, nebo maximální zatížení na nápravu a další.
- Technologické parametry infrastruktury jsou provázány se zabezpečením dopravního procesu a jsou uvedeny v následující kategorii.

3.1.2 Návrh obsahu kategorie vstupních dat pro oblast současné technologie dopravy

Pod pojmem technologie dopravy jsou zahrnuty následující základní parametry, jako například vazba staničních a traťových zabezpečovacích zařízení s přejezdovými zabezpečovacími zařízeními (se závorami nebo jen s výstražnými světly), vazby staničního zabezpečovacího zařízení k určení vjezdové nebo odjezdové koleje, rychlost jízdy od vjezdového nebo odjezdového návěstidla. Tyto parametry jsou rozhodující pro výpočet staničních a traťových provozních intervalů (interval postupných vjezdů a odjezdů, interval křižování, interval následné jízdy atd.) a slouží jako základní podklad pro sestavu jízdního řádu každého vlaku. Další parametry pro sestavu jízdního řádu, které souvisí s objednávanou kapacitou vlaku a následně s kapacitou dopravní cesty jsou uvedeny v dalších kategoriích (poptávka po dopravě, sociologické údaje a ukazatele, interoperabilita a kolejová vozidla).

3.1.3 Návrh obsahu vstupních dat pro oblast geografických a klimatických dat

Tato data dávají obrázek o umístění trati a jednotlivých objektů infrastruktury v terénu a jsou důležitá pro znalost případných negativních dopadů počasí a klimatu na provozování dráhy a drážní dopravy (rychlost a směr větru, možnost tvorby sněhových závějí, ledovky, mlhy, možnosti pádu stromů nebo sesuvů půdy, pády skalních částí na trať), které mohou omezit nebo významně ovlivnit plynulost, bezpečnost a včasnost jízdy vlaků. Při posuzování různých variant nasazení nízkoemisních vozidel, případně elektrizace mají tyto ukazatele zásadní vliv například při stavebních úpravách trati. Z nich jsou poté generovány investiční náklady nutné pro příslušné stavební úpravy. Znalost geografických a klimatických dat může významně ovlivňovat náklady na údržbu železniční dopravní cesty (například nutnost častého odklizení sněhu), tak i provozní náklady provozovatelů dopravních prostředků (například vyšší spotřeba energie na tratích s vysokými sklonovými poměry).

3.1.4 Návrh obsahu vstupních dat pro oblast sociologických údajů a ukazatelů v rámci oblasti

Tato data jsou důležitá především jako podklad pro objednatele dopravy. Jedná se například o rozložení věkových kategorií obyvatel a hustotu osídlení ve spádové oblasti trati (spádová oblast trati je v tomto případě potenciální počet možných cestujících využívajících zastávku nebo stanici v docházkové nebo dojezdové vzdálenosti definované objednatelem dopravy).

3.1.5 Návrh obsahu vstupních dat pro oblast poptávky po dopravě

Poptávka po dopravě je významným faktorem, který je ovlivněn socioekonomickými faktory v daném čase (například životní úroveň obyvatel, vyspělost a ochota k cestování veřejnou dopravou, dostupnost úřadů vzdělávacích a kulturních institucí, zdravotnických zařízení atd.). Dalším významným faktorem v této oblasti je například hustota spojů, cestovní doba v porovnání individuální a veřejné dopravy (zde by se k zajištění konkurenceschopnosti železnice proti silniční dopravě měla uvažovat spíše doba “door-to-door“), docházková nebo dojezdová vzdálenost stanic, cena za přepravu (měla by být konkurenceschopná), bezpečnost (minimalizace provozních poruch a nehod), spolehlivost (dodržování jízdních řádů a sestavy vlaku) a důležité jsou i informovanost a pohodlí cestujících (ovlivněno vytížeností spojů, možností poskytování doplňkových služeb atd.).

3.1.6 Návrh obsahu vstupních dat pro oblast objednávání dopravy

Tato problematika je řešena na základě platné legislativy ČR v této oblasti. Objednávka dopravy (tedy její nabídka obyvatelům) by měla vycházet z poptávky po dopravě, která úzce souvisí se sociologickými ukazateli v rámci daného území. Dále do této oblasti spadá také údaj, kolik různých dopravců zajišťuje dopravní obslužnost na zkoumané trati. V ideálním případě by měly být v rámci vstupních dat k dispozici také údaje o dosavadním plnění kvalitativních a kvantitativních požadavků dopravců zajišťujících dopravu na zkoumané trati.

3.1.7 Návrh obsahu vstupních dat pro oblast interoperability a kolejových vozidel

Oblast interoperability je jednou z nejdůležitějších oblastí s největším vlivem na provozní bezpečnost celého železničního systému. Na každé trati, pokud spadá pod oblast platnosti evropské legislativy (Nařízení pro TSI) musí být požadavky všech nařízení splněny v požadovaném rozsahu a ve stanovených lhůtách. To se promítá do všech kategorií nákladů (investiční, provozní, údržbové atd.). U kolejových vozidel, především nově pořizovaných nízkoemisních, je třeba vyvolané náklady z pohledu dodržení interoperability vidět jako náklady ve střednědobém a dlouhodobém horizontu. Zásadními faktory pro volbu typu nízkoemisních kolejových vozidel jsou například vybavenost nebo příprava pro vybavení ERTMS, vzájemná spojitelnost (svěšování) různých typů vozidel, jednotné plnicí a dobíjecí konektory, datová propojitelnost vozidel různých dopravců pro využití informačních systémů pro cestující a další faktory. Posuzovat je nutné i interoperabilitu právní a ekonomické oblasti

(eliminace různých pohledů a nekompatibility systémů veřejné dopravy v oblasti objednávání dopravy, prodejních a rezervačních systémů a validace jízdních dokladů).

3.1.8 Návrh obsahu vstupních dat pro ostatní oblasti

Dostupnost vstupních dat by měla být zajištěna také v následujících oblastech:

- Vliv prostorové průchodnosti umělých staveb jiných (silniční, energetická, vodní, komunikační apod.) infrastruktur při styku s železniční infrastrukturou.
- Bezpečnost zaměstnanců a provozovatelů dráhy, drážní dopravy, majitelů a uživatelů přilehlých pozemků a nemovitostí, případně i dalších oprávněných právnických i fyzických osob.
- Oprávněné zájmy státu, územně správních celků, obcí a dalších subjektů vyplývající z platné legislativy. Jedná se především o zajištění vojenské mobility, kybernetické bezpečnosti a dalších určených strategických potřeb.
- Krizové a extrémní situace: posoudit je také nutné to, aby vozidla a všechny další na ně navázané subsystemy (obsluha, údržba, zajištění paliva atd.) byly dostupné za jakýchkoli povětrnostních, klimatických a dalších přírodních podmínek, ale také v případech krizových situací způsobených haváriemi, únikem nebezpečných látek, fyzickým, kybernetickým či jiným útokem, terorismem a jakýmkoli dalším protiprávním jednáním, které by mohly způsobit újmu na zdraví a životech obyvatel nebo škody na majetku fyzických i právnických osob v definovaném okolí dráhy.

3.2 Klíčoví aktéři

Subjekty, jež jsou významně zapojeny v klíčových procesech ovlivňujících výsledné rozhodnutí jsou nazvány jako klíčoví aktéři. Rozdělení subjektů je možno provést do několika skupin v rámci nichž jsou soustředěny subjekty podobné charakteristiky, postavení, či jejich vlivu na procesy.

3.2.1 Státní správa, samospráva a jejich složky

První skupinou jsou úřady státní správy a samosprávy. Na úrovni státní správy patří do této skupiny jednotlivá ministerstva, a to Ministerstvo dopravy, Ministerstvo vnitra, Ministerstvo životního prostředí a Ministerstvo obrany. Ministerstvo vnitra spravuje další složky, které patří do této skupiny, a to IZS (tj. Policie ČR, Hasičský záchranný sbor ČR a Zdravotnická záchranná služba) a Národní úřad pro kybernetickou a informační bezpečnost (NUKIB). Pod Ministerstvo životního prostředí spadají složky, Česká inspekce životního prostředí, lesní správy ČR, Český hydrometeorologický ústav, Česká geologická služba,

Ústřední vodoprávní úřad. Resort dopravy zasahuje do procesů také prostřednictvím dopravních úřadů a resort obrany prostřednictvím Armády ČR a jejich organizačních složek. Na úrovni samosprávných celků jsou v této skupině krajské úřady (konkrétně jejich odbory dopravy), úřady obcí s rozšířenou působností.

3.2.2 Majitelé a provozovatelé drah

Další skupina je tvořena subjekty, jež vlastní železniční trať, či její úsek, nebo jsou provozovateli dráhy. Do této skupiny tedy patří provozovatelé a majitelé celostátních a regionálních drah jako například Správa Železnic, s.o., AŽD Praha s.r.o., PKP CARGO INTERNATIONAL a.s. a další. V současné době je v ČR více než 100 provozovatelů drážní dopravy. Dále do této skupiny patří majitelé a provozovatelé místních drah, vleček a zkušebních drah.

3.2.3 Dopravci

Do této skupiny patří osobní dopravci s licenci k provozování drážní dopravy platnou pro dané období (například České dráhy a.s., ARRIVA vlaky s.r.o., RegioJet a.s., a další), nákladní dopravci (ČD Cargo, a. s., METRANS Rail s.r.o. a další). Význam těchto subjektů v rámci procesu se odvíjí od zastoupení osobní či nákladní dopravy na dané trati, či jejím úseku.

3.2.4 Zákazníci

Důležitou skupinou jsou také uživatelé přepravy. Do této skupiny lze zařadit Svaz cestujících ve veřejné dopravě, a jednotlivé cestující. Dále je do této skupiny možné začlenit také zákazníky v oblasti nákladní dopravy, pokud je na dané trati provozována.

3.2.5 Výrobci a dodavatelé vozidel

Výrobci kolejových vozidel, ale také firmy zajišťující údržbu a servis těchto vozidel, tvoří další skupinu subjektů. Zajištění údržby a servisu kolejových vozidel se odvíjí mimo jiné od druhu nasazovaných jednotek (závislá trakce, pohon s využitím vodíkových článků, bateriový pohon, hybridní pohon). Výrobci vozidel by měli zajistit vozidla vhodná pro daný úsek trati dle požadavků objednatele a vlastních konstrukčních možností. Zohledněny a respektovány musí být také parametry trati dle tabulky traťových poměrů.

3.2.6 Výrobci infrastrukturních komponentů

V této skupině jsou zařazeny subjekty zajišťující podpůrnou infrastrukturu potřebnou pro daný úsek trati. Povaha těchto subjektů závisí na zvoleném druhu pohonu na dané trati.

Při rozhodnutí o elektrizaci se jedná o stavební a montážní firmy zajišťující proces výstavby a údržby prosté elektrizace, popřípadě se také jedná o zhotovitele dobíjecích a plnicích stanic. V případě bateriového pohonu je nutné zřízení nabíjecích stanic (v případě, že nebude nabíjení probíhat výhradně z troleje při pobytu ve stanici). Pro pohon s využitím vodíkových palivových článků je nutné vybudovat podpůrnou infrastrukturu. Jedná se o plnicí vodíkové stanice ale také produktovody pro distribuci vodíku z místa výroby do plnicích stanic (případně mohou být produktovody nahrazeny dopravou vodíku s využitím jiného druhu dopravy, což je ale z pohledu environmentálního s otazníkem).

3.2.7 Výrobci a dodavatelé provozních systémů

Jedná se především o firmy specializující se na vývoj, výrobu a dodání zabezpečovacích a sdělovacích zařízení, dále dodavatelé a správci IT systémů, včetně těch pro kritickou infrastrukturu a výrobci a dodavatelé systémů pro její monitoring. Do této skupiny je nutné zařadit také dodavatele a provozovatele informačních systémů pro cestující a dopravce.

3.2.8 Subjekty zajišťující dodávky trakční elektrické energie, případně trakčního paliva nebo jiných druhů energií

Do této skupiny lze zařadit provozovatele distribučních soustav elektrické energie, a také samotné dodavatele elektrické energie. Je třeba zdůraznit, že se nejedná pouze o trakční elektrickou energii, ale klíčové jsou také dodávky elektrické energie pro osvětlení a vytápění staničních prostor, pro podpůrné a provozní systémy a další služby. V případě využití jiného druhu paliva (například vodíku) je třeba do této skupiny zařadit také subjekty zajišťující distribuci paliva z místa jeho výroby do plnicích stanic.

3.3 Rizikové faktory

Jedná se o faktory, jež mají vliv na kvalitativní i kvantitativní ukazatele dopravy. Mezi tyto ukazatele patří například spolehlivost, dostupnost, objemy provozních výkonů. Tyto faktory mají vliv na vnímání kvality dopravy cestujícími. Faktory mohou být jak přímo ovlivnitelné, tak způsobené tzv. vyšší mocí, tedy neovlivnitelné faktory, například povětrnostní podmínky a další klimatické vlivy, nepředvídatelné a protiprávní chování cestujících, stávka personálu, demonstrace atd., by měly být odděleny.

3.3.1 Rizikové faktory v oblasti infrastruktury

Do této skupiny patří rizikové faktory spjaté se současnými parametry infrastruktury na daném úseku trati. Obecně lze říci, že většina rizikových faktorů v této skupině je jak

ovlivnitelných, tak neovlivnitelných, což je způsobeno především tím, že infrastruktura je vystavena například vlivům klimatických podmínek a není možnost ohlídat přístup nepovolaných osob na infrastrukturu v celé její délce.

Rizikové faktory v této skupině jsou:

- Řízení provozu na dopravní cestě: do této skupiny patří organizace vlakové dopravy a její zabezpečení (tvorba jízdních řádů, přidělování kapacity dopravní cesty, řízení sledu vlaků, přípoje v uzlových stanicích, minimální přestupní doby), rizikovost tohoto faktoru je například možnost souběhu požadavků na přidělení kapacity dopravní cesty v určitém časovém úseku, jízdní řád nemá dostatečné rezervy pro eliminaci zpoždění, ovlivnění kvality dopravy při vzniku mimořádností.
- Údržba infrastruktury: do skupiny se zařadí organizace výlukových činností pro údržbu infrastruktury, organizace náhradní autobusové dopravy nebo odklonových tras, koordinace údržbových prací a organizační opatření pro splnění kvalitativních ukazatelů jízdního řádu (rizikovost tohoto faktoru je v nedostatečné koordinaci činností na úseku údržby, nedodržování stanovených časů pro údržbu, nekvalitní provedení údržby apod.).
- Infrastruktura pro nízkoemisní vozidla (např. napájecí stanice a distribuční systémy): již v současné době dostupná infrastruktura pro zajištění provozu nízkoemisních vozidel (přípojky na veřejnou energetickou přenosovou soustavu, přípojky produktovodů), v dnešní době nevybudovaná infrastruktura (dobíjecí stanice pro bateriové vlaky a napájecí stanice pro vlaky FCH, distribuční síť pro vodík), rizikovost je neochota jakýkoli subjektů financovat výstavbu nové infrastruktury, obtížné územní řízení a získání stavebního povolení
- Zabezpečovací a sdělovací zařízení: do této kategorie patří používané a plánované zabezpečovací a sdělovací zařízení (jeho typ), které má vliv na provozní parametry pro řízení provozu na dopravní cestě (například vybavenost vozidel také mobilní částí zabezpečovacího zařízení, pokud je vyžadována), procesy údržby a na bezpečnost na úrovních kříženích s pozemními komunikacemi. Rizikovostí je poruchovost zabezpečovacích zařízení všech typů a možnost vzniku mimořádných událostí s významným vlivem na kvalitu dodržování jízdního řádu, nesoulad v oblasti interoperability.
- Trakční vedení: do této kategorie je zařazeno trakční vedení všech dosud používaných trakčních soustav a rozsah zatrolejování trat'ových a staničních kolejí. Jako související

zařízení je nutno uvést napájení předtápěčích stojanů ve vybraných stanicích. Rizikovost spočívá v používání více různých napájecích trakčních soustav se styčnými body ve stanicích i mimo stanice. Rizikovým faktorem je také záměr prosté elektrizace některých traťových úseků bez posouzení ekonomické a provozní efektivity tohoto kroku (nejsou uvažovány úpravy tratě umožňující zvýšení rychlosti).

3.3.2 Rizikové faktory v oblasti technologie

V současnosti používané traťové a staniční technologie odpovídají stavu fyzické infrastruktury a zabezpečovacích zařízení. V mnoha případech staniční i traťové technologie neumožňují z důvodu skutečného stavu infrastruktury a zabezpečení změnu, která by přinesla nebo mohla přinést zkrácení doby jízdy nízkoe emisních, ale i konvenčních jednotek bez nutnosti změn provozních předpisů. Souhrnné charakteristiky technologií ve vazbě na tabulky traťových poměrů budou popsány v kapitole 3.4.

Rizikové faktory v této skupině jsou:

- Technologie traťových procesů: je závislá na vybavení tratě zabezpečovacím zařízením, na zábrzdě vzdálenosti, směrových a sklonových poměrech. Zásadní vliv na traťové procesy má také složení vlakových souprav z pohledu délky a hmotnosti. Rizikovost spočívá ve vysokých nákladech v případě nutných úprav infrastruktury pro zvýšení rychlosti nebo úrovně zabezpečení. Je třeba brát v úvahu provázanost na staniční technologie, a tedy tím i na úpravy infrastruktury a zabezpečení ve stanicích. Dalším faktorem rizikovosti je vazba zabezpečovacího zařízení na vzájemně závislých úrovnových kříženích s pozemními komunikacemi ve vztahu k jejich vzájemné vzdálenosti při poruchách.
- Technologie procesů vykonávaných ve stanicích: staniční technologie se liší podle toho, zda stanice leží na jednokolejně nebo víceokolejně trati. Na jednokolejně trati je třeba brát v úvahu to, že sled vlaků, a jejich předjíždění a vyhýbání se mohou uskutečnit pouze v dopravnách (stanicích a výhybnách) a staniční zabezpečovací zařízení v návaznosti na vybavenost stanice dalšími prvky infrastruktury (nástupiště, úrovnové přechody a délky přístupových cest). Rizikovost je velmi vysoká, protože především na jednokolejných tratích je změna křížování nebo sledu vlaků závislá na poloze nástupišť vzhledem ke staniční budově. Důležitým faktorem je i typ staničního a traťového zabezpečovacího zařízení pro oba směry jízdy v dané stanici, především vazba na případná přejezdová zabezpečovací zařízení, a tím na bezpečnost a rychlost stavění jízdnicích cest.

- Technologie procesů údržby a oprav: způsob zajišťování procesů údržby a oprav se dělí do dvou skupin. V první skupině je údržba a opravy, které je možno provádět bez přerušení provozu, ve druhé skupině jsou údržby, které vyžadují vyloučení určitých částí stanice nebo tratě z provozu a jsou plánovány předem. Rizikovitost spočívá především v tom, že první skupina činností není správně načasována a ovlivní technologii práce ve stanici nebo na trati a tím i kvalitu plnění jízdního řádu. Rizikovitost druhé skupiny již byla zmíněna v kapitole 3.3.1.

3.3.3 Rizikové faktory v oblasti vozidel

Do této skupiny se řadí v současnosti nasazovaná kolejová vozidla a nízkoemisní vozidla plánovaná pro nasazení. Je tedy zřejmé, že tato skupina faktorů je ovlivněna jak typem vozidel, které jsou nasazovány na dané trati, nebo jsou plánovány k nasazení podle jednotlivých dopravců a požadavků objednatelů, kteří na daném úseku zajišťují dopravní obslužnost. Obecným rizikovým faktorem je především vysoký počet různých typů vozidel nasazovaných na konkrétním traťovém úseku, velký tlak objednatelů na nízké náklady k zajištění dopravní obsluhy a vysoká ekonomická náročnost na pořízení moderních vozidel (především nízkoemisních).

Rizikové faktory v této skupině jsou:

- Vnitřní prostorové uspořádání vozidla: požadavky objednatelů se musí promítnout do vnitřního prostorového řešení konkrétního typu vozidla (počet požadovaných míst k sezení, vybavenost vozidla určitými typy zařízení interiéru, (jako například bezbariérové WC, stojany na kola, prostor pro dětské kočárky) a místa pro cestující PRM). Dále prostorové uspořádání sedadel, odkládacích polic pro zavazadla a další zařízení služeb pro cestující (zásuvky 220 V, klimatizace, topení apod.). Rizikovitost spojená s prostorovým uspořádáním je vysoká především proto, že požadavky objednatelů mnohdy nezohledňují technické parametry traťových úseků, především zatížení na nápravu. U nízkoemisních vozidel je také rizikovitost v tom, že vybavenost zařízením služeb pro cestující významně ovlivňuje spotřebu energií a paliva, především v extrémních klimatických podmínkách.
- Záložní vozidla: Jsou určena k vykrytí mimořádných potřeb vozidel při narušení provozu nebo při mimořádných událostech. Počet těchto vozidel se odvíjí od intenzity přepravních proudů, případně možností nasazení náhradní dopravy. Rizikovitost je vysoká, protože v případě objednaných objemů vlakové dopravy se počítá s minimálními zálohami vozidel (týká se především konvenčních vozidel)

u nízkoemisních vozidel je třeba počítat s vyšším procentem zálohovosti. Rizikovost je zde promítnuta především do ekonomiky a efektivity provozu.

- Interoperabilita vozidel různých dopravců: v osobní dopravě je většina novějších vozidel vybavena automatickým spřáhlem a zabezpečovacím zařízením nebo přípravou na instalaci mobilní části zabezpečovacího zařízení již z výroby. U starších vozidel tomu tak není. Rizikovost spočívá v tom, že vozidla různých typů a stáří v případě narušení provozu nebo mimořádných událostí nelze rychle a efektivně vzájemně spojovat, což vede k narušení technologie provozu. Rovněž právní prostředí je v tomto případě významným prvkem rizikovosti, neboť dopravci poukazují na fakt právní odpovědnosti za bezpečnost provozu, což je v případě spojení vozidel různých dopravců problematické zajistit.
- Výkonové parametry vozidel: jsou jedním ze základních ukazatelů efektivity a ekonomičnosti celého dopravního procesu. Aby bylo možno dosáhnout efektivní cestovní doby pro daný úsek trati nebo sítě, musí vozidla mít výkonové parametry takové, aby za každých podmínek běžných v provozu dosáhla maximální rychlosti, kterou dovoluje infrastruktura a maximální možné bezpečnosti, kterou požadují objednatelé a přepravci. Rizikovost v tomto ukazateli je v tom, že uvažovaná nová nízkoemisní vozidla buď nedosáhnou výkonových parametrů v současnosti užívaných konvenčních vozidel, a tedy nesplní podmínky objednatele pro dodržení kvality jízdního řádu, nebo naopak budou v určitých parametrech umožňovat lepší využití dynamických vlastností, ale za jiných provozních nákladů.

3.3.4 Metoda práce s rizikovými faktory (nebo kvantifikace rizikových faktorů)

Metoda práce s rizikovými faktory, které jsou popsány v podkapitole 3.3 vychází z metody FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Pro kvantifikaci rizikových faktorů je využito rizikové číslo (RPN). S vypočtenými hodnotami RPN se pak dále pracuje v procesu vyhodnocení. Ukazatel RPN závisí na dvou proměnných, pravděpodobnosti vzniku rizika (tj. negativní situace vzniklé vlivem daného rizikového faktoru) a „škody“, jež vznik oné negativní události způsobí. Obě tyto proměnné jsou kvantifikovány na škále od 0 do 4.

Kvantifikační stupnice pro pravděpodobnost vzniku negativního dopadu pro daný rizikový faktor je:

- Hodnota 0: velmi nepravděpodobné
- Hodnota 1: nízká pravděpodobnost
- Hodnota 2: střední pravděpodobnost

- Hodnota 3: vysoká pravděpodobnost
- Hodnota 4: Velmi pravděpodobné, téměř jisté

Kvantifikační stupnice pro způsobené negativní dopady v důsledku události pro daný rizikový faktor je:

- Hodnota 0: bez dopadů, nebo téměř bez dopadů
- Hodnota 1: nízké dopady
- Hodnota 2: středně vysoké dopady
- Hodnota 3: vysoké dopady
- Hodnota 4: fatální dopady

Pro komplexní posouzení jeden z klíčových aktérů (obvykle ten, který posudek vyžaduje) vybere experta (koordinátora), který řídí proces posuzování kvalifikovaného odhadu proměnných. Obě základní proměnné jsou pak ohodnoceny skupinou nezávislých odborníků (počet odborníků závisí na počtu klíčových aktérů, je jim obvykle roven, tedy zde osm). Hodnoty získané kvalifikovaným (odborným) odhadem jsou zaneseny do tabulky. Každý nezávislý odborník na základě svých expertních zkušeností a znalostí ohodnocuje obě proměnné (pravděpodobnost vzniku negativního jevu P a výši jeho negativního dopadu D). Pro tyto proměnné vybere hodnotu ze škály 0 až 4 (popsané výše). Hodnocení jednotlivých expertů by neměla být přístupná ostatním zúčastněným expertům. Vyhodnocení všech podkladů od expertů provádí nezávislý odborník (koordinátor) vybraný zadavatelem posouzení. Ten není spojen s žádným ze zúčastněných klíčových aktérů. Tato osoba má pravomoc vyžádat si od jednotlivých expertů podrobnější odůvodnění jejich ohodnocení.

Z procesu posouzení je určeno rizikové číslo (RPN), které je vypočteno jako součin sumy hodnot odhadů pravděpodobnosti vzniku negativní události pro daný rizikový faktor (označeno P) a sumy hodnot odhadů způsobené škody v důsledku negativní události pro daný rizikový faktor (označeno D). Určeno je podle vzorce č.2.

$$RPN = \sum P * \sum D \quad (2)$$

kde:

RPN = hodnota rizikového čísla

P = hodnota odhadu pravděpodobnosti vzniku negativní události pro daný rizikový faktor

D = hodnota odhadu způsobené škody v důsledku negativní události pro daný rizikový faktor

Pro ukázkou způsobu ohodnocení byly vybrány dvě skupiny rizikových faktorů (viz. Příloha A). Tímto způsobem je provedeno ohodnocení každé skupiny identifikovaných rizikových faktorů. Pro každou skupinu rizikových faktorů jsou určeny typy akce a je dán popis akce (Příloha A) pro hodnotícího experta. Expert ohodnocuje proměnné P a D pro každý typ akce.

Aby bylo možné vyhodnotit dopady rizik pro jednotlivé druhy pohonu kolejových vozidel, musí být ohodnocení rizikových faktorů provedeno pro každou skupinu vozidel samostatně (současný stav, BEMU, HEMU, elektrizace). Pro komplexní posouzení a rozhodnutí je nutno zpracovat ještě návrhy na možná řešení pro snížení či odstranění rizik s odhadem nákladů na provedení.

Dalším jevem, který výrazně ovlivňuje rizikovost pro jednotlivé typy nízkoemisních vozidel je tzv. kaskádový jev. Jedná se o přenos negativního dopadu vzniklého jedním z faktorů na jeden nebo více dalších faktorů s mnohem vyšší mírou rizika. Řešení tohoto jevu se velmi výrazně projevuje v nákladech jak fixních, tak variabilních.

3.3.5 Vyhodnocení dopadů rizik

Na základě vypočtených hodnot RPN jsou kritické faktory rozděleny do pěti skupin. První skupinou jsou akce s rizikem velmi významně ovlivňujícím provoz vybraného druhu nízkoemisních vozidel. Druhou skupinou jsou akce s rizikem, které lze připustit, ale pouze po určitou omezenou dobu (měly by být v co nejkratší době odstraněny a nemělo by jich být velké množství). Do třetí skupiny patří akce se středně vysokým rizikem, jsou v provozu akceptovatelné, ovšem jejich počet by měl být v ideálním případě snižován. Čtvrtou skupinu tvoří akce s nízkou hodnotou obou proměnných (jak P, tedy pravděpodobnosti vzniku, tak D, tedy dopady v důsledku vzniku). Poslední, pátou skupinu tvoří akce s rizikem, u nichž je hodnota alespoň jedné proměnné velmi nízká (proměnná P se limitně blíží k nule, popřípadě proměnná D má minimální (zanedbatelné) ohodnocení následků). Krajiní hodnoty RPN pro zařazení do jednotlivých skupin jsou uvedeny v Tabulce 2. Konkrétní hodnota krajních mezí skupin je vždy závislá na počtu hodnotících expertů.

Tabulka 2 Skupiny závažnosti rizika

Skupina závažnosti (dle RPN)	Hodnota RPN	
	od	do
1. skupina	577	1024
2. skupina	256	576
3. skupina	64	255
4. skupina	1	63
5. skupina	0	0

Zdroj: Autor (2023)

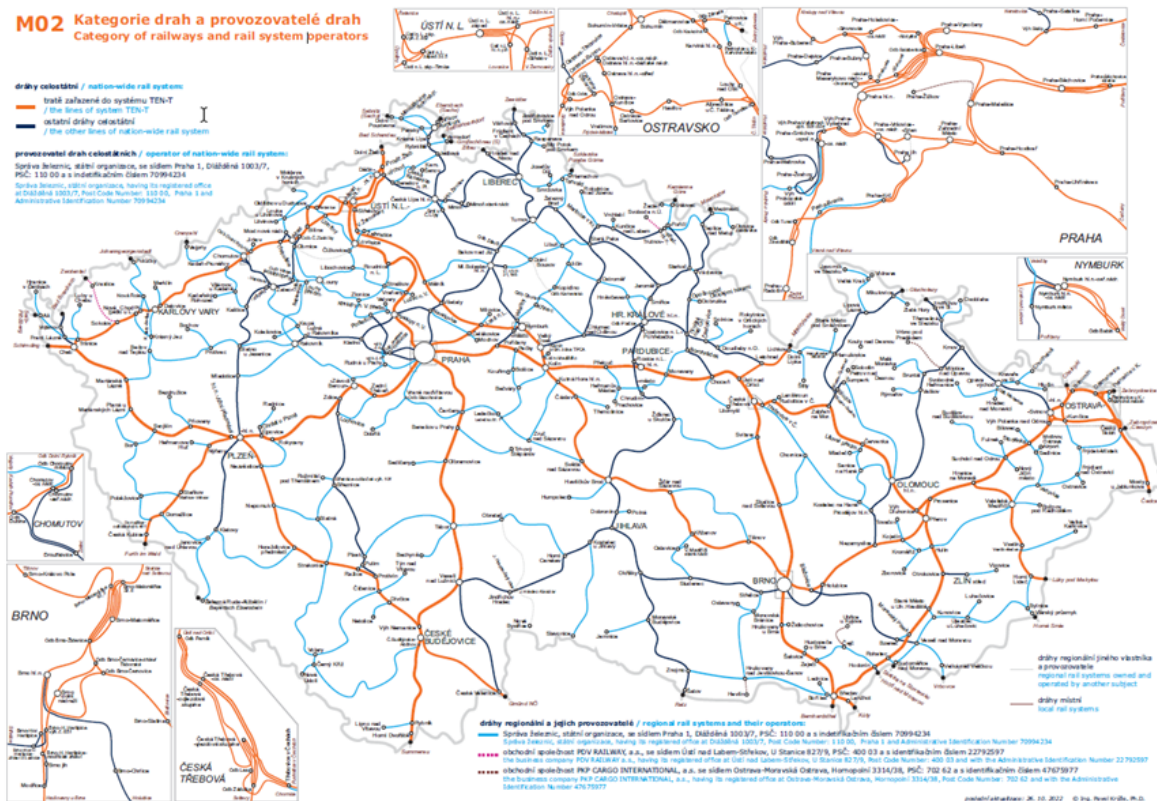
Každý klíčový aktér se prostřednictvím svého nominovaného experta dle možností snaží navrhnout opatření ke snížení vzniku a dopadu identifikovaného rizika spojeného s danou akcí. Je třeba si uvědomit, že klíčoví aktéři mají své odpovědnosti a pravomoci, v rámci nichž mohou navrhnout příslušná opatření. Výsledné opatření pak je průnikem všech navrhovaných opatření jednotlivých klíčových aktérů ve všech oblastech (posuzuje se i například ekonomická smysluplnost). Doporučením je (pokud možno) prioritně snižovat rizika s nejvyššími hodnotami RPN.

3.4 Návrh identifikace jednotlivých úseků vhodných pro nasazení nízkoemisních vozidel

Rozhodnutí o tom, jaké nízkoemisní řešení bude na jednotlivých neelektrizovaných tratích přijato, závisí na souboru strategických opatření pro neelektrizované tratě, na nichž dopravu objednává v současné době Ministerstvo dopravy ČR a je na nich provozována také nákladní doprava. Jedná se o úseky Hradec Králové-Trutnov, Brno-Jihlava, Olomouc-Jeseník, Děčín-Liberec-Hradec Králové, Staré Město u Uherského Hradiště-Luhačovice/Veselí nad Moravou, Praha-Tanvald, Mladá Boleslav-Rumburk-Šluknov, Praha-Rakovník, Plzeň-Most, Beroun-Písek-Protivín, Opava-Krnov-Olomouc a Krnov-Jeseník. Tyto tratě by měly být posouzeny jako první, protože od rozhodnutí o použití nízkoemisních řešení (včetně případné prosté elektrizace) na těchto významnějších tratích se bude odvíjet rozhodnutí o posouzení na návazných regionálních tratích.

Vhodné úseky dalších regionálních tratí, na kterých je účelné uvažovat o nasazení nízkoemisních kolejových vozidel nebo zavedení nízkoemisního provozu, mají některé shodné nebo podobné parametry. Jedná se především o tratě provozované v režimu podle předpisu SŽ D3 (Předpis pro zjednodušené řízení drážní dopravy). Tratě provozované podle předpisu SŽ D3 mají určité charakteristiky jako například, že nejvyšší dovolená rychlost

na trati je 60 km/h v dopravných D3 (pokud není dále omezena například kvůli zabezpečení výhybek). Rychlost na širé trati je 60 km/h, případně 100 km/h (ale pouze v případech, že provoz je řízen zabezpečovacím zařízením, jež umožňuje jízdu vyšší než 60 km/h). Řízení dopravy na těchto tratích zabezpečuje řídicí dispečer (a to v součinnosti s hlášenými strojvedoucími nebo výpravčími). To, že je doprava na trati organizována podle tohoto předpisu je nutné uvést v TTP.



Obrázek 9 Kategorie drah (Správa železnic s. o., 2022)

V mapě na Obrázku 6 jsou modře vyznačeny regionální tratě, na kterých je doprava provozována podle interních předpisů SŽ D3 a SŽ D1 Část první (Dopravní a návěštní předpis pro tratě nevybavené evropským vlakovým zabezpečovačem). Pro tratě provozované podle tohoto předpisu D1 lze v TTP identifikovat určité shodné technické parametry jako například: kratší zábrzdňá vzdálenost 400 nebo 700 m, hmotnost na nápravu je nízká (obvykle méně než 20 t, v některých případech vyšší), traťová rychlost do 80 km/h a složitými sklonovými i směrovými poměry.

Tratí tohoto typu je v České republice velké množství, proto je z každého kraje vybráno několik (ne všechny) vhodných regionálních tratí. Čísla tratí jsou uvedena dle jízdního řádu vydávaného Správou železnic s. o. pro cestující.

K jednoznačnému posouzení vhodnosti trati k nasazení určitého typu nízkoe emisního vozidla, nebo nízkoe emisního provozu (prostá elektrizace) u všech regionálních tratí je vhodné použít navrhovanou metodiku. K zjednodušení výběru je dobré provést seřazení uvedených regionálních tratí do skupin dle priority realizace nízkoe emisního provozu.

Parametry pro zařazení do skupin podle priorit jsou:

- Priorita číslo 1: Provozování tratě podle předpisu D3
- Priorita číslo 2: Provozování tratě podle předpisu D1 Část první
- Priorita číslo 3: Nízká potřeba vybudování doplňkové infrastruktury pro nízkoe emisní vozidla
- Priorita číslo 4: Délka trati v kilometrech (podle garantovaného dojezdu daného druhu vozidla)
- Priorita číslo 5: Velikost a směřování přepravních proudů
- Priorita číslo 6: Možnost změny obslužnosti na dané trati

Dle výše uvedených priorit byly vybrány tři tratě pro každý kraj jako příklad.

Karlovarský kraj-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 146 (Cheb-Tršnice-Luby u Chebu), 149 (Mariánské Lázně-Karlovy Vary dolní nádraží, Krásný Jez-Kounice) a 141 (Karlovy Vary-Merklín).

Plzeňský kraj-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 184 (Domažlice-Planá u Mariánských Lázní), 181 (Nýřany-Heřmanova Huť) a 175 (Rokycany-Nezvěstice).

Ústecký kraj-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 083 (Děčín-Bad Schandau-Dolní Poustevna-Rumburk), 087 (Litoměřice horní nádraží-Česká Lípa) a 113 (Lovosice-Most).

Jihočeský kraj-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 197 (Číčenice-Nové Údolí), 198 (Strakonice-Volary) a 194 (České Budějovice-Černý Kříž).

Středočeský kraj a hl. m. Praha-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 172 (Zadní Třebaň-Lochovice), 012 (Pečky-Bečváry, Bošice-Kouřim), 111 (Kralupy nad Vltavou-Velvary), 223(Benešov u Prahy-Sedlčany), 222 (Benešov u Prahy-Trhový Štěpánov), 210 (Praha-Vrané nad Vltavou-Čerčany, Vrané nad Vltavou-Dobříš) a 014 (Kolín-Ledečko).

Liberecký kraj-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 036 (Liberec-Harrachov), 089 (Liberec-Zittau-Varnsdorf-Seifhennersdorf) a 086 (Liberec-Česká Lípa-Benešov nad Ploučnicí, úsek Žandov-Benešov nad Ploučnicí na území Ústeckého kraje).

Královehradecký kraj-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 047 (Trutnov-Teplice nad Metují), 023 (Doudleby nad Orlicí-Rokytnice v Orlických horách) a 026 (Choceň-Náchod, Opočno pod Orlickými horami-Dobruška).

Pardubický kraj-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 018 (Choceň-Litomyšl), 015 (Přelouč-Heřmanův Městec) a 261 (Svitavy-Žďárec u Skutče).

Kraj Vysočina-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 237 (Havlíčkův Brod-Humpolec), 257 (Křižanov-Studenec) a 256 (Žďár nad Sázavou-Nové Město na Moravě-Tišnov, úsek Věžná-Tišnov leží v Jihomoravském kraji).

Olomoucký kraj-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 307 (Prostějov-Červenka), 309 (Olomouc-Drahanovice) a 292 (Šumperk-Jeseník-Krnov).

Jihomoravský kraj-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 244 (Brno-Hrušovany nad Jevišovkou-Šanov, Moravské Bránice-Ivančice), 246 (Břeclav-Znojmo) a 340 (Brno-Veselí nad Moravou-Uherské Hradiště).

Zlínský kraj-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 280 (z této trati pouze úsek Horní Lideč-Bylnice), 282 (Vsetín-Velké Karlovice) a 341 (Staré Město u Uherského Hradiště-Vlářský průsmyk, Újezdec u Luhačovic-Luhačovice).

Moravskoslezský kraj-pro tento kraj byly vybrány následující tratě, 276 (Suchdol nad Odrou-Budišov nad Budišovkou), 278 (Suchdol nad Odrou-Nový Jičín) a 281 (Valašské Meziříčí-Rožnov pod Radhoštěm).

Tento uvedený výběr není konečným výběrem vhodných tratí pro nasazování nízkoemisních kolejových vozidel dle jednotlivých krajů.

4 ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ

Ve čtvrté kapitole práce je provedena kalkulace nákladů pro porovnání jednotlivých druhů nízkoemisních kolejových vozidel. Kalkulace vychází z odborných odhadů cen vozidel a nákladů na infrastrukturu (prostá elektrizace, výstavba napájecích a plnicích stanic) v současných cenách. Náklady na jednotlivé prvky obvykle užívané v kalkulacích pro železniční dopravu nejsou v současné době vzhledem k neexistenci dat z provozu známy. Položky kalkulace, která je provedena v diplomové práci, jsou vyčísleny pro období vypracování práce. Jejich výše v budoucnu bude značně záviset na době realizace.

4.1 Popis položek kalkulace

Jedná se o návrh kalkulace nákladů pro nasazení kolejových vozidel s nízkoemisním pohonem pro určitou konkrétní trať. Náklady jsou kalkulovány na období jednoho roku. Vybranou konkrétní trať je Litoměřice horní nádraží – Most.

Vytvořený návrh kalkulace slouží jako orientační podklad pro rozhodování o nasazování nízkoemisních kolejových vozidel. Je nutné uvést, že pouze na základě této kalkulace nelze efektivně a správně rozhodnout. Kalkulace musí být vždy doplněna o další podklady a celá věc musí být posouzena komplexně. Je také třeba zmínit, že nasazení a využívání nízkoemisních kolejových vozidel je velmi aktuální téma, které je jak celosvětově, tak především v České republice v naprostém počátku. Vzhledem k tomuto faktu je v následující kalkulaci počítáno s odhady a daty dostupnými od výrobců a manažerů infrastruktury.

První položku kalkulace tvoří náklady na pořízení nízkoemisního kolejového vozidla. Náklady na vozidlo jsou výrazně ovlivněny konfigurací kolejového vozidla (velikostí, respektive kapacitou jednotky). Daná konfigurace je závislá na požadavcích dopravce, který si vozidlo od výrobce objednává. Dopravce dále může být omezen nebo ovlivněn požadavky objednatele dopravy (to se týká například požadavků nebo nutností specifického vybavení vozidla, které může objednatel požadovat, jako třeba nabíječky pro elektrokola nebo jiné požadavky). Každý takový specifický požadavek na příslušenství vozidla samozřejmě ovlivňuje jeho cenu (ač se nejedná o změnu ceny v rádech desítek procent je třeba i tento fakt zohlednit v hodnocení). Dalším aspektem je poté velikost jednotky (záleží z kolika vozidel se má jednotka skládat, jaký je požadavek na počet míst k sezení a další rozměrové parametry jednotky). Náklady na pořízení jednotky jsou závislé na výrobních nákladech dodavatele vozidla a budou se pravděpodobně lišit podle konfigurace vozidla (jedno vozová, nebo více

vozová jednotka). Důležitým faktorem je také potřeba vozidel k zabezpečení dopravy dle současného jízdního řádu. Vzhledem k odlišné technologii dopravy se tento počet může pro jednotlivé druhy pohonu lišit.

Náklady na pořízení kolejového vozidla se promítají do kalkulace formou odpisů. Uvažovaná doba odepisování bude pro všechny porovnávané jednotky (dle druhu pohonů) stejná.

Druhou položku tvoří investiční náklady na infrastrukturu související s provozem daného druhu nízkoemisního vozidla. Obdobně jako u předchozí skupiny se tyto náklady do kalkulace promítají formou odpisů. I tyto investiční náklady jsou výrazně ovlivněny konfigurací zmiňovaných objektů. Například u vodíkové plnicí stanice je stěžejním parametrem její velikost (tedy objem vodíku, který zde lze uložit a rychlost načerpání do vozidla). Velkým, možná i nejdůležitějším problémem je to, že není jednoznačně určeno, kdo tyto infrastrukturní náklady ponese. Je tedy nutné vytvořit novou právní úpravu této oblasti, aby bylo jasné, zda tyto náklady ponese manažer infrastruktury daného úseku, dopravce, nebo stát (ať už prostřednictvím centrálních fondů jako například SFDI, nebo prostřednictvím krajů či obcí).

Třetí položka je tvořena náklady na trakční zdroje. V závislosti na variantě kalkulace se tedy označují jako trakční palivo, popřípadě trakční energie. Tato kategorie obsahuje náklady na spotřebu trakční elektrické energie (u elektrických kolejových vozidel a BEMU jednotek) anebo paliva spotřebovávaná pro provoz železničních kolejových vozidel. Náklady jsou propočítávány dle současných tržních cen jednotlivých komodit, platných pro duben roku 2023.

Další položkou kalkulace označenou číslem 4 jsou náklady za použití železniční dopravní cesty. Tyto náklady jsou vypočítány podle vzorců uvedených v platném Prohlášení o dráze. V této práci jsou uvažovány pro všechny alternativy dle shodného vzorce. V současné době totiž není žádný dostupný podklad, jež by naznačoval, že by měly být tyto náklady vypočítávány pro jednotlivé druhy nízkoemisních kolejových vozidel odlišně.

Další položkou kalkulace by měly být náklady na opravy a údržbu vozidel a souvisejících zařízení. Vzhledem k tomu, že tyto úkony jsou téměř vždy prováděny smluvně, a proto údaje o cenách jednak podléhají obchodnímu tajemství a také nejsou dostupná pro vozidla, která ještě nejsou schválena k provozu, tak tato položka nebyla do kalkulace zařazena.

Další položkou, k níž zatím v současné době není dostatek podkladů k určení, jsou náklady na školení vlakového personálu. Dosud není zřejmé, zda tyto náklady budou přibližně stejné výše jako u současných konvenčních vozidel, či se budou významně lišit.

4.2 Kalkulace nákladů pro elektrizaci (prostou elektrizaci)

V případě elektrizace je nutné v první položce započítat náklady na pořízení elektrických kolejových vozidel. Uvažován je nákup nových vozidel jednotky EMU (bez baterií) 650.2 RegioPanter. Tento typ vozidla byl zvolen z důvodu spravedlivé komparace (především pak se zvolenou jednotkou BEMU). Náklady na pořízení jednoho vozidla jsou 113 milionů Kč. Pro zajištění dopravní obslužnosti dle současného platného jízdního řádu vychází potřeba čtyř vozidel (shodný počet jako potřeba současných dieselových vozidel). Doba odepisování jednotky je určena na 25 let.

První položka kalkulace byla vypočtena tak, že došlo k vynásobení ceny za pořízení jednoho vozidla a počtu potřebných vozidel. Takto získaná hodnota byla vydělena počtem let odepisování. Náklady na první položku byly tedy vyčísleny ve výši 18,08 milionů Kč.

Náklady na potřebnou infrastrukturu, tedy elektrizaci tratě, jsou vyčísleny na 25 milionů Kč za jeden kilometr. Náklady na takzvanou prostou elektrizaci (s níž se v rámci regionálních tratí počítá spíše) jsou vyčísleny na 15 milionů Kč za kilometr. Doba odepisování je určena na 25 let.

Náklady druhé položky byly vypočteny tak, že náklady na kilometr prosté elektrizace byly vynásobeny počtem kilometrů neelektrizované trati. Získaná hodnota byla vydělena počtem let odepisování. Náklady na druhou položku byly vyčísleny ve výši 27,60 milionů Kč.

Trakční energie se skládá z výkonu vozidla při jízdě a z výkonu vozidla při provozu mimo jízdu vlaku (posun ve stanicích, chlazení, topení, osvětlení). Operace mimo jízdu vlaku jsou stanoveny přírůžkou ve výši 10 % ke spotřebě energie při jízdě vlaku (odborným odhadem).

Pro výpočet třetí položky bylo z jízdního řádu pro vybranou trať vypočteno, že vozidla na dané trati jsou v provozu 5246 hodin za rok. Tato hodnota byla vynásobena výkonem jednotky 650.2 (1360 kW), čímž byla získána hodnota spotřeby energie za rok provozu. Tato hodnota poté byla vynásobena cenou elektrické energie za jednu MWh. Po vynásobení cenou elektrické energie hodnota činila 17,67 milionů Kč. Náklady třetí položky byly tedy po přičtení přírůžky 10 % vyčísleny na 19,44 milionů Kč.

Náklady čtvrté položky za použití železniční dopravní cesty jsou vzhledem k tomu, že se jedná o trať ve správě dvou různých manažerů infrastruktury (Správa železnic s. o. a AŽD

Praha s.r.o.) vypočítávají podle vzorců dle platných prohlášení o dráze. Výpočet pro úsek Správy železnic s. o. byl vypočítán dle platného Prohlášení o dráze vydaného Správou železnic s. o., tedy dle vzorce č. 3.

$$C_s = (L * Z_{RP}) + (L * Z_i * M * P_x * k_{ETCS}) \quad (3)$$

kde:

L = délka jízdy subvlaku [km]

Z_{RP} = základní cena za řízení provozu na jednotku dopravního výkonu [Kč/km]

Z_I = základní cena za údržbu a opravy infrastruktury na jednotku dopravního výkonu [Kč/hrtkm]

M = celková hmotnost vlaku [t]

P_x = hodnota produktového faktoru P1 až P5

k_{ETCS} = koeficient vybavenosti vlaku mobilní částí ETCS

Hodnoty pro jednotlivé pevně definované proměnné jsou uvedeny v Prohlášení o dráze Správy železnic v Příloze C (Část C).

Náklady za úsek provozovatele AŽD Praha s.r.o. byl vypočítán dle vzorce z platného Prohlášení o dráze regionální Čížkovice-Obrnice, a to podle vzorce č. 4,5 a 6.

$$C = C_1 + C_2 \quad (4)$$

kde:

C₁ = cena za použití dráhy měřeno ujetými vlakovými kilometry

C₂ = cena za použití dráhy měřeno hrubými vlakovými kilometry

$$C_1 = S_1 * L \quad (5)$$

kde:

S₁ = cena za 1 km jízdy vlaku (vlkm) [Kč]

L = je vzdálenost ujetá vlakem, zaokrouhlená na 1 desetinné místo [km]

$$C_2 = S_2 * Q * L \quad (6)$$

kde:

S₂ = je cena za 1000 převezených hrtkm [Kč]

Q = je jedna tisícina hrubé hmotnosti vlaku v tunách. Uvažuje se celková hmotnost vlaku, tedy hmotnost hnacího vozidla, vlakové soupravy (vozů) a nákladu nebo cestujících. Hmotnost cestujících se vypočítává z celkové kapacity vlaku násobené 80 kg za každé místo k sezení v dané soupravě vlaku

L = je vzdálenost ujetá vlakem, zaokrouhlená na 1 desetinné místo [km]

Hodnoty pro jednotlivé pevně definované proměnné jsou uvedeny v Prohlášení o dráze regionální Čížkovice-Obrnice (v Příloze B).

Celkové náklady čtvrté položky jsou součtem hodnoty ceny za použití železniční dopravní cesty Správy železnic s. o. a ceny za použití železniční dopravní cesty AŽD Praha s.r.o.. Náklady položky byly tedy vyčísleny ve výši 2,62 milionů Kč.

Tabulka 3 Kalkulace nákladů EMU

Číslo položky	Název kalkulační položky	Kč/ rok (položka v mil. Kč)
1	Odpisy nízkoemisních vozidel	18,08
2	Odpisy infrastruktury vztahující se pouze k nízkoemisním vozidlům	27,6
3	Trakční energie	19,44
4	Náklady za použití železniční dopravní cesty	2,62
5	Náklady celkem	67,74

Zdroj: Autor (2023)

Tabulka 3 zobrazuje kalkulační vzorec s celkovými náklady pro tento druh nízkoemisního pohonu. Detailnější postup kalkulace pro EMU je uveden v Příloze B.

4.3 Kalkulace nákladů pro bateriovou jednotku (BEMU)

V případě nasazení bateriové BEMU jednotky jsou náklady vyčísleny pro jednotku BEMU 160 (výrobce Škoda Transportation a.s.). Náklady na pořízení jednoho vozidla jsou 152 milionů Kč. V případě BEMU vozidel vychází pro zajištění dopravní obslužnosti dle současného platného jízdního řádu potřeba šesti vozidel. Doba odepisování jednotky je určena na 25 let.

První položka kalkulace byla vypočtena vynásobením ceny za pořízení jednoho vozidla a počtu potřebných vozidel. Takto získaná hodnota byla vydělena počtem let odepisování. Náklady na první položku byly tedy vyčísleny na 36,48 milionů Kč.

Náklady na potřebnou infrastrukturu, tedy napájecí stanici jsou vyčísleny na 15 milionů Kč. Jednotku je možné dobíjet ve stanicích s trakčním vedením, tedy ve stanici Most, krátce možno dobíjet za pobytu ve stanici Lovosice (7 minut). Vzhledem k současnému jízdnímu řádu a k současnému trakčnímu systému (stejnoseměrný 3kV), který není tak účinný pro dobíjení je třeba počítat s vybudováním dvou dobíjecích stanic. Tyto stanice by měly být situovány ve stanicích Lovosice horní nádraží a Třebívlice. Doba odepisování napájecí stanice je určena na 15 let.

Náklady na druhou položku byly vypočítány tak, že hodnota nákladů na zřízení obou napájecích stanic byla vydělena počtem let odepisování. Náklady druhé položky byly tedy vyčísleny na 2 miliony Kč.

Podobně jako u EMU jednotky, tak také v tomto případě se položka trakční energie vypočítá z výkonu vozidla při jízdě a z výkonu vozidla při provozu mimo jízdu vlaku (posun ve stanicích, chlazení, topení, osvětlení). Operace mimo jízdu vlaku jsou stanoveny přírážkou ve výši 10 % ke spotřebě energie při jízdě vlaku (odborným odhadem).

Počet hodin provozu vozidla za rok je shodný jako při výpočtu v kapitole 4.2 (tedy 5246 hodin za rok). Tato hodnota byla vynásobena výkonem jednotky BEMU (800 kW), čímž byla získána hodnota spotřeby energie za rok provozu. Tato hodnota poté byla vynásobena cenou elektrické energie za jednu MWh. Tato hodnota činila 10,40 milionů Kč. Náklady třetí položky byly tedy po přičtení přírážky 10 % vyčísleny na 11,44 milionů Kč.

Náklady za železniční dopravní cestu jsou kalkulovány shodně jako v podkapitole 4.2. (dle shodných vzorců 3, 4, 5, 6).

Náklady na čtvrtou položku byly tedy vyčísleny na 2,65 milionů Kč.

Tabulka 4 Kalkulace nákladů BEMU

Číslo položky	Název kalkulační položky	Kč/ rok (položka v mil. Kč)
1	Odpisy nízkoemisních vozidel	36,48
2	Odpisy infrastruktury vztahující se pouze k nízkoemisním vozidlům	2
3	Trakční energie	11,44
4	Náklady za použití železniční dopravní cesty	2,65
5	Náklady celkem	52,57

Zdroj: Autor (2023)

Tabulka 4 zobrazuje kalkulační vzorec s celkovými náklady pro tento druh nízkoemisního pohonu. Detailnější postup kalkulace pro BEMU je uveden v Příloze C.

4.4 Kalkulace nákladů pro jednotku s vodíkovým článkem

V případě nasazení vodíkové HEMU jednotky byly náklady vyčísleny pro jednotku Coradia iLint (od výrobce Alstom). Náklady na pořízení jednoho vozidla jsou 161 milionů Kč. Pro zajištění dopravní obslužnosti dle současného platného jízdního řádu je třeba pořídit čtyři jednotky. Doba odepisování jednotky je určena na 25 let.

První položka kalkulace byla vypočtena, nejdříve vynásobením ceny za pořízení jednoho vozidla a počtu potřebných vozidel. Tato získaná hodnota byla vydělena počtem let odepisování. Náklady na první položku byly tedy vyčísleny na 25,76 milionů Kč.

Pro tuto variantu je potřeba vybudovat plnicí stanici. Náklady na pořízení této infrastruktury jsou vyčísleny na 143 milionů Kč. Doba odepisování plnicí stanice je určena na 15 let.

V tomto případě byly náklady druhé položky vypočítány vydělením pořizovacích nákladů na vodíkovou plnicí stanici počtem let odepisování. Náklady této položky byly vyčísleny na 9,53 milionů Kč.

Jako trakční palivo je v tomto případě využito vodík. Postup výpočtu byl pro tuto variantu tedy odlišný. Byla zjištěna hodnota kg vodíku (paliva) a spotřeba vodíku v kg/km. Z jízdního řádu vybrané trati poté byl zjištěn počet ujetých km HEMU jednotkami za rok.

Náklady na třetí položku byly vyčísleny vynásobením ceny vodíku za kg, spotřeby vodíku v kg/km a počtu ujetých kilometrů za rok. Třetí položka obsahuje náklady ve výši 29,22 milionů Kč.

Náklady za železniční dopravní cestu jsou kalkulovány shodně jako v podkapitole 4.2. (dle shodných vzorců 3, 4, 5, 6).

Náklady na čtvrtou položku byly tedy vyčísleny na 2,64 milionů Kč.

Tabulka 5 Kalkulace nákladů HEMU

Číslo položky	Název kalkulační položky	Kč/ rok (položka v mil. Kč)
1	Odpisy nízkoemisních vozidel	25,76
2	Odpisy infrastruktury vztahující se pouze k nízkoemisním vozidlům	9,53
3	Trakční palivo	29,22
4	Náklady za použití železniční dopravní cesty	2,64
5	Náklady celkem	67,15

Zdroj: Autor (2023)

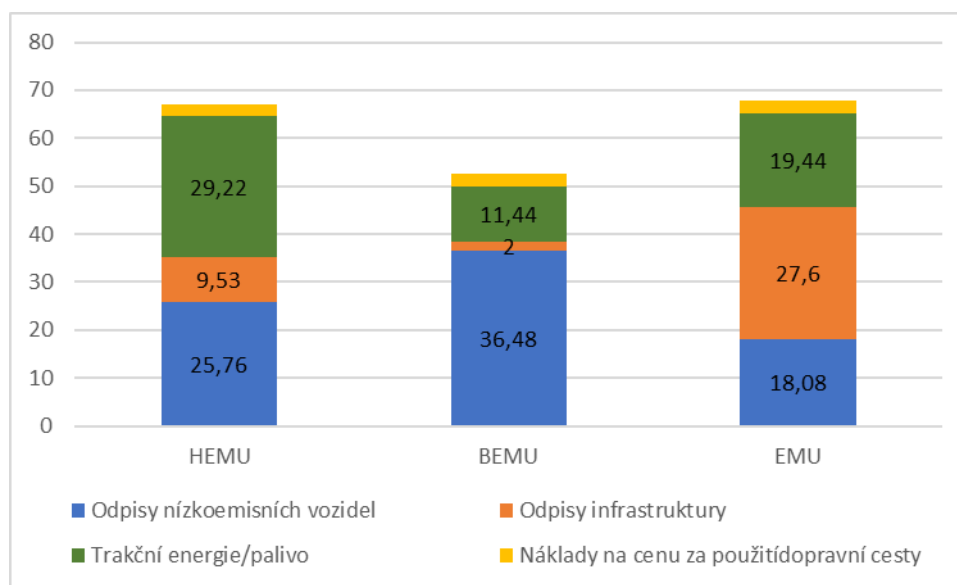
Tabulka 5 zobrazuje kalkulační vzorec s celkovými náklady pro tento druh nízkoemisního pohonu. Detailnější postup kalkulace pro HEMU je uveden v Příloze D.

4.5 Zhodnocení výsledků kalkulace

Z kalkulací provedených v předchozí části práce je patrné, že každá ze tří kalkulovaných možností má své klady i zápory.

Z Obrázku 10 je zřejmé, že každá varianta má poněkud odlišné rozložení výše nákladů v jednotlivých položkách kalkulace.

Například varianta prosté elektrizace a využívání EMU jednotek má ze všech variant nejvyšší náklady na infrastrukturu. Dále má také vyšší spotřebu trakční energie než BEMU jednotka, což je způsobeno především jejím vyšším výkonem. Naopak tato varianta je na tom nejlépe co se týče nákladů na pořízení vozidel.



Obrázek 10 Porovnání variant (Autor, 2023)

Varianta nasazení BEMU má jako největší nevýhodu nutnost nákupu většího množství jednotek k zajištění současného stavu. Náklady na pořízení jednotek jsou tedy ze všech variant nejvyšší. Varianta BEMU vykazuje nejnižší celkové náklady ze všech variant.

Varianta nasazení HEMU jednotek vychází nevýhodně především v oblasti nákladů na trakční palivo. Zde je patrné, že aby byla tato varianta konkurenceschopná co se týče ekonomického hlediska, musí dojít k poměrně razantnímu snížení ceny vodíku (paliva). Za současného stavu je vysoká cena tohoto paliva silně znevýhodňujícím aspektem.

ZÁVĚR

Diplomová práce má za cíl analyzovat současné prostředí železniční dopravy a navrhnout jednoduché, srozumitelné a smysluplné využití nízkoemisních technologií a paliv na železnici tak, aby železniční doprava byla dopravou ještě ekologičtější, udržitelnou a konkurenceschopnou. Diplomová práce rovněž analyzovala současné prostředí železniční dopravy v České republice a jsou v ní připraveny návrhy na srozumitelné a smysluplné postupy, které by pomohly urychlit a zefektivnit zavádění nízkoemisní železniční dopravy všemi aktéry v dopravním procesu co nejrychleji a efektivně.

V první části byly popsány možnosti nasazování nízkoemisních technologií a vozidel na železnici z obecného pohledu. Variant nízkoemisního provozu na železnici je mnoho, proto se práce zaměřila především na v současné době nejvíce propracovaná řešení, a to jak v oblasti kolejových vozidel, tak i infrastruktury. V druhé části práce byla analyzována železniční infrastruktura v České republice, a to především části sítě, na kterých lze uvažovat o zavedení nízkoemisních vozidel. Protože infrastruktura nebyla v minulosti budována jako jednotná železniční síť s jednotnými systémy zabezpečení a jednotnou trakční soustavou, není jednoduché některé technologie zavádět bez významných dopadů do investičních nebo provozních nákladů. Třetí část práce navazuje na analytickou část a navrhuje jakým způsobem posoudit vhodnost použití určitého konkrétního řešení pro danou vybranou část železniční infrastruktury. Ve čtvrté části je práce zaměřena na konkrétní vybranou trať a na posouzení možných variant z ekonomického pohledu. Navrhované výstupy by měly být použitelné jako podklad pro komplexní a podrobnou analýzu, která by měla o finálním návrhu rozhodnout.

POUŽITÁ LITERATURA

AERRL. Association of European Rail Rolling stock Lessors (2023). Webinar about study on alternatives to fossil diesel use in railways [Webinar]. Association of European Rail Rolling stock Lessors . Dostupné z: <https://aerri.eu/wp-content/uploads/2023/05/Webinair.mp4>

ALSTOM. Alstom signs first contract for battery-electric regional trains in Germany | Alstom. About Alstom [online]. Copyright © Alstom [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2020/2/alstom-signs-first-contract-battery-electric-regional-trains-germany>

ALSTOM. Alstom to test its hydrogen fuel cell train in the Netherlands | Alstom. About Alstom [online]. Copyright © Alstom [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2019/10/alstom-test-its-hydrogen-fuel-cell-train-netherlands>

ALSTOM. Alstom's hydrogen train Coradia iLint completes successful tests in the Netherlands | Alstom. About Alstom [online]. Copyright © Alstom [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2020/3/alstoms-hydrogen-train-coradia-ilint-completes-successful-tests>

ALSTOM. Alstom's hydrogen train enters regular passenger service in Austria | Alstom. About Alstom [online]. Copyright © Alstom [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2020/9/alstoms-hydrogen-train-enters-regular-passenger-service-austria>

ALSTOM. Alstom's hydrogen train successfully completes three months of testing in Austria | Alstom. About Alstom [online]. Copyright © Alstom [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2020/12/alstoms-hydrogen-train-successfully-completes-three-months-testing>

ALSTOM. Alstom's Coradia iLint hydrogen train runs for the first time in Sweden | Alstom. About Alstom [online]. Copyright © Alstom [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2021/8/alstoms-coradia-ilint-hydrogen-train-runs-first-time-sweden>

ALSTOM. Coradia iLint: Alstom presents the world's first hydrogen passenger train in Poland | Alstom. About Alstom [online]. Copyright © Alstom [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2021/6/coradia-ilint-alstom-presents-worlds-first-hydrogen-passenger-train>

ALSTOM. Alstom's Coradia iLint hydrogen train runs for the first time in France | Alstom. About Alstom [online]. Copyright © Alstom [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2021/9/alstoms-coradia-ilint-hydrogen-train-runs-first-time-france>

ALSTOM. Coradia iLint Railshow 2022 | Alstom. About Alstom [online]. Copyright © Alstom [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/cs/coradia-ilint-railshow-2022>

ALSTOM. Our commitments towards sustainable mobility. About Alstom [online]. Copyright © Alstom [cit. 25-04-2023]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/commitments>

ALSTOM. World premiere: Alstom's hydrogen trains enter passenger service in Lower Saxony | Alstom. About Alstom [online]. Copyright © Alstom [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2018/9/world-premiere-alstoms-hydrogen-trains-enter-passenger-service-lower>

ELECTRICMOTORNEWS. Successful test of the world's first two hydrogen trains (2020) - YouTube. In: *YouTube* [online]. Copyright © 2023 Google LLC [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=DelKdDMjLLs>

EVROPSKÁ KOMISE. Vodíková strategie pro klimaticky neutrální Evropu [online]. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=GA>

FENDER, Keith, 2022. California orders 29 hydrogen trains for inter-city services- International Railway Journal. Home-International Railway Journal [online]. Copyright © Copyright Simmons [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.railjournal.com/fleet/california-orders-29-hydrogen-trains-for-inter-city-services/>

HLAVATÝ, Miroslav a Jiří BOUDA. *Svět na kolejích*. Praha: Státní nakladatelství dětské knihy, 1964. Oko.

HYTEP. Ve zkratce-Česká vodíková technologická platforma. Domů-Česká vodíková technologická platforma [online]. Copyright © 2023 Česká vodíková technologická platforma [cit. 24-04-2023]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/o-vodiku/ve-zkratce>

IGNAČÁK, Tomáš. Nízkoemisní zítřek-XMU. Odborné setkání železnice Pardubice [online]. Copyright © [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: https://zeleznicpardubice.cz/wp-content/uploads/2023/04/02_02_Ignacak.pdf

MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. Informace o kategorizaci železniční sítě. Ministerstvo dopravy ČR-Domovská stránka [online]. Copyright © 2023 Ministerstvo dopravy ČR [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Informace-o-kategorizaci-zeleznicni-site>

MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. Tranzitní železniční koridory. Ministerstvo dopravy ČR-Domovská stránka [online]. Copyright © 2023 Ministerstvo dopravy ČR [cit. 08.05.2023]. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Tranzitni-zeleznicni-koridory>

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Vodíková strategie ČR [online]. Copyright ©4mwZ [cit. 24-04-2023]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/strategicke-projekty/2021/8/Vodikova-strategie_CZ_G_2021-26-07.pdf

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Vodíková strategie České republiky [online]. Copyright © 4mwZ [cit. 08.05.2023]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/2021/8/Vodikova-strategie_CZ_G_2021-26-07_2.pdf

PYKE, Daniel, 2021. Cracking Hydrogen colour codes [online]. [cit. 24-04-2023]. Dostupné z: <https://rail.ricardo.com/news/opinion-decoding-the-hydrogen-t-rainbow>

RAILVOLUTION. DB Regio Orders FLIRT AKKU [online]. Copyright © Railway Public s.r.o. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.railvolution.net/news/db-regio-orders-flirt-akku>

RAILVOLUTION. First Coradia Continental BEMU Prepared For Testing [online]. Copyright © Railway Public s.r.o. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.railvolution.net/news/first-coradia-continental-bemu-prepared-for-testing>

RAILVOLUTION. FLIRT AKKUs For DB Regio [online]. Copyright © Railway Public s.r.o. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.railvolution.net/news/flirt-akkus-for-db-regio>

RAILVOLUTION. FLIRT Akkus For NAH.SH [online]. Copyright © Railway Public s.r.o. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.railvolution.net/news/flirt-akkus-for-nah-sh>

RAILVOLUTION. FLIRT AKKU Trains At Velim [online]. Copyright © Railway Public s.r.o. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.railvolution.net/news/flirt-akku-trains-at-velim>

RAILVOLUTION. Project For A RegioPanter BEMU [online]. Copyright © Railway Public s.r.o. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.railvolution.net/news/project-for-a-regiopanter-bemu>

RAILWAY TECHNOLOGY. Alstom Coradia iLint Hydrogen-Powered Regional Train. Railway Technology | Rail & Train News & Views Updated Daily [online]. Copyright © Verdict Media Limited 2023 [cit. 25-04-2023]. Dostupné z: <https://www.railway-technology.com/projects/coradia-ilint-regional-train/>

RICARDO. Introducing Hydrogen in Railways [online]. Copyright © Ricardo [cit. 24-04-2023]. Dostupné z: <https://www.ricardo.com/media/3mvk5hq2/introducing-hydrogen-guide.pdf>

SIEMENS. Company development-Global. [online]. Copyright © Siemens 1996-2023 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/global/en/company/about/history/company/1847-1865.html>

SIEMENS. Datenblatt Mireo Plus B Ortenau [online]. Copyright © Siemens [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:dcf4cd2c-bf4e-4f19-a351-63d2ab76d7cc/siemens-mobility-mireo-plus-b-ortenau-en.pdf>

SIEMENS. Deutsche Bahn a Siemens Mobility společně vstupují do éry vodíku-Tiskové centrum SIEMENS. Tiskové centrum SIEMENS-Tiskové zprávy [online]. Copyright © Siemens 1996-2023 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.siemenspress.cz/deutsche-bahn-a-siemens-mobility-spolecne-vstupuji-do-ery-vodiku/>

SIEMENS. East Brandenburg rail network gets 31 battery-electric trains | Press | Company | Siemens. [online]. Copyright © Siemens 1996-2023 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/east-brandenburg-rail-network-gets-31-battery-electric-trains>

SIEMENS. First hydrogen-powered trains for the Berlin-Brandenburg metropolitan region | Press | Company | Siemens. [online]. Copyright © Siemens 1996-2023 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/first-hydrogen-powered-trains-berlin-brandenburg-metropolitan-region>

SIEMENS. Maiden trip: Deutsche Bahn and Siemens test hydrogen train and mobile hydrogen refueling station for the first time | Press | Company | Siemens. [online]. Copyright © Siemens 1996-2023 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/maiden-trip-deutsche-bahn-and-siemens-test-hydrogen-train-and-mobile-hydrogen>

SIEMENS MOBILITY. Hydrogen drive – functionality on trains-Rail stories-Global. [online]. Copyright © Siemens Mobility 2023 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/stories/hydrogen-drive-how-it-works.html>

SIEMENS MOBILITY. H2goesRail – a joint project with DB-References-Global. [online]. Copyright © Siemens Mobility 2023 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/references/h2goesrail.html>

SIEMENS MOBILITY. Inspiro – the metro from Siemens Mobility-Rolling Stock-Global. [online]. Copyright © Siemens Mobility 2023 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/rolling-stock/metros.html>

SIEMENS MOBILITY. Mireo | Commuter and Regional Trains | Siemens Mobility-Commuter and Regional Trains-Global. [online]. Copyright © Siemens Mobility 2023 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/rolling-stock/commuter-and-regional-trains/mireo.html>

SIEMENS MOBILITY. Totally fit for the future – Mireo Plus B-Rail stories-Global. [online]. Copyright © Siemens Mobility 2023 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z:

<https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/stories/totally-fit-for-the-future-mireo-plus-b.html>

SIEMENS MOBILITY. Velaro-High-speed trains & Intercity-Global. [online]. Copyright © Siemens Mobility 2023 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/rolling-stock/high-speed-and-intercity-trains/velaro.html>

SPRÁVA ŽELEZNIC. Jízdní řád-Správa železnic [online]. Copyright © 2023 Správa železnic, státní organizace [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/cestujici/jizdni-rad>

SPRÁVA ŽELEZNIC. Prohlášení o dráze celostátní a drahách regionálních 2023 [online]. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: https://www.spravazeleznice.cz/documents/50004227/142933391/cj163019_Prohl%C3%A1%C5%A1en%C3%AD+2023_CaR_6+zm%C4%Bna_web.pdf/1c9c67e7-cc7e-46de-bfdb-90ab96f2d3ce

SPRÁVA ŽELEZNIC. SŽ SM122-Kategorizace železničních stanic a zastávek dle UIC CODE 180 a jejich bezbariérová přístupnost [online]. Dostupné z: https://www.spravazeleznice.cz/documents/50004227/139626480/S%C5%BD_SM122_sezm1az4_20220415.pdf/cfbe95d9-4ddf-4cae-8088-b6a327158f0d?version=1.0

SPRÁVA ŽELEZNIC. Základní charakteristika železniční sítě - www.spravazeleznice.cz. Správa železnic, státní organizace - www.spravazeleznice.cz [online]. Copyright © 2023 Správa železnic, státní organizace [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/o-nas/vse-o-sprave-zeleznice/zeleznice-cr/zeleznicni-sit-v-cr>

STADLER. About us. *Stadlerrail.com* [online]. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.stadlerrail.com/en/about-us/>

STADLER. Media. *Stadlerrail.com* [online]. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.stadlerrail.com/en/media/article/flirt-h2-sbcta-and-stadler-strengthen-sustainable-rail-transport-in-the-usa/1134/>

STADLER. Media. *Stadlerrail.com* [online]. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.stadlerrail.com/en/media/article/innotrans-2022-world-premieres-from-stadler/1125/>

STADLER. Products /detail-all/smile/24/. *Stadlerrail.com* [online]. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.stadlerrail.com/en/products/detail-all/smile/24/>

STADLER. Products. *Stadlerrail.com* [online]. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.stadlerrail.com/en/products/>

STADLER. Products. /flirt-akku/details/. *Stadlerrail.com* [online]. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.stadlerrail.com/en/flirt-akku/details/>

STADLER. Products. /flirt-h2/details/. *Stadlerrail.com* [online]. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.stadlerrail.com/en/flirt-h2/details/>

SŮRA, Jan, 2023. České dráhy podepsaly smlouvu na nákup prvních bateriových jednotek, kraj je může od nich odkoupit - *Zdopravy.cz*. *Zdopravy.cz* [online]. Copyright © 2023 Avizer Z, s.r.o. [cit. 07-05-2023]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/ceske-drahy-podepsaly-smlouvu-na-nakup-prvnich-bateriovych-jednotek-kraj-je-muze-od-nich-odkoupit-155495/>

SŮRA, Jan, 2023. Siemens má novou zakázku na dvouzdrojové jednotky, jejich vývoj probíhá i v Česku - *Zdopravy.cz*. *Zdopravy.cz* [online]. Copyright © 2017-2023 Avizer Z, s.r.o. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/siemens-ma-novou-zakazku-na-dvouzdrojove-jednotky-jejich-vyvoj-probiha-i-v-cesku-144209/>

SŮRA, Jan, 2023. Škoda finišuje s vývojem prvního českého bateriového vlaku - *Zdopravy.cz*. *Zdopravy.cz* [online]. Copyright © 2017-2023 Avizer Z, s.r.o. [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/skoda-finisuje-s-vyvojem-prvniho-ceskeho-baterioveho-vlak-128102/>

ŠVESTKA, David [b.r.]. Spalovací motory, přenosy výkonu | Atlas Lokomotiv. Atlas Lokomotiv | Lokomotivy, jednotky, motorové vozy [online]. Copyright © David Švestka, Spolek ŽelPage [cit. 24-04-2023]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/page-prenosy.html>

TRAIN ANALYSIS. RE 6 Leipzig Hbf-Bad Lausick-Chemnitz Hbf. Choose Route-Train Analysis [online]. Copyright © [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <http://osmtrainroutes.bplaced.net/index.php?id=5792983&train=BR642>

VDE [online]. Copyright © VDE [cit. 24-04-2023]. Dostupné z: <https://www.vde.com/resource/blob/2068324/a35ebed9833dae59d8cb1451368203bd/vde-study-battery-systems-data.pdf>

194/2010 Sb. Zákon o veřejných službách v přepravě cestujících. Zákony pro lidi-Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2010-194>

266/1994 Sb. Zákon o dráhách. Zákony pro lidi-Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 08-05-2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1	Hustota železniční sítě v jednotlivých krajích	28
Tabulka 2	Skupiny závažnosti rizika	56
Tabulka 3	Kalkulace nákladů EMU	64
Tabulka 4	Kalkulace nákladů BEMU	65
Tabulka 5	Kalkulace nákladů HEMU	66

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Rozdělení vodíku dle způsobů výroby.....	13
Obrázek 2	Podíl zdrojů na výrobě elektrické energie v Evropě.....	15
Obrázek 3	Coradia iLint v železniční stanici Česká Třebová	17
Obrázek 4	Stadler FLIRT H ₂ na veletrhu InnoTrans v Berlíně.....	21
Obrázek 5	Siemens Mireo Plus B.....	24
Obrázek 6	XMU platforma Škoda.....	25
Obrázek 7	Postup konverze trakčních soustav	32
Obrázek 8	Elektrizace železniční sítě v ČR	34
Obrázek 9	Kategorie drah.....	57
Obrázek 10	Porovnání variant	67

SEZNAM ZKRATEK

AC	Alternating current Střídavý proud
AERRL	Association of European Rail Rolling stock Lessors Asociace pronajímatelů hnacích železničních vozidel pro osobní i nákladní dopravu
AGC	Accord Européen sur les grandes lignes internationales des chemin de fer Evropská dohoda o mezinárodních železničních magistrálách
AGTC	European Agreement on Important International Combined Transport Lines and related Installations Dohoda o nejdůležitějších trasách mezinárodní kombinované dopravy a souvisejících objektech
AŽD	Automatizace železniční dopravy Praha s.r.o.
BEMU	Battery Electric Multiple Unit Bateriová elektrická jednotka
ČR	Česká republika
DB	Deutsche Bahn AG Německé dráhy a.s.
DC	Direct current Stejnoseměrný proud
EMU	Electric multiple unit Elektrická jednotka
ERTMS	European Rail Traffic Management System Jednotný evropský systém řízení železniční dopravy
EU	European Union Evropská unie
FCH	Fuel Cell Hydrogen Vodíkový palivový článek
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis Analýza možného výskytu a vlivu vad
HEMU	Hydrogen Electric Multiple Unit Vodíková elektrická jednotka

HVO	Hydrotreated Vegetable Oil Hydrogenovaný rostlinný olej
HYTEP	Česká vodíková technologická platforma
IAD	Individuální automobilová doprava
ICE	Intercity-Express
IT	Informační technologie
IZS	Integrovaný záchranný systém
MD	Ministerstvo dopravy České republiky
MHD	Městská hromadná doprava
NEB	Niederbarnimer Eisenbahn GmbH
NUTS	Nomenclature of Units for Territorial Statistics Nomenklatura územních statistických jednotek
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen Rakouské spolkové dráhy
PRM	Person with Reduced Mobility Osoba s omezenou schopností pohybu a orientace
RNG	Renewable Natural Gas Obnovitelný zemní plyn
RPN	Risk Priority Number Rizikové číslo
SBCTA	San Bernardino County Transportation Authority Dopravní úřad okresu San Bernardino
SFBW	Landesanstalt Schienenfahrzeuge Baden-Württemberg
SFDI	Státní fond dopravní infrastruktury
SRN	Spolková republika Německo
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
SWEG	Südwestdeutsche Landesverkehrs-GmbH
SŽ	Správa železnic s. o.
TEN-T	Trans-European Transport Network Transevropská dopravní síť
TSI	Technical Specifications for Interoperability Technická specifikace pro interoperabilitu

TTP	Tabulky traťových poměrů
UIC	Union Internationale des Chemins de fer Mezinárodní železniční unie
USA	United States of America Spojené státy americké
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V. Svaz pro elektrotechniku, elektroniku a informatiku
VMS	Verkehrsverbund Mittelsachsen
VUZ	Výzkumný Ústav Železniční, a.s.
WC	Water Closet Splachovací záchod
ZVMS	Zweckverband Verkehrsverbund Mittelsachsen

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Ukázka popisů jednotlivých akcí a způsobu hodnocení provedeného experty

Příloha B Ukázka kalkulace nákladů EMU

Příloha C Ukázka kalkulace nákladů BEMU

Příloha D Ukázka kalkulace nákladů HEMU

Příloha A Ukázka popisů jednotlivých akcí a způsobu hodnocení provedeného experty

Skupina rizikových faktorů		Hodnocení expertů															
		1		2		3		4		5		6		7		8	
Typ akce	Popis akce	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D
1. Údržba infrastruktury																	
Výluky plánované	Předem stanovené datum a čas včetně dopravních a dalších opatření(NAD, plánované zpoždění atd.).	3	1	4	1	2	1	2	1	3	1	3	1	2	1	2	1
Výluky neplánované	Nutná údržba nebo oprava, která nastala potřebami nezbytné dopravní činnosti (porucha výhybky, zabezpečovacího zařízení atd.)-předem neodhadnutelné dopady na dobu trvání a dopady do kvality jízdního řádu.	1	3	1	4	2	2	1	3	2	2	3	2	1	1	2	1
Údržba ve vlakových přestávkách	Vymezené časové úseky, kdy v daném období nejedou vlaky, jedná se o krátkodobé údržbové činnosti bez předpokládaných vlivů na dopravu.	1	3	1	3	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2
2. Směrové a sklonové poměry																	
Poloměry oblouků na trati	Omezení rychlosti vlivem poloměrů oblouků, minimální poloměr oblouku, posouzení vlivu povětrnostních podmínek na rozhledové poměry při snížené viditelnosti.	2	3	1	2	3	3	1	3	2	2	1	3	4	3	1	2
Výškový profil tratě a rozhodná stoupání	Popis výškového profilu tratě, klesání a stoupání v promile; posouzení vlivu povětrnostních podmínek na průjezd ve stoupání při snížené adhezi.	3	3	2	2	3	4	2	1	4	4	2	2	3	2	2	2
Typy výhybek ve stanicích	Posouzení vlivu typu výhybky na vjezdovou/odjezdovou rychlost v rámci stanice, vlivy na určení vjezdových kolejí do stanice s dopadem na dodržení kvality jízdního řádu.	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1
Oblouky ve stanicích	Vliv poloměru oblouku na průjezdnost vlakové soupravy u nástupištních hran.	1	3	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2

Zdroj: Autor (2023)

Příloha B Ukázka kalkulace nákladů EMU

EMU				
Položka 1	Cena jednotky (mil. Kč)	Počet	Položka 1 celkem (mil. Kč)	
	113	4	18,08	
	Počet let odepisování	25		
Položka 2	Cena infrastruktury (mil. Kč)	Počet let odepisování	Položka 2 celkem (mil. Kč)	
	690	25	27,60	
Položka 3	Cena energie za 1 Mwh (Kč)	Spotřeba Mw	Počet hodin v provozu za rok	Položka 3 celkem (mil. Kč)
	2477	1,36	5246	19,44
Položka 4				Položka 4 celkem (mil. Kč)
				2,62
	Úsek 1		Úsek 2	
	ΣCs		ΣCs	
	664666,98		1957821,93	
	Počet jízd za rok	5937	Počet jízd za rok	5937
	Správce: SŽ		Správce: AŽD	
	L (km)	15	L (km)	37
	Zrp (Kč/km)	0	S1	5,45
	Zi (Kč/hrtkm)	0,07149	S2	29,85
	M-včetně cestujících (t)	116	Q	0,116
	Px	1	C1	201,65
	KETCS	0,9	C2	128,12
	Počet jízd(zastavení)	5937	Počet jízd	5937

Zdroj: Autor (2023)

Příloha C Ukázka kalkulace nákladů BEMU

BEMU				
Položka 1	Cena jednotky (mil. Kč)	Počet	Položka 1 celkem (mil. Kč)	
	152	6	36,48	
	Počet let odepisování	25		
Položka 2	Cena infrastruktury (mil. Kč)	Počet let odepisování	Položka 2 celkem (mil. Kč)	
	30	15	2,00	
Položka 3	Cena energie za 1 Mwh (Kč)	Spotřeba Mw	Počet hodin v provozu za rok	Položka 3 celkem (mil. Kč)
	2477	0,8	5246	11,44
Položka 4				Položka 4 celkem (mil. Kč)
				2,65
	Úsek 1		Úsek 2	
	ΣCs		C	
	687586,53		1957821,93	
	Počet jízd za rok	5937	Počet jízd za rok	5937
	Správce: SŽ		Správce: AŽD	
	L (km)	15	L (km)	37
	Zrp (Kč/km)	0	S1	5,45
	Zi (Kč/hrtkm)	0,07149	S2	29,85
	M-včetně cestujících (t)	120	Q	0,12
	Px	1	C1	201,65
	kETCS	0,9	C2	132,53
	Počet jízd	5937	Počet jízd	5937

Zdroj: Autor (2023)

Příloha D Ukázka kalkulace nákladů HEMU

	HEMU			
Položka 1	Cena jednotky (mil. Kč)	Počet	Položka 1 celkem (mil. Kč)	
	161	4	25,76	
	Počet let odepisování	25		
Položka 2	Cena infrastruktury (mil. Kč)	Počet let odepisování	Položka 2 celkem (mil. Kč)	
	143	15	9,53	
Položka 3	Cena paliva za kg (Kč)	spotřeba kg na km	počet km/rok	Položka 3 celkem (mil. Kč)
	237	0,25	493100	29,22
Položka 4				Položka 4 celkem (mil. Kč)
				2,64
	Úsek 1		Úsek 2	
	ΣCs		C	
	681856,64		1957821,93	
	Počet jízd za rok	5937	Počet jízd za rok	5937
	Správce: SŽ		Správce: AŽD	
	L (km)	15	L (km)	37
	Zrp (Kč/km)	0	S1	5,45
	Zi (Kč/hrtkm)	0,07149	S2	29,85
	M-včetně cestujících (t)	119	Q	0,119
	Px	1	C1	201,65
	kETCS	0,9	C2	131,43
	Počet jízd	5937	Počet jízd	5937

Zdroj: Autor (2023)