

Vysoká škola logistiky o.p.s.

**Posouzení typologie vozového parku
Českých drah, a.s.**

(Bakalářská práce)

Přerov 2022

Jana Pirklová, DiS.



Vysoká škola
logistiky
o.p.s.

Zadání bakalářské práce

studentka **Jana Pirklová, DiS.**
studijní program LOGISTIKA
obor Logistika v dopravě

Vedoucí Katedry bakalářského studia Vám ve smyslu čl. 22 Studijního a zkušebního řádu Vysoké školy logistiky o.p.s. pro studium v bakalářském studijním programu určuje tuto bakalářskou práci:

Název tématu: **Posouzení typologie vozového parku Českých drah, a.s.**

Cíl práce:

S využitím teorie logistiky železniční dopravy analyzovat možnosti alternativních pohonů drážních vozidel. Navrhnout variantní řešení s ohledem na požadovaná kritéria.

Zásady pro vypracování:

Využijte teoretických východisek oboru logistika. Čerpejte z literatury doporučené vedoucím práce a při zpracování práce postupujte v souladu s pokyny VŠLG a doporučeními vedoucího práce. Části práce využívající neveřejné informace uveďte v samostatné příloze.

Bakalářskou práci zpracujte v těchto bodech:

- Úvod
- 1. Železniční kolejová vozidla a jejich pohony
- 2. Analýza současně vyráběných kolejových vozidel
- 3. Zpracování dopravního modelu
- 4. Vyhodnocení a porovnání provozně-ekonomických nákladů
- Závěr

Rozsah práce: 35 – 50 normostran textu

Seznam odborné literatury:

GAŠPARÍK, J. a J. KOLÁŘ. Železniční doprava. Praha: Grada Publishing, a.s., 2017. ISBN 978-80-271-0058-3.

HROMÁDKO, J. Speciální spalovací motory a alternativní pohony. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. Dopravní politika České republiky pro období 2021 – 2027 s výhledem do roku 2050. Praha: MD ČR, 2021.

NEDELIÁKOVÁ E. a D. HARMANOVÁ. Ekonomika železniční dopravy. Investície v železničnej doprave. Žilina: vydavateľstvo DOLIS s.r.o., 2015. ISBN 978-80-8070-781-1.

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Miloslav Seidl, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce:


31. 10. 2021

Datum odevzdání bakalářské práce:

6. 5. 2022

Přerov 31. 10. 2021


Ing. et Ing. Iveta Dočkalíková, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.
rektor

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a že jsem ji vypracovala samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a že jsem v práci neporušila autorská práva ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Prohlašuji, že jsem byla také seznámena s tím, že se na mou bakalářskou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola logistiky o.p.s. nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro pedagogické, vědecké a prezentační účely školy. Užiji-li svou bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Vysokou školu logistiky o.p.s.

Prohlašuji, že jsem byla poučena o tom, že bakalářská práce je veřejná ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 47b. Taktéž dávám souhlas Vysoké škole logistiky o.p.s. ke zpřístupnění mnou zpracované bakalářské práce v její tištěné i elektronické verzi. Tímto prohlášením souhlasím s případným použitím této práce Vysokou školou logistiky o.p.s. pro pedagogické, vědecké a prezentační účely.

Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze bakalářské práce, elektronická verze na odevzdaném optickém médiu a verze nahraná do informačního systému jsou totožné.

V Přerově, dne 16. 04. 2022

.....

podpis

Poděkování

Největší poděkování patří vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. Ing. Miloslavu Seidlovi, Ph.D. za jeho metodické a odborné vedení, doporučení, připomínky a cenné rady.

Dále bych ráda poděkovala svému manželovi za trpělivost, ochotu a podporu po celou dobu mého studia, a také za rady a zkušenosti z provozu železniční dopravy, které jsem v této práci mohla využít.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá alternativními pohony drážních vozidel v železniční osobní dopravě. Teoretická část sestává z rešerše poznatků z oblasti logistiky železniční dopravy – rozdělení pohonů železničních kolejových vozidel včetně principu jejich fungování a přehled současně vyráběných železničních kolejových vozidel. V praktické části je zpracován dopravní model včetně vyhodnocení a porovnání provozně-ekonomických nákladů.

Klíčová slova

železniční doprava, alternativní pohon, trakce, akumulátor, vodík, regionální doprava

Annotation

This bachelor thesis deals with alternative propulsion of railway vehicles in passenger transport. The theoretical part consists of railway transport logistics research – classification of railway vehicles propulsion including their operating principle and the overview of produced railway vehicles. In the practical part, there is a simulation model for a regional transport which shows the evaluation and comparison of operational-economic costs.

Keywords

railway transport, alternative propulsion, traction, accumulator, hydrogen, regional transport

Obsah

Úvod.....	9
1 Železniční kolejová vozidla a jejich pohony	10
1.1 Železniční doprava v České republice	10
1.1.1 Historie železniční dopravy	10
1.1.2 Současnost	11
1.2 Rozdělení železničních kolejových vozidel	12
1.3 Pohony železničních kolejových vozidel	13
1.3.1 Dieselový pohon	13
1.3.2 Elektrický pohon.....	16
1.3.3 Vodíkový pohon	17
1.3.4 Akumulátorový pohon	17
2 Analýza současně vyráběných kolejových vozidel	19
2.1 Dieselové jednotky dopravce České dráhy a.s.	19
2.2 Elektrické jednotky dopravce České dráhy a.s.	21
2.3 Vodíkové jednotky	23
2.4 Akumulátorové jednotky.....	25
3 Zpracování dopravního modelu.....	29
3.1 Vybraná trať pro dopravní model	29
3.2 Kritéria stanovená smlouvou o veřejných službách.....	31
3.3 Dopravní model pro jednotlivé druhy pohonů	32
3.3.1 Provoz dieselovými jednotkami.....	32
3.3.2 Provoz elektrickými jednotkami.....	34
3.3.3 Provoz vodíkovými jednotkami.....	35
3.3.4 Provoz akumulátorovými jednotkami.....	37
4 Vyhodnocení a porovnání provozně-ekonomických nákladů	40
4.1 Vyhodnocení aktuálního modelu – dieselové jednotky	40

4.2	Vyhodnocení modelu s využitím elektrických jednotek.....	41
4.3	Vyhodnocení modelu s využitím vodíkových jednotek.....	42
4.4	Vyhodnocení modelu s využitím bateriových jednotek.....	42
4.5	Výběr varianty.....	43
	Závěr.....	44
	Seznam zdrojů	
	Seznam obrázků	
	Seznam tabulek	
	Seznam zkratk	
	Samostatná příloha	

Úvod

Pro vypracování této bakalářské práce jsem zvolila téma „Typologie vozového parku Českých drah, a.s. a jejím cílem je s využitím teorie logistiky železniční dopravy analyzovat možnosti alternativních pohonů drážních vozidel a navrhnout variantní řešení s ohledem na požadovaná kritéria. V analytické části se zabývám železničními kolejovými vozidly a jejich pohony, včetně analýzy současně vyráběných druhů vozidel. V praktické části pak možnostmi jejich využití při provozování drážní dopravy na trati v knižním jízdním řádu označené číslem 024. Práci jsem rozdělila do čtyř kapitol doplněných obrázky a tabulkami.

Toto téma jsem si vybrala především proto, že železniční doprava je nedílnou součástí mého soukromého i pracovního života a zajímá mne, jaké možnosti v souvislosti se snížením závislosti dopravy na fosilních palivech při provozování drážní dopravy, tedy jaké možnosti vozidel s alternativními pohony do budoucna máme. Jedním z opatření Dopravní politiky Ministerstva dopravy České republiky (ČR) je koordinovat plány Ministerstva dopravy a Správy železnic na elektrifikaci dalších tratí s plány dopravců na obnovu a rozvoj svého vozového parku. V praxi to znamená již nenakupovat vozidla s dieselovým pohonem, ale investici využít výhradně na pořízení elektrických či bateriových vozidel. S tím souvisí i další opatření – nepřipustit, aby byla na elektrifikovaných tratích objednáвана doprava zajišťovaná vozbou dieselových vozidel. V bakalářské práci jsou tedy návrhy možností, které největší tuzemský dopravce může využít.

1 Železniční kolejová vozidla a jejich pohony

V této kapitole se budu věnovat stručné historii a současnému stavu železniční dopravy v České republice, rozdělení železničních vozidel dle daných hledisek a vysvětlení principu fungování jednotlivých druhů pohonů železničních kolejových vozidel (ŽKV).

1.1 Železniční doprava v České republice

Do této podkapitoly jsem vybrala zásadní události, které ovlivnily vývoj železniční dopravy na našem území a také základní údaje o jejím současném stavu.

1.1.1 Historie železniční dopravy

Železniční doprava v České republice hraje velmi významnou roli a její počátky sahají až do začátku 19. století, konkrétně do září roku 1827. V tomto roce byla uvedena do zkušebního provozu první část koněspřežné železniční trati o rozchodu 1106 mm z rakouského Lince do Českých Budějovic. Ta byla až do roku 1836 využívána pouze pro přepravu zboží a soli, provoz vlaků osobní dopravy započal právě v roce 1836. Jedná se o první železniční dráhu jak na území dnešní ČR, tak v kontinentální Evropě. Druhou koněspřežnou železnicí na našem území byla trať z Prahy přes Kladno do Lán, tzv. „Lánská koněspřežka.“ Obě koněspřežní železniční dráhy byly v 60. a 70. letech 19. století nahrazeny dráhami parostrojními.

V následujících letech došlo k rozvoji parních strojů a s tím spojené výstavby infrastruktury a zázemí. Pro provoz parních lokomotiv bylo nutné vybudovat výtopny sloužící k odstavování lokomotiv, jejich přípravě pro provoz (zbrojení uhlím, vodou a pískem), nebo předtápění. Prvním zprovozněným úsekem byl v červnu 1839 úsek Vídeň – Břeclav s rozchodem kolejí 1435 mm. Oficiálně byl pravidelný parní provoz na české železnici ukončen v roce 1980, ale už na konci dvacátých let 20. století začala technická revoluce vynálezem a rozvojem naftových motorů. Ty jsou lehčí, úspornější a výkonnější. [1]

Poprvé byl provoz motorových vozů u nás zahájen na regionální trati Hodonín – Zaječí v roce 1927. Jednalo se o tzv. kolejové autobusy – motorové vozy,

jejichž konstrukce vycházela z autobusů, ale byly upraveny pro provoz na železnici. Jednalo se o vůz s čtyřválcovým motorem chlazeným vodou vybavený otáčecím zařízením připevněným k rámu vozu tak, aby bylo možno jej pro cestu zpět otočit. Postupně docházelo k stále většímu rozvoji motorové trakce, který zbrzdila 2. světová válka. V poválečném období byl rozvoj zaměřen především na vývoj lokomotiv různých výkonů. [2]

Zároveň byla v roce 1928 dokončena elektrifikace pražského uzlu stejnosměrnou napájecí soustavou 1,5 kV. Mimo to prošly elektrifikací dvě tratě lokálního charakteru: Tábor – Bechyně a Rybník – Lipno nad Vltavou. O přechodu na stejnosměrnou napájecí soustavu s vyšším napětím 3 kV bylo rozhodnuto v roce 1946, kdy byl elektrifikován i hlavní železniční tah Ústí nad Labem – Praha – Ostrava – Žilina – Košice – Čierna nad Tisou, o přechodu na střídavou soustavu 25 kV pak v roce 1959. Dělo se tak především na tratích na Plzeňsku, dále Česká Třebová – Brno nebo Brno – Přerov – Olomouc. Pravidelný provoz elektrické trakce začal na území dnešní ČR v roce 1957. [2, 3]

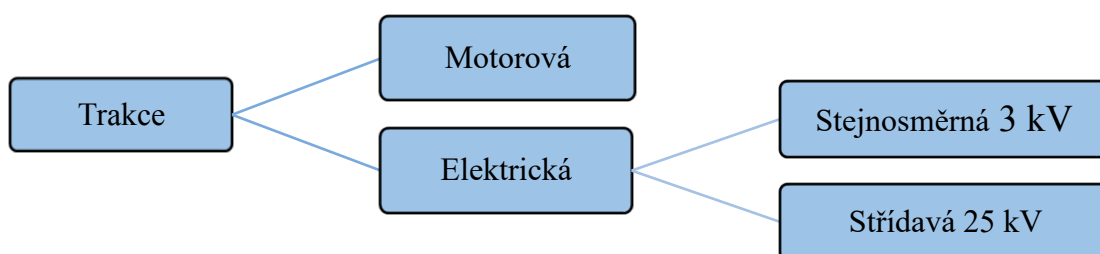
1.1.2 Současnost

V současné době plní funkci vlastníka a provozovatele dráhy celostátní a drah regionálních ve vlastnictví Správa železnic, s. o. Ke dni 31. 12. 2021 činila stavební délka kolejí 15 091 km, provozní délka tratí pak 9 358 km, přičemž délka neelektrifikovaných tratí je 6 142 km a 3 215 km tvoří tratě, které již elektrifikací prošly. [4] V Samostatné příloze je znázorněno rozdělení elektrizovaných tratí, z kterého vyplývá, že severní část republiky je dosud napájena stejnosměrnou soustavou 3 kV (zelená barva), jižní část střídavou soustavou 25 kV (červená barva).

Na konci roku 2016 bylo rozhodnuto o nutnosti sjednocení trakčních napájecích soustav a přechodu na střídavou soustavu. Studie Státního ústavu dopravního projektování (SUDOP) PRAHA, a.s. prokázala, že dosavadní stejnosměrná soustava již nepostačuje vysokým nárokům kladeným na provoz. Sjednocení by mělo mít za následek zvýšení výkonnosti železniční dopravy, zvýšení energetické účinnosti díky snížení ztrát ve vedení, nebo zefektivnění vozby vlaků lepším využitím trakčních vlastností moderních hnacích kolejových vozidel. K přepínání trakčních soustav dochází dle plánu postupně od roku 2019 s plánovaným dokončením v roce 2037. [5]

1.2 Rozdělení železničních kolejových vozidel

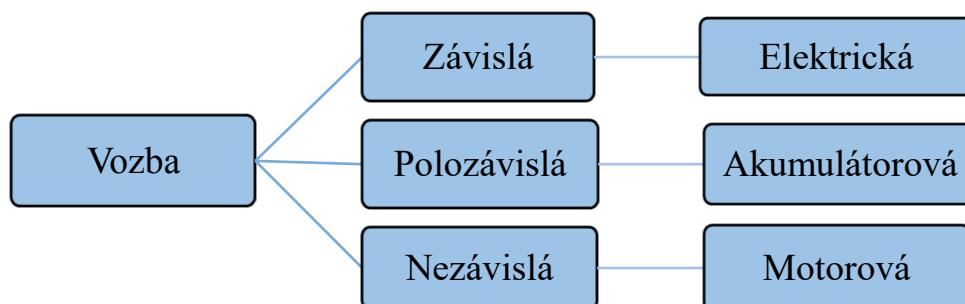
Železniční kolejové vozidlo je dle ČSN 28 0001 definováno jako „*drážní vozidlo při svém pohybu nesené a vedené železniční kolejí*“ [6, s. 3]. Obecně lze ŽKV rozdělit dle různých hledisek, pro účely této bakalářské práce je nejvýznamnější dělení dle trakce. **Trakce** je „*soubor zařízení a činností souvisejících s poháněním hnacího vozidla, formou pohonu, vyvíjením tažné síly nebo dynamickým brzděním*“ [6, s. 3]. Jak je znázorněno na Obr. 1.1, trakci lze rozdělit na motorovou a elektrickou. Dalším typem je trakce parní, ale jelikož dnes již není v běžném provozu využívána, není zahrnuta ani v následujícím rozdělení.



Obr. 1.1 Rozdělení železničních kolejových vozidel dle trakce

Zdroj: vlastní zpracování podle [6]

S pojmem trakce úzce souvisí i další z pojmů – **vozba**, který je definován jako „*řízení pohyb drážního vozidla po železniční dráze*“ [6, s. 4]. Způsob pohybu lze podle přívodu energie rozdělit na závislou vozbu, polozávislou vozbu a nezávislou vozbu, viz Obr. 1.2. Do skupiny vozidel závislé vozby patří elektrická hnací vozidla (HV) a elektrické jednotky s přívodem energie z vnějšího zdroje. Do skupiny vozidel nezávislé vozby patří naopak ta, jejichž primární zdroj energie je přímo na HV. [6]



Obr. 1.2 Rozdělení vozby dle přívodu energie

Zdroj: vlastní zpracování podle [6]

1.3 Pohony železničních kolejových vozidel

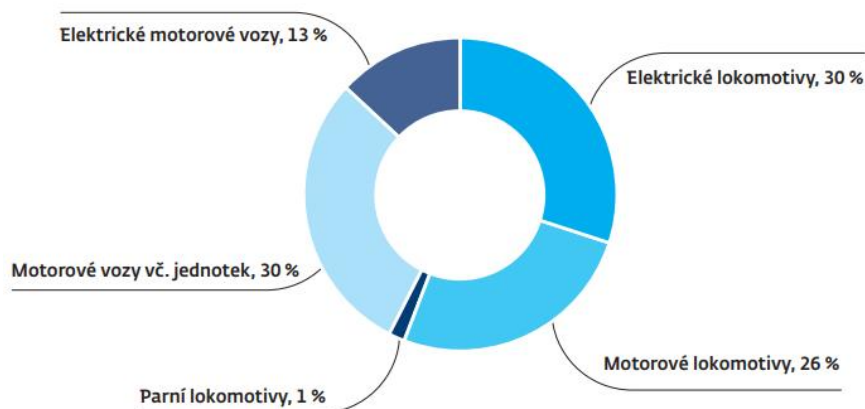
Pohony ŽKV lze rozdělit do dvou kategorií z hlediska toho, jak jsou v provozu běžně využívána – na konvenční a alternativní. Do skupiny konvenčních jsou zařazeny pohony diesellové (DMU) a elektrické (EMU), které jsou v současné době jako jediné na české železnici využívány. Do skupiny alternativních pohonů lze zařadit pohony běžně nevyužívané, ale v současné době již testované. Jde především o hybridní technologie, konkrétně vodíkový pohon (HMU), kombinaci akumulátoru a elektrické trakce (BEMU), atd.

V návaznosti na výzvu Evropské unie (EU) snížit celosvětovou emisi skleníkových plynů je i na železnici patrný celoevropský trend využívání „čisté energie“ vedoucí k postupnému zániku diesellové trakce. Do budoucna, konkrétně do roku 2050, je cílem Dopravní politiky ČR dokončit plánovaný rozsah elektrifikace železničních tratí, urychlit již zmíněnou konverzi trakčního napájení, nebo obnovit vozidlový park právě s ohledem na využití vozidel s alternativními pohony. [7, 8]

1.3.1 Diesellový pohon

Dnes stále hojně využívaná hnací vozidla a jednotky (v zahraničí označované zkratkou DMU), a to nejen na neelektrifikovaných tratích. Princip fungování diesellového motoru ve vlacích je stejný jako u automobilů: spalování paliva probíhá čtyřmi fázemi – 1. **sání** vzduchu přes sací ventil, 2. **komprese** nasátého vzduchu s následným vstříknutím paliva, 3. **expanze** směsi paliva a vzduchu a 4. **výfuk** spalin z pracovního prostoru válce do výfukového potrubí. Dle emisní normy Euro 6 platné od září 2015, jejímž cílem je omezit emise oxidů dusíku (NO_x) vypouštěných do ovzduší, je nutné do vozidel se spalovacím motorem přidávat aditivum – sloučeninu močoviny a demineralizované vody – AdBlue. Díky tomuto aditivu vstříknutému do výfukového systému nastane chemická reakce přeměňující NO_x na neškodný dusík (N) a vodní páru (H_2O) nezátěžující životní prostředí. [9]

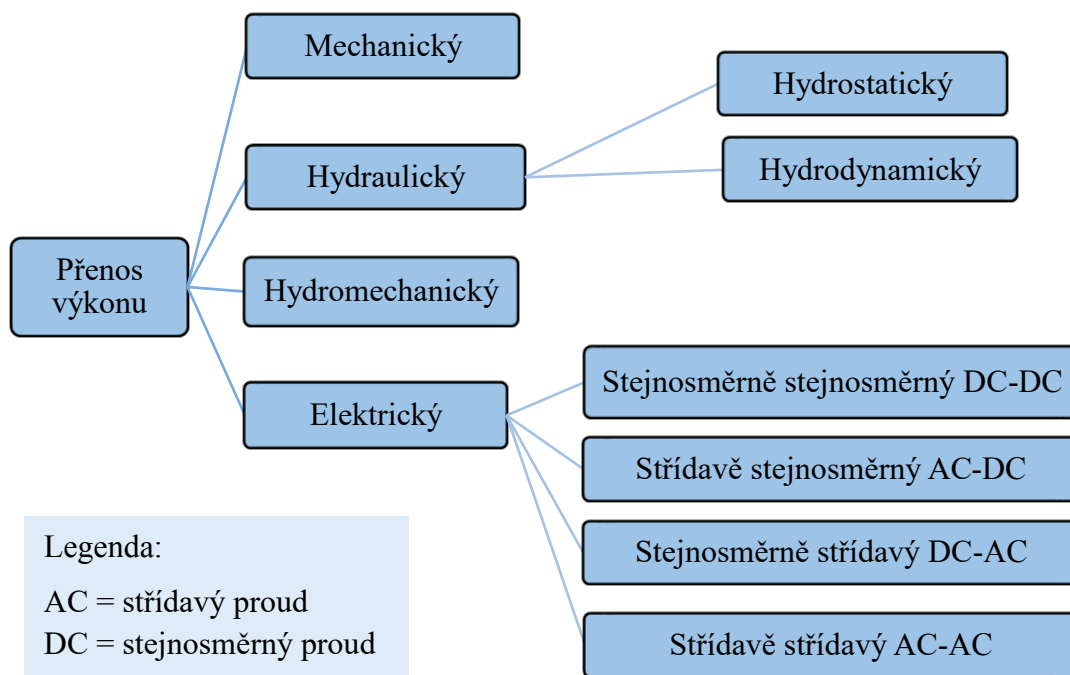
Z grafu na Obr. 1.3 ze Statistické ročenky Skupiny České dráhy za rok 2020 vyplývá, že vozový park ČD tvoří z 56 % motorové lokomotivy a motorové vozy včetně jednotek. [10]



Obr. 1.3 Struktura hnacích vozidel k 31. 12. 2020

Zdroj: [10]

Motorové vozy a jednotky se podle přenosu výkonu (tedy té části trakčního zařízení HV, která umožňuje měnit a rozvádět energii od hlavního spalovacího motoru k hnacím dvojkolím) dělí do několika skupin, viz Obr. 1.4.



Obr. 1.4 Rozdělení přenosu výkonu podle realizace

Zdroj: vlastní zpracování podle [1]

Pro **mechanický přenos** je charakteristická převodová skříň vložená mezi spalovací motor a hnací nápravu, vysoká účinnost až 95 %, nevýhodou pak to, že je vhodný pouze pro HV s malými výkony. Konkrétně byl mechanický přenos výkonu

využit u dnes již historického motorového vozu ř. 801, nebo v malých dvounápravových posunovacích lokomotivách řady 700, 701 a 702.

Hydrostatický přenos výkonu pracuje na principu přeměny tlakové energie kapaliny. Zdrojem energie je hydrogenerátor poháněný hlavním spalovacím motorem, energie se přeměňuje pomocí hydromotoru na energii mechanickou. Výhodou jsou malé rozměry a nízká hmotnost vzhledem k přenášeným výkonům, nevýhodou vysoká náchylnost k poruchám z důvodu častých netěsností. U ČD se tento přenos výkonu na dvojkolí ve vozidlech nepoužívá, používá se pro tzv. pomocné pohony např. ventilátor chlazení a kompresoru.

Hydrodynamický přenos výkonu realizuje přeměnu pohybové energie kapaliny dodávané poháněným čerpadlem hydrodynamického stroje na energii mechanickou v turbíně stroje. U ČD jím byly vybaveny lokomotivy řady 720, 721, 770 a 771.

Hydromechanický přenos výkonu vznikl využitím výhodných vlastností a potlačením nevýhod dvou druhů přenosu výkonu. Při rozjezdu a v oblasti nízkých rychlostí využívá hydrodynamický měnič, potom jej přemostí a další přenos výkonu již probíhá čistě mechanicky, a tedy s mnohem vyšší účinností. Tento princip se u ČD využívá zejména v automatických převodovkách motorových vozů a v malých posunovacích lokomotivách. Konkrétně se jedná o stroje řady 810, 814, 840 841, 842, 844.

K **elektrickému přenosu výkonu** motorové trakce dochází pomocí elektrické energie, která se přivádí do trakčních motorů pohánějících hnací nápravy. Spalovací motor pohání trakční generátor, zdroj elektrické energie pro trakční motory. Jedná se o tzv. nepřímý přenos výkonu. Výhodou je plynulý průběh tažné síly, jednoduché dělení výkonu na žádaný počet náprav a snadná změna směru jízdy. Nevýhodou může být vyšší hmotnost hnacího ústrojí. Jak je zobrazeno výše na Obr. 1.4, podle řešení zdroje elektrické energie poháněného hlavním spalovacím motorem a trakčních motorů rozlišujeme elektrický přenos:

- **stejnoseměrně stejnosměrný DC-DC** (realizovaný pomocí stejnosměrného napětí a proudu dodávaného trakčním dynamem, které napájí stejnosměrné trakční motory),

- **střídavě stejnosměrný AC-DC** (realizovaný pomocí střídavého napětí a proudu z trakčního alternátoru, které se usměrňují v usměrňovačích a napájí stejnosměrné trakční motory),
- **stejnosměrně střídavý DC-AC** (realizovaný pomocí stejnosměrného napětí a proudu dodávaného trakčním dynamem, které se měniči přemění na vícefázové střídavé napětí a proud a napájí střídavé trakční motory, většinou asynchronní),
- **střídavě střídavý AC-AC** (realizován pomocí střídavého napětí a proudu z trakčního alternátoru, které po změně parametrů v měniči napájí střídavé trakční motory). [1]

1.3.2 Elektrický pohon

Elektrický pohon hnacích vozidel je závislý na trvalém přívodu elektrické energie do hnacího vozidla z vnějšího zdroje. Tento druh pohonu funguje na principu přeměny elektrické energie z vnějšího zdroje na energii kinetickou nebo naopak. Vozidla elektrické trakce jsou proto vybavena sběrači, které odebírají elektrický proud z trolejí a přivádí jej do HV. Důležité je rozdělení drážních vozidel dle používané proudové soustavy – stejnosměrná, střídavá nebo vícesystémová. Jednotky elektrické trakce jsou označovány zkratkou EMU = electric multiple unit.

U **stejnosměrné soustavy** je přiváděno napětí do troleje pomocí trakčních zařízení z měníren, které jsou rozmístěné podél trati v cca 20km vzdálenostech. V těchto měnírnách se mění střídavý proud přiváděný z veřejné energetické sítě na stejnosměrný. Výhodou HV stejnosměrné soustavy je jejich jednoduchost a snadná rekuperace, nevýhodou pak nutnost výstavby měníren.

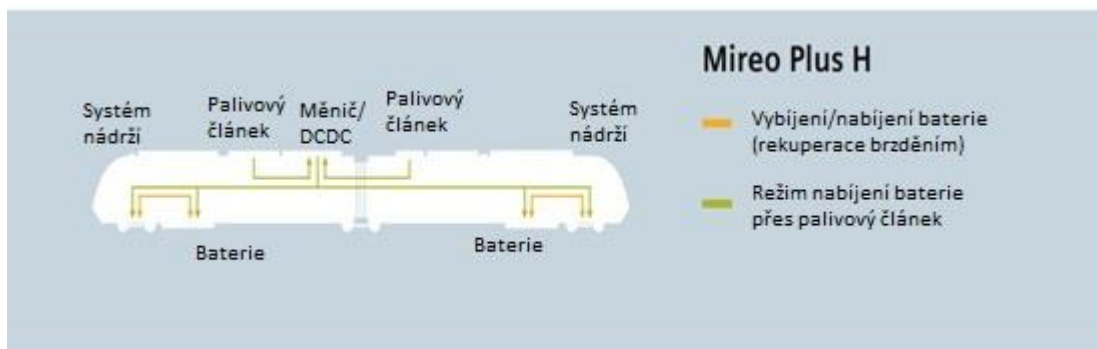
U **střídavé soustavy** je trakční vedení napájeno pomocí transformoven z veřejné energetické sítě. HV jsou ze stejných hlavních konstrukčních celků jako u stejnosměrné soustavy, liší se ale v elektrické části, protože přiváděný proud musí být upravován dle použitých typů trakčních motorů. Nespornou výhodou jsou znatelně menší ztráty než u stejnosměrné soustavy, větší vzdálenost napájecích úseků a z tohoto důvodu snížení počtu napájecích stanic nebo fakt, že není nutná výstavba měníren.

V dnešní době lze využívat také **vícesystémová trakční vozidla**, která lze během jízdy přepnout z jedné proudové soustavy na druhou. U ČD jsou tímto systémem

vybaveny lokomotivy řady 350, 363, 380, ... nebo elektrické jednotky řady 640, 660, 680. [1]

1.3.3 Vodíkový pohon

Vodíkový pohon je zařazen do kategorie alternativních (hybridních) pohonů. Diesellový pohon je zde nahrazen technologií palivových článků, v kterých jsou uloženy tlakové nádoby s plynným vodíkem. V kombinaci s atmosférickým kyslíkem vzniká chemická reakce, jejímž produktem je právě elektrická energie, která pohání trakční elektromotor. Přebytečná energie nebo energie získaná rekuperací je uložena do Lithium-iontových akumulátorů. Vedlejším produktem této chemické reakce je vodní pára nebo voda. Jelikož je tento způsob pohonu zcela bezemisní, umožňuje ekologický provoz s výkonem srovnatelným s pohonem diesellovým. [11] Uspořádání palivových článků a akumulátoru je znázorněno na Obr. 1.5. Výhodou vodíkového pohonu je tedy bezemisní provoz, nízká míra hluku a vibrací a vysoký dojezd bez nutnosti výstavby napájecí infrastruktury. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena vozidel a nutnost distribuce vodíku. Vodíkové jednotky se v zahraničí označují zkratkou HMU, zkratkou anglického označení hydrogen multiple unit.



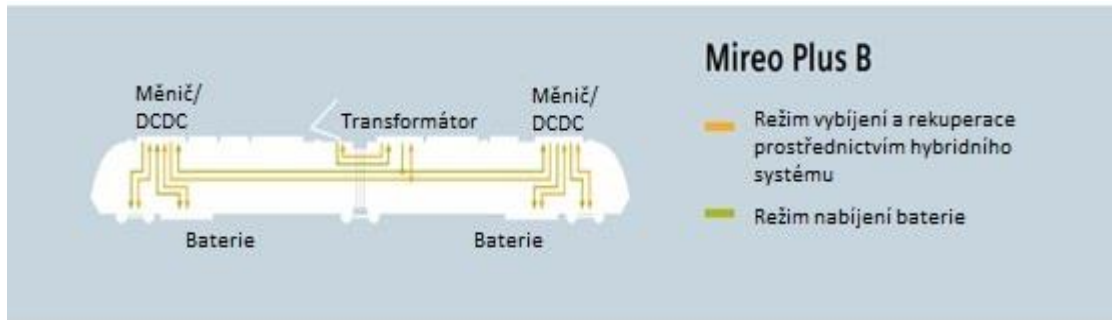
Obr. 1.5 Schéma toku elektrické energie ve vodíkové jednotce

Zdroj: [12]

1.3.4 Akumulátorový pohon

Druhým zástupcem alternativních pohonů je akumulátorový pohon. Jeho použití je výhodné i na částečně elektrifikovaných tratích. Funguje na principu kombinace odebírání energie z trakčního vedení a energie z trakčních baterií. Ve voze jsou umístěny akumulátorové zásobníky – vysoce odolné lithium-iontové (Li-ion) nebo lithium-titanátové (LTO) baterie, do kterých je ukládána jak energie z trolejového vedení, tak

i energie získaná rekuperací, kterou lze následně využít pro provoz na neelektrifikovaném úseku trati. Schéma toku elektrické energie je znázorněno na Obr. 1.6. Nevýhodou je stejně jako u HMU vysoká pořizovací cena a (zatím) nízká kapacita baterií, tudíž i kratší dojezd na jedno nabití. Jednotky s tímto pohonem jsou označovány zkratkou BEMU, battery electric multiple unit.[13]



Obr. 1.6 Schéma toku elektrické energie v akumulátorové jednotce

Zdroj: [12]

2 Analýza současně vyráběných kolejových vozidel

Pro účely této bakalářské práce jsem zvolila přehled současně vyráběných a na regionálních tratích provozovaných jednotek, případně jednotek, jejichž výroba již prochází vývojem, testováním či zkušebním provozem. Kromě základních technických údajů vybraných vozidel shrnutých do tabulek jsem ke každé podkapitole přiložila i fotografie jednotlivých vozidel.

V rámci analýzy jsem oslovila několik výrobců s žádostí o zaslání přehledu jimi vyráběných vozidel, která by odpovídala obsahové náplni této práce. Zajímají mě především tyto údaje: počet míst k sezení, maximální rychlost v km/h, doba plnění nádrže pohonnými hmotami/doba nabíjení akumulátorů v minutách, kilometrový dojezd na jedno vybrojení/nabití a interval mezi provozními ošetřeními (PO). Provozní ošetření je prvním stupněm preventivní údržby, kdy se verifikuje správná funkce rozhodujících celků vozidla.

2.1 Diesellové jednotky dopravce České dráhy a.s.

V současné době disponuje pro regionální dopravu dopravce ČD a.s. diesellovými jednotkami řady 814 tzv. RegioNova ve verzi dvouvozové a třívozové, řady 844 tzv. RegioShark a motorovým vozem 841 tzv. RegioSpider. Technické údaje jsou pro přehlednost uvedeny v Tab. 2.1.

Vozidlem s nejmenší kapacitou míst k sezení je vůz řady 841 následovaný jednotkou řady 814. Tato vozidla jsou využívána především v přepravní dobu s menší frekvencí cestujících, přičemž vůz RegioSpider je modernější, s vyšší maximální dovolenou rychlostí, delším kilometrovým dojezdem a delším intervalem mezi provozními ošetřeními. Cestující však ocení především jeho vybavení klimatizací a některé vozy i instalací Wi-Fi připojení.

Tab. 2.1 Parametry vybraných diesellových vozidel

Typ jednotky	RegioNova dvouvozová (814)	RegioNova třívozová (814)	RegioShark (844)	RegioSpider (841)
Počet míst k sezení	84	135	120	71
Maximální rychlost (km/h)	80	80	120	120
Doba plnění nádrže (min)	20	40	40	20
Kilometrový dojezd (km)	500	nedostupné	nedostupné	800
Interval mezi PO (km)	2 500	2 500	10 000	5 000
Výrobce	Škoda Vagonka	Škoda Vagonka	Pesa	Stadler Rail

Zdroj: vlastní zpracování podle [14, 15]

Na Obr. 2.1 je zachycena dvouvozová motorová jednotka řady 814 s komerčním označením RegioNova.



Obr. 2.1 Motorová jednotka řady 814 RegioNova (dvouvozová)

Zdroj: [16]

Další diesellová jednotkou, která je (nejen) na regionálních tratích využívána, je jednotka řady 844 s komerčním označením RegioShark (Obr. 2.2).



Obr. 2.2 Motorová jednotka řady 844 RegioShark

Zdroj: [17]

Posledním vozidlem, které jsem do tabulkového srovnání vybrala, je na Obr. 2.3 motorový vůz řady 841 s komerčním označením RegioSpider.



Obr. 2.3 Motorový vůz řady 841 RegioSpider

Zdroj: [18]

2.2 Elektrické jednotky dopravce České dráhy a.s.

Co se provozu elektrických jednotek v rámci regionální dopravy týče, České dráhy ve svém vozovém parku disponují jednotkami řady 471 tzv. CityElefant a řady 440/640 RegioPanter. Vybrané parametry jsem opět shrnula do Tab. 2.2.

Tab. 2.2 Parametry vybraných elektrických vozidel

Typ jednotky	CityElefant (471)	RegioPanter (440/640)
Počet míst k sezení	310	135
Maximální rychlost (km/h)	140	160
Interval mezi PO (km)	10 000	25 000
Výrobce	Škoda Transportation	Škoda Transportation

Zdroj: vlastní zpracování podle [14, 15]

Jednotky CityElefant disponují vyšším počtem míst k sezení, a to díky jejich konstrukčnímu uspořádání. Jak je vidět i na obrázku 2.4, jedná se o dvoupatrovou elektrickou jednotku. Naproti tomu jednotky RegioPanter jsou modernější, s vyšší maximální dovolenou rychlostí a delším intervalem mezi PO. Výhodou u řady 640 je i to, že se jedná o dvousystémovou jednotku, tudíž ji lze využít i pod střídavou napěťovou soustavou a má tak větší možnost využití.

„Starším“ zástupcem ze srovnávaných elektrických jednotek je jednotka řady 471 s komerčním označením CityElefant (Obr. 2.4). Jejich provoz na tratích v ČR začal v roce 2000.



Obr. 2.4 Elektrická jednotka řady 471 CityElefant

Zdroj: [19]

Od roku 2012 se začaly na tratích objevovat i jednotky řady 440, 640 a 650 s komerčním názvem RegioPanter. Zástupce řady 440 lze vidět na Obr. 2.5.



Obr. 2.5 Elektrická jednotka řady 440 RegioPanter

Zdroj: [20]

2.3 Vodíkové jednotky

Z nabídky vozidel s alternativním pohonem lze vozový park ČD rozšířit o dva typy vodíkových jednotek – Coradia iLint výrobce Alstom, nebo Mireo Plus H výrobce Siemens Mobility. V případě Coradia iLint se jedná vůbec o první vlak s vodíkovým pohonem na světě. U druhé jednotky Mireo Plus H by měl započít v roce 2024 její zkušební provoz. Technické parametry obou jednotek jsou shrnuty v Tab. 2.3.

Doba plnění nádrže vodíkem se u obou jednotek pohybuje kolem 15 minut, výrobce Alstom ale u jednotky Coradia iLint uvádí vyšší kilometrový dojezd. Schéma způsobu zbrojení vodíkem je znázorněno na obrázku 2.8. Bohužel se mi nepodařilo zjistit, jaké jsou intervaly mezi provozními ošetřeními, zaměstnanci mi sdělili, že se jedná o interní informaci, kterou nemohou komunikovat. Lze se domnívat, že interval se pohybuje cca kolem 25 000 km, jako je tomu u moderních elektrických jednotek.

Tab. 2.3 Parametry vybraných vodíkových jednotek

Typ jednotky	Mireo Plus H	Coradia iLint
Počet míst k sezení	128	150
Maximální rychlost (km/h)	160	140
Doba plnění nádrže (min)	15	15
Kilometrový dojezd (km)	cca 600	cca 1 000
Interval mezi PO (km)	nedostupné	nedostupné
Výrobce	Siemens Mobility	Alstom

Zdroj: vlastní zpracování podle [12, 21]

Vizualizaci vodíkové jednotky výrobce Siemens Mobility lze shlédnout na Obr. 2.6.



Obr. 2.6 Vizualizace vodíkové jednotky Mireo Plus H

Zdroj: [22]

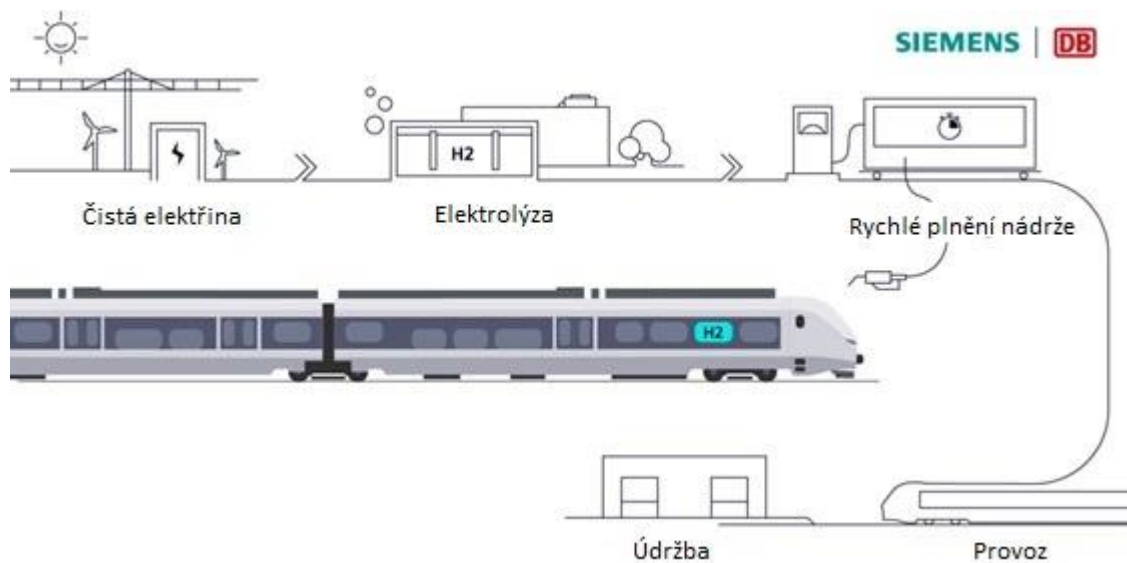
Na obr. 2.7 lze vidět vodíkovou jednotku Alstom Coradia iLint testovanou ve Zkušebním centru Výzkumného Ústavu Železničního (VUZ) ve Velimi.



Obr. 2.7 Vodíková jednotka Coradia iLint

Zdroj: [23]

Obr. 2.8 zobrazuje schéma možnosti zbrojení jednotky vodíkem.



Obr. 2.8 Schéma zbrojení vodíkem

Zdroj: [24]

2.4 Akumulátorové jednotky

Dalšími zástupci alternativního pohonu jsou akumulátorové jednotky. ČD by mohly svůj vozový park rozšířit např. o jednotky Mireo Plus B, Desiro ML Cityjet eco, Talent 3 BEMU nebo FLIRT Akku. Jejich technické parametry (Tab. 2.4) se pohybují ve velmi

podobném rozmezí. Co se kapacity míst k sezení týče, jednotkou s největší kapacitou je Desiro ML Cityjet eco, které ale proti zbylým třem jednotkám disponuje nejnižší maximální dovolenou rychlostí při provozu na baterie. Doba nabíjení se liší od kapacity baterie a způsobu nabíjení. Delší dobu se bude baterie nabíjet z trolejového vedení než z rychlonabíjecích stojanů. Výrobci uvádí, že v případě rychlonabíjení činí doba cca 7-10 minut, nabíjení z trolejového vedení 30–90 minut. Interval mezi PO se mi bohužel ze stejného důvodu jako u vodíkových jednotek nepodařilo zjistit.

Tab. 2.4 Parametry vybraných akumulátorových jednotek

Typ jednotky	Mireo Plus B	Desiro ML Cityjet eco	Talent 3 BEMU	FLIRT Akku
Počet míst k sezení	128	244	169	124
Maximální rychlost (km/h)	140	120	140	140
Doba nabíjení (min)	cca 7-10	cca 7-10	cca 7-10	cca 7-10
Kilometrový dojezd (km)	cca 90	cca 90	40–100	80
Interval mezi PO (km)	nedostupné	nedostupné	nedostupné	nedostupné
Výrobce	Siemens Mobility	Siemens Mobility	Bombardier Transportation	Stadler Rail

Zdroj: vlastní zpracování podle [25, 26, 27, 28]

Na Obr. 2.9 lze vidět akumulátorovou jednotku výrobce Siemens Mobility s označením Mireo Plus B.



Obr. 2.9 Akumulátorová jednotka Mireo Plus B

Zdroj: [29]

Další vybraný zástupce akumulátorových jednotek je zobrazen na Obr. 2.10.



Obr. 2.10 Akumulátorová jednotka Desiro ML Cityjet eco

Zdroj: [30]

Třetí vybranou jednotkou na Obr. 2.11 je Talent 3 BEMU výrobce Bombardier Transportation.



Obr. 2.11 Akumulátorová jednotka Talent 3 BEMU

Zdroj: [31]

Posledním zástupcem ze skupiny akumulátorových vozidel, která jsem vybrala ke srovnání, je jednotka FLIRT Akku výrobce Stadler Rail (Obr. 2.12).



Obr. 2.12 Akumulátorová jednotka FLIRT Akku

Zdroj: [32]

3 Zpracování dopravního modelu

Obsahem této kapitoly je zpracování dopravního modelu, tedy možného scénáře provozování drážní dopravy na vybrané železniční trati s využitím čtyř druhů pohonů drážních vozidel.

3.1 Vybraná trať pro dopravní model

Pro zpracování dopravního modelu jsem zvolila trať č. 024 Ústí nad Orlicí – Štítý. Ačkoliv trať jako taková končí ve stanici Štítý, drážní doprava je provozována pouze v úseku Ústí nad Orlicí – Mlýnický Dvůr. Poslední cca 4km úsek (ze zastávky (zast.) Mlýnický Dvůr, přes zast. Heroltice do stanice Štítý) patří Olomouckému kraji, který zde dopravu neobjednal. Trať je tedy situována v Pardubickém kraji (viz mapa na Obr. 3.1), v úseku Ústí nad Orlicí – Lichkov se jedná o dráhu celostátní, z žst. Lichkov do žst. Štítý pak o dráhu regionální. V žst. Ústí nad Orlicí je zaústěna do trati č. 010, 1. a 3. tranzitního koridoru. Od prosince 2019 je zde na desetileté období provozovatelem drážní dopravy v závazku veřejné služby dopravce Leo Express Tenders, s.r.o. Objednatelem dopravy je Pardubický kraj.

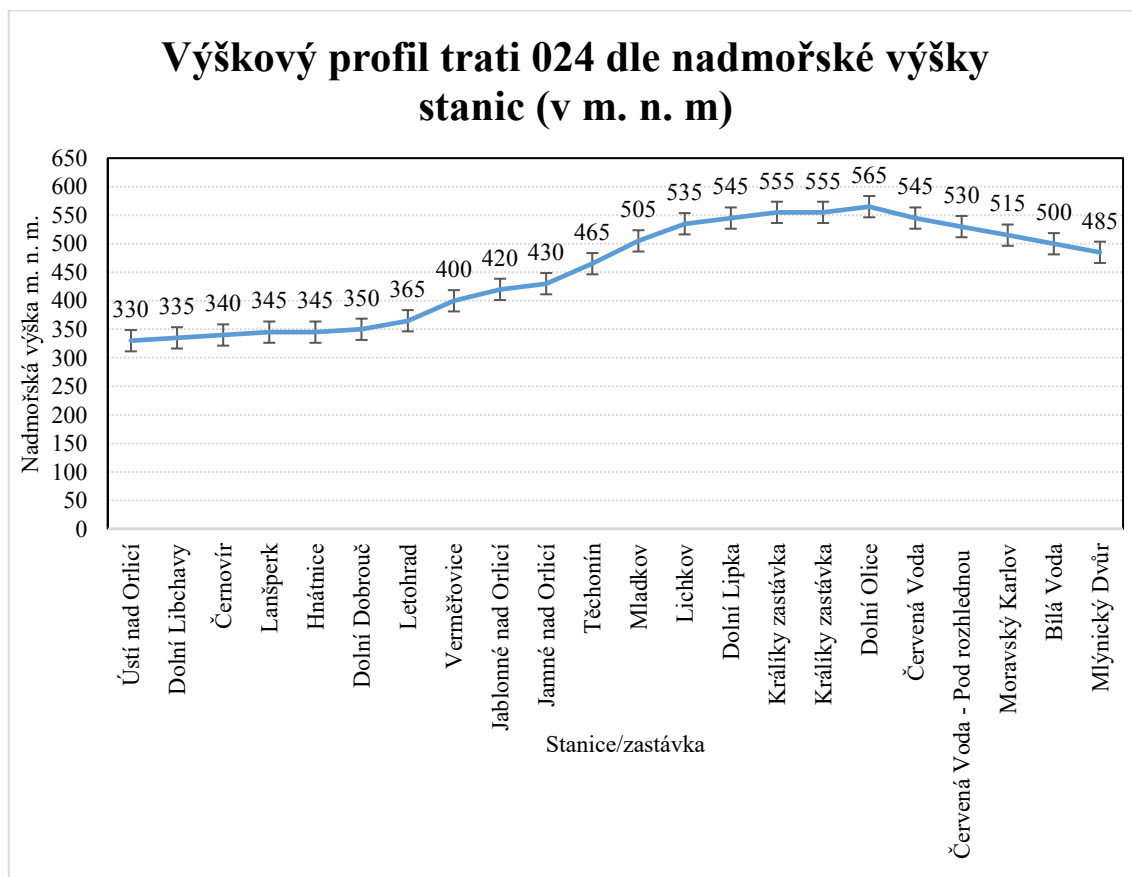


Obr. 3.1 Trať 024 na mapě České republiky

Zdroj: [33]

Začátek této jednokolejné trati je v žst. Ústí nad Orlicí, konec trati v zast. Mlýnický Dvůr. Jedná se o úsek dlouhý 52 km, přičemž na 35km úseku Ústí nad Orlicí – Lichkov je trať elektrifikována stejnosměrnou trakční soustavou 3 kV. Tento úsek trati je dálkově řízen z Centrálního dispečerského pracoviště v Praze. V úseku Dolní Lipka – Mlýnický Dvůr se drážní doprava organizuje a řídí podle předpisu SŽDC D3 – Předpis pro zjednodušené řízení drážní dopravy. Co se sklonových poměrů týče, trať se nachází v podhůří Orlických hor, tedy v kopcovitém terénu, a jak lze vyčíst z Obr. 3.2, překonává převýšení 235 metrů. Nejvyšší traťová rychlost v úseku Ústí nad Orlicí – Letohrad je 100 km/h, Letohrad – Dolní Lipka 90 km/h a Dolní Lipka – Mlýnický Dvůr 50 km/h, přičemž v místě křížení s pozemní komunikací (nechráněné přejezdy) je rychlost snížena na 10 km/h.

Ve stanici Letohrad je možno přestoupit na vlaky pokračující po trati č. 021 vedoucí přes Týniště nad Orlicí do Hradce Králové, ze stanice Lichkov vede odbočka přes hraniční přechod Mezilesí do polské Vratislavi, a ze stanice Dolní Lipka lze pokračovat po trati č. 025 do Hanušovic.



Obr. 3.2 Výškový profil trati 024 dle nadmořské výšky stanic (v m. n. m.)

Zdroj: vlastní zpracování podle [34]

3.2 Kritéria stanovená smlouvou o veřejných službách

Při provozování drážní dopravy v závazku veřejné služby je nutné vzít v úvahu požadavky objednatele, tedy kraje, na kvalitu služeb, technické vybavení vozidel a další, které vychází ze Smlouvy o veřejných službách v přepravě cestujících a k zajištění dopravní obslužnosti kraje veřejnou drážní osobní dopravou. V navrhovaných dopravních modelech pro jednotlivé druhy pohonů musí být, kromě schválení pro provoz na této trati, zajištěna tato kritéria:

- maximální rychlost vozidel nezávislé trakce musí být alespoň 120 km/h a vozidel elektrické trakce alespoň 160 km/h,
- každý vlak musí být schopen úvratě v době max. 4 minut pobytu ve stanici,
- na vozidla musí být možné dodatečně instalovat vlakovou část jednotného evropského zabezpečovače ETCS,
- ve vnitřních prostorech musí být zajištěna teplota alespoň 18 °C (měřeno minimálně 10 m od nástupního prostoru),
- vozidla musí být bezbariérově přístupná, případně vybavená mechanickou rampou k usnadnění nástupu/výstupu vozíčkářů,
- vozidla musí mít centrálně uzavírané dveře s krátkou dobou otevírání a zavírání,
- vozidla musí umožnit režim „zastávky na znamení“ a být pro tento účel vybavena příslušnými tlačítky v každém nástupním/výstupním prostoru,
- ve vozidle musí být možno přepravit alespoň 2 kočárky, a to v nízkopodlažní části,
- ve vozidle musí být možné přepravovat jízdní kola/lyže/snowboard, přičemž kapacita ve vozidlech motorové trakce odpovídá minimálně 10 % počtu míst k sezení a ve vozidlech elektrické trakce minimálně 12 jízdních kol,
- na šířku vozové skříňe mohou být umístěna maximálně 4 místa k sezení s polstrovanou celoplošnou opěrkou zad, případně hlavy, a to jednotné barvy,
- vozidlo musí disponovat alespoň jedním bezbariérovým WC s tekoucí vodou a vybavené hygienickými prostředky,
- vozidlo musí být vybaveno zásuvkami 230 V na drobnou elektroniku a Wi-Fi připojením k internetu,

- vozidlo musí být vybaveno vnitřním informačním systémem mj. z LCD panelů zobrazujících číslo spoje, cílovou stanici, následující a nácestné stanice, čas a případnou výši zpoždění,
- na vnější straně vozidla musí být v čele a na bocích umístěny elektronické směrové tabule,
- vnitřní vybavení vozidla nevykazuje známky poškození, opotřebení, znečištění graffiti atd.
- skříň vozu nevykazuje známky poškození, opotřebení, rzi, vyboulení atd.

V případě porušení, respektive nedodržení požadovaných kritérií je kraj oprávněn dopravci uložit peněžitou sankci, v případě hrubého porušení lze v krajním případě i vypovědět smlouvu. [35]

3.3 Dopravní model pro jednotlivé druhy pohonů

Smyslem této podkapitoly je návrh variantního řešení provozu vlaků osobní dopravy na vybrané trati s využitím vozidel na dieselový pohon, elektrický pohon, vodíkový pohon a bateriový pohon a s ohledem na kritéria zmíněná v přechozí podkapitole. Pro období platnosti grafikonu vlakové dopravy (GVD) 2021/2022 na trati 024 činí krajem objednaný dopravní výkon 617 841,3 vlakokilometrů (vlkm), interval mezi vlakovými spoji je cca 60 minut, přičemž příjezd/odjezd do/z žst. Ústí nad Orlicí je organizován tak, aby byly zajištěny přípoje jak ve směru na Prahu, tak na Českou Třebovou. Dle požadavku kraje musí první ranní spoj začínat v žst. Králíky a poslední noční spoj končit tamtéž.

3.3.1 Provoz dieselovými jednotkami

Jak jsem již zmínila v podkapitole 3.1, v současné době je provozovatelem drážní dopravy na této trati společnost Leo Express Tenders, s.r.o., která zde zajišťuje přepravu cestujících pěti dieselovými jednotkami řady 846 výrobce Alstom Coradia Lint 41, viz Obr. 3.3, přičemž jedna jednotka je pouze záložní. Pořizovací náklady nové jednotky činí cca 101 milionů Kč. Tato jednotka je schopna dosáhnout maximální rychlosti 120 km a disponuje 126 místy k sezení. Dále je vybavena dvěma spalovacími motory, každý o výkonu 315 kW a dvěma palivovými nádržemi, každá o objemu 800 litrů. Průměrná spotřeba je 100 litrů na 100 km. Zbrojení naftou, vodou a vyprazdňování vakuového WC

probíhá na vlečce ČD v Letohradu, kam České dráhy na základě uzavřené smlouvy poskytují přístup. Cena za poskytování nafty je vyhlášena a zveřejněna pro každý měsíc na webových stránkách, pro duben 2022 činí cena nafty 35,46 Kč/l bez DPH. [36] Z toho vyplývá, že jedna jednotka je na jedno vyzbrojení schopna ujet cca 1 500 km. V zimním období, kdy je vyšší spotřeba nafty kvůli vytápění atp., je dojezd o cca 20 % menší. Zbrojení dle propočtu vychází cca 1x za 3 dny.



Obr. 3.3 Motorová jednotka řady 846 (Lint41)

Zdroj: [37]

Výpočty jsem pro přehlednost shrnula do Tab. 3.1

Tab. 3.1 Přehled nákladů při provozu diesellových jednotek

Investiční náklady	
Náklady na pořízení vozidla	101 milionů Kč/ks
Provozní náklady	
Náklady na energie	35,46 Kč/km
Náklady na údržbu	22 Kč/km

Zdroj: vlastní zpracování podle [36]

3.3.2 Provoz elektrickými jednotkami

Vhodnou elektrickou jednotkou splňující daná kritéria pro provoz na trati 024 by mohla být dvouvozová jednotka dopravce ČD řady 650 s komerčním označením RegioPanter. Investiční náklady na pořízení této jednotky se pohybují kolem 117 milionů Kč za kus. Maximální rychlost je 160 km/h, výkon 1 360 kW a disponuje 140 místy k sezení.

Jak jsem uvedla již v podkapitole 3.1, trať je elektrifikována pouze v úseku Ústí nad Orlicí – Lichkov. V rámci tohoto dopravního modelu by tedy byla nutná celková rekonstrukce infrastruktury v úseku Lichkov – Mlýnický Dvůr (17 km), respektive Lichkov – Štítý (21,3 km). Ta by zahrnovala kompletní nahrazení železničního svršku a spodku novými prvky, úpravu nástupišť a jejich osvětlení, zabezpečení přejezdů, výstavbu trolejového vedení, zabezpečovacího zařízení a v případě stejnosměrné soustavy i výstavbu trakční měnirny, nebo u střídavé soustavy výstavbu trakční transformovny. Rekonstrukce by kromě možnosti provozu elektrických jednotek přinesla další výhody – zvýšení bezpečnosti provozu díky zrušení trati D3 a přechodu na dálkové řízení, zvýšení traťové rychlosti ze současných 50 km/h a tím zkrácení jízdních dob vlaků, zvýšení propustnosti trati vč. nákladní dopravy, zrušení nechráněných přejezdů a větší konkurenceschopnost vůči silniční dopravě (soukromým cestám autem). Výpočty jsou zahrnuty do Tab. 3.2.

Tab. 3.2 Přehled nákladů při provozu elektrických jednotek

Investiční náklady	
Náklady na pořízení vozidla	117 milionů Kč/ks
Provozní náklady	
Náklady na energie	20,4 Kč/km
Náklady na údržbu	17 Kč/km
Náklady na infrastrukturu	
Modernizace vč. elektrifikace traťového úseku	50 milionů Kč/km
Výstavba měnirny/trafostanice	20 milionů Kč/ks
Údržba trakčního vedení	200 000 Kč/km/rok

Zdroj: vlastní zpracování podle [38]

3.3.3 Provoz vodíkovými jednotkami

Pro dopravní model využívající vodíkových jednotek jsem zvolila jednotku Alstom Coradia iLint, která má dva trakční motory, každý o výkonu 314 kW a na střeše vozu palivové články a dvě vodíkové nádrže, každou o kapacitě 94 kg vodíku, najednou lze tedy jednotku naplnit cca 188 kg vodíku. Dojezdová vzdálenost je cca 1 000 km, spotřeba vodíku je tedy cca 0,18 kg/km. Cena vodíku se na trhu pohybuje v přepočtu okolo 200 Kč/kg. Investiční náklady na pořízení jedné jednotky činí v přepočtu cca 152 milionů Kč. V provozu na trati 024 bych využila stejně tak jako v dieselové trakci 4 jednotky, každou s průměrným denním proběhem cca 423,2 km (+ jednu záložní). Zbrojení tedy vychází zhruba na každý druhý den. Náklady na údržbu vodíkových jednotek se obecně udávají jako o cca 10 % nižší než u dieselových jednotek.

S plněním palivové nádrže vodíkem se váže také nutnost vybudování vodíkové infrastruktury. Jednou z uvažovaných možností je vybudování vodíkové čerpací stanice situované do depa v Letohradu a výroba vlastního paliva. Za příznivých povětrnostních podmínek (v tomto případě sluneční svit) lze vyrobit vodík díky elektrolýze s využitím elektrické energie z obnovitelných zdrojů – v mém modelu z fotovoltaických panelů. Vodík vyprodukovaný touto cestou je označován jako „zelený vodík“ a je nejšetrnější k životnímu prostředí. V opačném případě je nutné využít elektrinu ze sítě, pak už se ale nejedná o „čistou energii.“ Menší tankovací stanice vybavená zařízením pro výrobu zeleného vodíku, jako je např. na Obr. 3.4, dokáže vyrobit až 360 kg vodíku každý den, což by pro účely tohoto modelu postačovalo. Náklady na vybudování se liší od její kapacity a pohybují se kolem 25 milionů Kč. V ČR jsou nyní v provozu dvě neveřejné vodíkové čerpací stanice pro automobily/autobusy – jedna v Neratovicích, druhá v Řeži u Prahy. V letošním roce by mělo dojít k vybudování dalších stanic určených pro veřejnost, a to v Praze, Litvínově a v Brně. Kapacitně největší vodíková čerpací stanice na 1 600 kg vodíku byla vybudována v Německu, kde je využívána pro účely železniční dopravy. [39, 40]



Obr. 3.4 Čerpací stanice se zařízením pro výrobu zeleného vodíku

Zdroj: [40]

Druhou možností získání vodíku je jeho nákup a přeprava přímo od výrobce technických plynů. V ČR působí v této oblasti společnost Linde, která je schopna ve svých speciálně navržených cisternách s aktivním chlazením (viz Obr. 3.5) přepravit až 5 tun zkapalněného vodíku. Ten se následně s použitím technologie kryogenního čerpadla přemění zpět na stačený vodík v plynné formě pro potřeby čerpání. [41] V případě výstavby čerpací stanice s kapacitou 1 600 kg vodíku by bylo nutné zajišťovat dodávky vodíku každé 4 dny, což se jeví jako nešetrné a zároveň méně šetrné k životnímu prostředí. Řešením by mohla být výstavba čerpací stanice s větší kapacitou pro skladování vodíku, čímž by se zamezilo poměrně častým dodávkám.



Obr. 3.5 Cisternový vůz pro přepravu kapalného vodíku

Zdroj: [41]

Vypočtené náklady na provoz vodíkové jednotky jsou uvedeny v Tab. 3.3.

Tab. 3.3 Přehled nákladů při provozu vodíkových jednotek

Investiční náklady	
Náklady na pořízení vozidla	152 milionů Kč/ks
Provozní náklady	
Náklady na energie	36 Kč/km
Náklady na údržbu	19,8 Kč/km
Náklady na infrastrukturu	
Výstavba čerpací stanice	25 milionů Kč/ks

Zdroj: vlastní zpracování podle [41]

3.3.4 Provoz akumulátorovými jednotkami

Pro provozování drážní dopravy na trati 024 by bylo možné využít i akumulátorové jednotky, např. Stadler Flirt Akku s dvěma trakčními motory, každý o výkonu 500 kW

a na střeše vozu dvěma akumulátory. Investiční náklady na pořízení této jednotky se pohybují cca kolem 170 milionů Kč, přičemž po 15 letech by byla nutná výměna akumulátorů. Stejně tak jako v předchozích modelech bych využila 4 jednotky do provozu a 1 v záloze. Výše nákladů na energie a údržbu je shodná s elektrickými jednotkami, protože v úseku Ústí nad Orlicí – Lichkov jednotka spotřebovává energii z trakčního vedení a na neelektrifikovaném úseku Lichkov – Mlýnický Dvůr z trakční baterie, kterou je ale nutné posléze zase z trakčního vedení dobít.

V úseku Ústí nad Orlicí – Lichkov lze využít napájení z trakčního vedení, z žst. Lichkov by pak bylo nutné pokračovat na bateriový pohon. Jednalo by se o 17 km, resp. 34 km při cestě Lichkov – Mlýnický Dvůr a zpět. Dojezdová vzdálenost na akumulátorový pohon je u této jednotky cca 80 km, tudíž by po cestě neměl nastat problém s vybitím baterie, a to ani za nepříznivých povětrnostních podmínek (teploty pod 0 °C). Při zpáteční cestě Lichkov – Ústí nad Orlicí a při 20minutovém pobytu v žst. Ústí nad Orlicí by mělo dojít díky rekuperaci a napájení z trakčního vedení k nabití akumulátorů.

Kombinace provozu využívající pro pohon jednotky elektřinu z trakčního vedení a baterie nevyžaduje výstavbu žádné další infrastruktury za předpokladu, že přes noc budou vozidla aktivně odstavena v žst. Lichkov, kde budou napájena z trakčního vedení pro dobíjení baterie či předtápění v zimních měsících. V tomto případě pak bude nutné přemístit vozidla jako soupravový vlak (Sv) ráno do žst. Králíky a večer do žst. Lichkov, a to z důvodu požadavku kraje, aby výchozí a konečné vlaky byly z/do žst. Králíky.

Druhou možností je pořízení nabíjecí stanice do žst. Králíky a nabíjení připojením k této stanici. Na výběr je od malých napájecích stanic, které lze umístit jak do vnitřních, tak venkovních prostor, až po velké venkovní dobíjecí stanice. Cena se pohybuje kolem 300 000 Kč a odvíjí se od kapacity. Zajímavou alternativou těchto napájecích stanic je rychlodobíjecí stanice Voltap (Obr. 3.6), za jejíž konstrukcí stojí švýcarská firma zabývající se výrobou trolejového vedení Furrer+Frey a energetická společnost Stadtwerke Tübingen. Jedná se o bezzásuvkové nabíjení baterií pomocí sběrače na jednotce, trolejového vedení umístěného na ramenu instalovaného stožáru a trafostanice. V roce 2021 proběhlo úspěšné testování této stanice v Německu a v současnosti společnost čeká na všechna potřebná povolení k další výstavbě a rozšíření do běžného provozu. [42]



Obr. 3.6 Rychlonabíjecí stanice Voltap

Zdroj: [42]

Jednotkové náklady pro provoz BEMU jednotek jsou shrnuty v Tabulce 3.4.

Tab. 3.4 Přehled nákladů při provozu bateriových jednotek

Investiční náklady	
Náklady na pořízení vozidla	Cca 170 milionů Kč/ks
Provozní náklady	
Náklady na energie	20,4 Kč/km
Náklady na údržbu	17 Kč/km
Náklady na infrastrukturu	
Výstavba napájecí stanice	2 miliony Kč/ks

Zdroj: vlastní zpracování

4 Vyhodnocení a porovnání provozně-ekonomických nákladů

Pro vyhodnocení a porovnání jednotlivých variant jsem shrnula zjištěná či spočtená data do následující tabulky (Tab. 4.1). Částka za elektrifikaci traťového úseku je stanovena za 21,3 km, tedy za celý úsek Lichkov – Štítý včetně výstavby trakční měnirny či transformovny. Náklady vynaložené na elektrifikaci do zastávky Mlýnický Dvůr by sice byly nižší, nicméně z hlediska budoucího využití trati by pak dle mého názoru došlo k definitivnímu zániku provozování drážní dopravy do žst. Štítý a možnému propojení dvou krajů – Pardubického a Olomouckého – tak, jako tomu bylo dříve.

Tab. 4.1 Shrnutí nákladů všech čtyř variant

Investiční náklady	DMU	EMU	HMU	BEMU
Náklady na pořízení vozidla (v mil. Kč)	101	117	152	170
Provozní náklady				
Náklady na energie (v Kč/km)	35,46	20,4	36	20,4
Náklady na údržbu (v Kč/km)	22	17	19,8	17
Náklady na infrastrukturu				
Výstavba čerpací stanice (v mil. Kč)	není nutná	není nutná	25	2
Elektrifikace traťového úseku (v mld. Kč)	není nutná	1,085	není nutná	není nutná

Zdroj: vlastní zpracování

4.1 Vyhodnocení aktuálního modelu – dieselové jednotky

Výhodou současného modelu, kdy se pro provoz využívají dieselové jednotky, jsou nízké náklady na pořízení dieselových jednotek a dostupnost paliva téměř všude. V nouzových případech tak lze palivo doplnit např. dolitím do nádrže z kanystru. Výhodou je také fakt, že se jedná o nezávislou vozbu, tudíž v případě poruch trakčního

vedení, výpadků elektriny atp. se toto omezení v provozu nijak zdatelně nepromítne. Tento model také nevyžaduje žádnou dodatečnou výstavbu infrastruktury. Co se oprav a údržby týče, jelikož se jedná o vozidla s konvenčním pohonem, která jsou na české železnici již dlouho provozována, lze tak poměrně dobře definovat možné závady, jejich příčiny a provést následnou opravu.

Zásadní nevýhodou, kvůli které je důležité se o možnosti alternativních pohonů (nejen) drážních vozidel zajímat, je nešetrnost k životnímu prostředí, tedy vysoká produkce oxidu uhličitého (CO₂) a s tím spojený závazek do roku 2050 přejít na bezemisní dopravu. Další nevýhodou jsou zvyšující se náklady na energie. V současné době se do ceny paliva promítá i politická situace, konkrétně válka na Ukrajině. Zároveň jsou při provozu dieselových jednotek nejvyšší náklady na jejich údržbu a opravy. Obecně známý je také fakt, že dieselové motory dosahují největších ztrát na přenosu výkonu, dosahují energetické účinnosti kolem 30 %.

4.2 Vyhodnocení modelu s využitím elektrických jednotek

Z hlediska ochrany životního prostředí by provozování drážní dopravy na trati 024 výhradně elektrickými jednotkami znamenalo nulové místní emise, nízkou uhlíkovou stopu, a tedy ekologičtější provoz. Modernizace a elektrifikace úseku Lichkov – Štítý by znamenala zrychlení provozu zkrácením jízdních dob vlaků, zvýšení bezpečnosti provozu a větší komfort při přepravě cestujících. Proti ostatním jednotkám jsou zde i nižší provozní náklady, a to jak na energie, tak i údržbu, což je dáno nejen tím, že oproti dieselovému pohonu jsou zde menší ztráty energie při přenosu výkonu, tedy vyšší energetická účinnost (až 90 %). Další výhodou je možnost rekuperace brzděné energie, která by v těchto traťových podmínkách mohla být efektivně využita.

Mezi největší nevýhody patří vysoké investiční náklady na výstavbu infrastruktury, v tomto případě přesahující 1 miliardu Kč a poměrně dlouhá doba, kterou si výstavba vyžádá. S modernizací/elektrifikací trati se pojí nutnost provedení různých studií manažera infrastruktury (Správy železnic, s. o.), schvalovací řízení a při samotné stavbě nutnost výluk a omezení provozu. Nevýhodou je také fakt, že se jedná o závislou trakci, tudíž při nepříznivých povětrnostních podmínkách (pád stromu na trakční vedení, námraza trolejového vedení, ...), mimořádných událostech týkajících se stržené troleje, či různých výpadcích elektrické energie je provoz přerušen.

4.3 Vyhodnocení modelu s využitím vodíkových jednotek

Ekologičtější provoz na neelektrifikovaných tratích lze zajistit např. při využití technologie palivových článků. V současné době přibývá objednávek dopravců, kteří se rozhodli do těchto jednotek investovat. Investiční náklady na pořízení vodíkových jednotek vyšší, než náklady na pořízení elektrické jednotky, stejně tak jako náklady na energie, pokud bude vodík dovážěn od externích dodavatelů. Nicméně do budoucna (cca do roku 2027) se předpokládá, že by cena vodíku mohla klesnout pod úroveň ceny nafty, nebo se jí vyrovnat. V případě, vlastní výroby tzv. „zeleného vodíku“ za pomoci elektrolýzy a obnovitelných zdrojů energie, budou náklady na energie (palivo) nižší. Oproti diesellovým motorům jsou zde i nižší náklady na údržbu. Jelikož se jedná o nezávislou trakci, odpadá zde nutnost výstavby infrastruktury, konkrétně trakčního vedení. Jedinou nutnou investicí by bylo vybudování čerpací stanice a pořízení fotovoltaických panelů. Cestující by pak mohli ocenit tichý provoz a větší komfort přepravy než u diesellových jednotek.

Nevýhodou je již zmiňovaná vysoká cena paliva, která ale pravděpodobně do budoucna klesne. Negativem mohou být také vysoké nároky na přepravu a skladování vodíku a vysoká pořizovací cena vozidel. Bohužel, v současné době je většina zásob vodíku vyráběna především z neobnovitelných zdrojů energie, což ale neodpovídá myšlence ekologického provozu.

4.4 Vyhodnocení modelu s využitím bateriových jednotek

Bateriové jednotky přinášejí de facto stejné výhody jako jednotky elektrické trakce, tedy nulové místní emise a nízkou uhlíkovou stopu. Jelikož se jedná o kombinaci závislé a nezávislé vozby, v případě mimořádné události zamezující využití energii z trakčního vedení lze pro pohon využít baterie, tudíž by nebylo nutné úplné zastavení provozu. Výhodou je možnost rekuperace do baterií a nabíjení brzděním při traťovém klesání, čehož by bylo možné využít především v úseku ze zast. Dolní Orlice do zast. Mlýnický Dvůr a při zpáteční cestě z žst. Lichkov až do žst. Ústí nad Orlicí.

Negativně je vnímána potřeba likvidace baterií, jejich životnost a s tím související náklady na pořízení nových baterií. Udává se, že výdrž baterie dosahuje cca 15 let a investiční náklady na pořízení nových baterií se pohybují kolem 15 milionů.

U některých typů vozidel může být negativem i poměrně velká hmotnost baterií. Bateriové jednotky jsou z porovnávaných variant nejdražší, ale co se provozních nákladů na energie a na údržbu týče, jsou srovnatelné s elektrickými jednotkami. Na rozdíl od elektrických jednotek ale odpadá nutnost nákladné investice do výstavby infrastruktury (elektrifikace). Pro případ nabíjení v žst. Králíky je nutné vybudovat nabíjecí stanici, jejíž cena se odvíjí od kapacity a lze ji pořídit od 300 000 Kč po např. 2 000 000 Kč v případě rychlonabíjecí stanice Voltap. S přihlédnutím k provozu elektrických vozů v silniční dopravě vyvstává otázka, jak by se postupovalo v případě mimořádné události (např. požáru) bateriové jednotky, zda by bylo nutné ji nějakým způsobem „zakonzervovat“ do kontejneru s vodou stejně jako elektrické osobní automobily, nebo zda by tato situace měla jiné řešení.

4.5 Výběr varianty

Každá z variant má svá pro a proti a pro každou se najdou její zastánci i odpůrci. Ačkoliv mi nejvíce imponuje model provozování drážní dopravy s využitím vodíkových jednotek, pro tento úsek trati by se svým dojezdem postačily akumulátorové jednotky. Dle mého názoru je nejlepší variantou elektrifikace traťového úseku Lichkov – Štítý a při té příležitosti současně elektrifikace trati 021 ve směru na Hradec Králové z žst. Letohrad do žst. Týniště nad Orlicí. Došlo by tím ke zkapacitnění a propojení tří krajů a naskytly by se tak nové možnosti nejen v osobní dopravě, ale také při přepravě nákladů. Pokud by Správa železnic ve spolupráci s Ministerstvem dopravy dospěla k rozhodnutí, že není výhodné a není nezbytné tuto trať elektrifikovat, přikláním se k variantě provozu BEMU jednotek, které přináší stejné výhody jako EMU jednotky. Vzhledem k současnému stavu trati by ve všech případech bylo vhodné do alespoň částečné modernizace investovat.

Závěr

V bakalářské práci jsem se zabývala typologií vozového parku dopravce České dráhy a jeho možnostmi pro budoucí využití vozidel s alternativními pohony. Cílem práce bylo s využitím teorie logistiky železniční dopravy analyzovat možnosti alternativních pohonů drážních vozidel a navrhnout variantní řešení s ohledem na požadovaná kritéria. Cíl práce se mi podařilo splnit: v prvních dvou kapitolách se věnuji analýze možností, která nám vozidla s nekonvenčním pohonem přináší, další dvě kapitoly jsou pak věnovány variantám možného uplatnění v provozu na trati 024.

Pro vypracování jsem využila jak zdroje tuzemské, tak i zahraniční, kde jsou vozidla s alternativními pohony testována, či dokonce v běžném provozu již využívána. Nejzajímavější variantou je podle mého názoru vodíkový pohon a věřím, že tato technologie má do budoucna jistě velký potenciál. V současné době je dopravce nakloněn spíše variantě využití BEMU jednotek, o čemž vypovídá i projekt výroby prototypu jednotky Škoda RegioPanter hybrid, který využívá provozně ověřená řešení a komponenty jednotky řady 640/650 RegioPanter a na střeše je doplněn akumulátory. Tato upravená jednotka měla být představena již na konci roku 2019, ale v souvislosti s epidemiologickou situací jak v ČR, tak ve světě došlo ke zpoždění a na její uvedení do testovacího provozu se stále čeká.

Tato bakalářská práce pro mě byla velkým přínosem, rozšířila jsem si obzory o nové poznatky z oblasti železniční dopravy v České republice i sousedních státech a těším se na dobu, kdy při svých cestách budu moci využít jeden z alternativních druhů pohonů drážních vozidel.

Seznam zdrojů

- [1] GAŠPARÍK, J. a J. KOLÁŘ. *Železniční doprava*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2017. ISBN 978-80-271-0058-3
- [2] Běh času. *České dráhy*. [online]. © 2018. [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.cd.cz/100-let-spolu/beh-casu/default.htm>
- [3] SCHRÖTTER, J. a B. FULTNER. *Svět lokomotiv*. Brno: CPress, 2014. ISBN 978-80-264-0562-7
- [4] Základní charakteristika železniční sítě. *Správa železnic*. [online]. © 2022. [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/o-nas/vse-o-sprave-zeleznice/zeleznice-cr/zeleznici-sit-v-cr>
- [5] Koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu na české železniční síti. *Ministerstvo dopravy ČR*. [online]. 20.01.2017. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Koncepce-prechodu-na-jednotnou-napajeci-soustavu-n>
- [6] ČSN 28 0001. *Kolejová vozidla železniční – Základní termíny a definice*. Praha: Český normalizační institut, 1996, 56 s. Třídící znak 280001.
- [7] EVROPSKÁ KOMISE. *BÍLÁ KNIHA Plán jednotného evropského dopravního prostoru – vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje*. Brusel: 2011. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=CS>
- [8] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. *Dopravní politika České republiky pro období 2021–2027 s výhledem do roku 2050*. Praha: MD ČR, 2021. Dostupné také z: <https://www.mdcz.cz/Dokumenty/Strategie/Dopravni-politika-CR-pro-obdobi-2014-2020-s-vyhled>
- [9] Emisní norma Euro 6. *GreenChem*. [online]. 02. 10. 2017. [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: <https://cs.greenchem-adblue.com/emisni-norma-euro-6-cz/>
- [10] Statistická ročenka Skupiny České dráhy. *České dráhy* [online]. © 2020. [cit. 2022-02-14]. Dostupné z http://www.ceskedrahy.cz/assets/pro-investory/financni-zpravy/statisticka-rocenka/statisticka-rocenka_2020_cz_2.pdf.
- [11] SLONEK, Petr. V Polsku dali zelenou prvnímu vodíkovému vlaku. In: *Železničář*. Praha: České dráhy, a.s., 2021, **28**, 8, 27. ISSN 0322-8002.
- [12] Mireo Plus H, Mireo Plus B: Hybrid multiple units. *Siemens Mobility*. [online]. © 2022. [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:4c3fe5f8-a500-44d9-ad0c-7f3fe792c71f/mors-b10040-00dbmireoplusplattformenus-72.pdf>
- [13] ÖBB a Siemens vyvíjejí regionální elektrickou jednotku s přídatným akumulátorem. *Siemens Česká republika*. [online]. 12.9.2018 [cit. 2022-02-16].

- Dostupné z: <https://www.siemenspress.cz/obb-a-siemens-vyvijeji-regionalni-elektrickou-jednotku-s-pridavnym-akumulatorem/>
- [14] ČD V 25 Organizace udržování železničních kolejových vozidel. České dráhy, 2020. Interní předpis.
- [15] Naše vlaky. České dráhy. [online]. © 2016. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.cd.cz/nase-vlaky/default.htm>
- [16] HANZLÍK, L. 814.020-4. In: *Zelpage.cz* [online]. 22. 03. 2014 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/fotogalerie/big/814041.jpg>
- [17] WEBER, R. 844.001. In: *Zelpage.cz* [online]. 23. 05. 2012 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/fotogalerie/big/844000.jpg>
- [18] RegioSpider. In: *cd.cz* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://www.cd.cz/assets/nase-vlaky/regionalni-vlaky-cd/RegioSpider/3-ext-regiospider_5.jpg
- [19] COUFAL, L. 471.022-4. In: *Zelpage.cz* [online]. 23. 09. 2006 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/fotogalerie/big/471083.jpg>
- [20] SKUTIL, J. 440.012-3. In: *atlaslokomotiv.cz* [online]. 25. 03. 2016 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/katalog/440/440%20012-3.jpg>
- [21] Coradia iLint – the world's 1st hydrogen powered train. *Alstom*. [online]. © 2022. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/solutions/rolling-stock/coradia-ilintm-worlds-1st-hydrogen-powered-train>
- [22] Mireo Plus H. In: *Siemens Mobility* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:91fa47e1-c579-4908-ae04-6bbcbe1bfc13/width:1266/quality:high/mireo-plus-h.png>
- [23] KOLMAČKA, R. Jednotka Alstom iLint na vodíkový pohon. In: *osobní archiv autora*. 10. 04. 2017 [cit. 2022-03-11].
- [24] Mireo Plus H. In: *Mobility.Siemens.com* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:8bbf7d4b-d24a-47ec-91f0-6595bf737bb4/width:1125/quality:high/joint-funding-project-h2goesrail-by-db-ag-and-siemens-mobility-g.jpg>
- [25] Mireo: The train that intelligently combines it all. *Siemens Mobility* [online]. 2019. [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:e2d7325dbd19ff1178c9da3d507fec27b8e66aba/mireo-brochure-en.pdf>
- [26] Desiro ML ÖBB Cityjet eco for ÖBB Personenverkehr AG. *Siemens Mobility*. [online]. © 1996–2022 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:558069b0-26dc-47ae-a03b-228f968f19fd/siemens-mobility-desiro-ml-oebb-cityjet-eco-en.pdf>

- [27] Bombardier Talent 3 Battery Train. *Railway Technology*. [online]. 25. 02. 2020. [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.railway-technology.com/projects/bombardier-talent-3-battery-train/>
- [28] Stadler finds the first buyer for its new FLIRT Akku trains. *Railvolution*. [online]. 02. 08. 2021. [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.railvolution.net/news/flirt-akku-research-project-completed>
- [29] The new Mireo train for the Rhine Valley. In: *Siemens Mobility*. [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:c2b59d96-22f1-46cf-a52c-8bc5b8abb94f/width:1024/quality:HIGH/c2b59d96-22f1-46cf-a52c-8bc5b8abb94f-high.webp>
- [30] ÖBB a Siemens vyvíjejí regionální elektrickou jednotku s přídatným akumulátorem. In: *Siemens press.cz* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://www.siemenspress.cz/userfiles/thumbs/f/8095-0809215931_1920x620_ttt_90.webp
- [31] Bombardier Talent 3. In: *Bombardier*. [online]. 25. 02. 2020 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z <https://www.railway-technology.com/wp-content/uploads/sites/13/2020/02/Image-1-Bombardier-TALENT-3-Battery-Train.jpg>
- [32] Stadler Flirt Akku batterie zug. In: *electrive.com*. [online]. 21. 06. 2019 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z <https://www.electrive.com/wp-content/uploads/2019/06/stadler-flirt-akku-batterie-zug-battery-train-min.png>
- [33] Trať 024. *Mapy.cz*. [online]. © 2022. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.5674988&y=50.0390283&z=11&source=base&id=2332757&ds=1>
- [34] Atlas Drah Polska, Česka a Slovenska. *Atlas Drah Polska, Česka, Slovenska a Podkarpatské Rusi*. [online]. © 2005-2022 [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <http://www.atlasdrah.net/>
- [35] Pardubický kraj – Smlouva o veřejných službách v přepravě cestujících a k zajištění dopravní obslužnosti kraje veřejnou drážní osobní dopravou (Leo Express Tenders s.r.o.). *Registr smluv*. [online]. 17. 04. 2019 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://smlouvy.gov.cz/smlouva/8839203?backlink=cwpyn>
- [36] Zařízení služeb. *České dráhy*. [online]. © 2008 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: http://www.ceskedrahy.cz/nase-cinnost/ostatni-cinnosti-a-servis/zarizeni_sluzeb/-29800/
- [37] CIBULKA, M. Motorová jednotka řady 846 (Lint41). In: *osobní archiv autora*. 23. 02. 2022 [cit. 2022-04-06].
- [38] E-mailová korespondence se zástupci obchodního úseku Elektrizace železnic Praha a.s.[online]. 06. 04. 2022 [cit. 2022-04-10].

- [39] Výstavba vodíkové infrastruktury. *Fuelling Innovations*. [online]. 07. 06. 2019 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://fuellinginnovations.cz/clanky/Vystavba-vodikove-infrastruktury>
- [40] Pohon autobusů a vlaků na H₂. *Linde Gas*. [online]. © 2011-2022 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.linde-gas.cz/cs/hydrogen/mobilizing-public-buses-and-trains-with-h2.html>
- [41] Vodík jako palivo. *Linde Gas*. [online]. © 2011-2022 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.linde-gas.cz/cs/hydrogen/h2-mobility.html>
- [42] VOLTAP: die Schnellladestation für Batteriezüge (BEMU). *Stadtwerke Tübingen*. [online]. © 2022 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.swtue.de/geschaeftskunden/energie/strom/bahnstrom/voltap.html>
- [43] Železniční mapy ČR. *Správa železnic*. [online]. © 2022 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/o-nas/zeleznicni-mapy-cr>

Seznam obrázků

Obr. 1.1	Rozdělení železničních kolejových vozidel dle trakce	12
Obr. 1.2	Rozdělení vozby dle přívodu energie.....	12
Obr. 1.3	Struktura hnacích vozidel k 31. 12. 2020.....	14
Obr. 1.4	Rozdělení přenosu výkonu podle realizace.....	14
Obr. 1.5	Schéma toku elektrické energie ve vodíkové jednotce	17
Obr. 1.6	Schéma toku elektrické energie v akumulátorové jednotce	18
Obr. 2.1	Motorová jednotka řady 814 RegioNova (dvouvozová).....	20
Obr. 2.2	Motorová jednotka řady 844 RegioShark	21
Obr. 2.3	Motorový vůz řady 841 RegioSpider	21
Obr. 2.4	Elektrická jednotka řady 471 CityElefant	22
Obr. 2.5	Elektrická jednotka řady 440 RegioPanter.....	23
Obr. 2.6	Vizualizace vodíkové jednotky Mireo Plus H	24
Obr. 2.7	Vodíková jednotka Coradia iLint.....	25
Obr. 2.8	Schéma zbrojení vodíkem	25
Obr. 2.9	Akumulátorová jednotka Mireo Plus B.....	27
Obr. 2.10	Akumulátorová jednotka Desiro ML Cityjet eco.....	27
Obr. 2.11	Akumulátorová jednotka Talent 3 BEMU	28
Obr. 2.12	Akumulátorová jednotka FLIRT Akku.....	28
Obr. 3.1	Trať 024 na mapě České republiky	29
Obr. 3.2	Výškový profil trati 024 dle nadmořské výšky stanic (v m. n. m.).....	30
Obr. 3.3	Motorová jednotka řady 846 (Lint41).....	33
Obr. 3.4	Čerpací stanice se zařízením pro výrobu zeleného vodíku	36
Obr. 3.5	Cisternový vůz pro přepravu kapalného vodíku	37
Obr. 3.6	Rychlonabíjecí stanice Voltap.....	39

Seznam tabulek

Tab. 2.1	Parametry vybraných dieselových vozidel.....	20
Tab. 2.2	Parametry vybraných elektrických vozidel.....	22
Tab. 2.3	Parametry vybraných vodíkových jednotek.....	24
Tab. 2.4	Parametry vybraných akumulátorových jednotek.....	26
Tab. 3.1	Přehled nákladů při provozu dieselových jednotek.....	33
Tab. 3.2	Přehled nákladů při provozu elektrických jednotek.....	34
Tab. 3.3	Přehled nákladů při provozu vodíkových jednotek.....	37
Tab. 3.4	Přehled nákladů při provozu bateriových jednotek.....	39
Tab. 4.1	Shrnutí nákladů všech čtyř variant.....	40

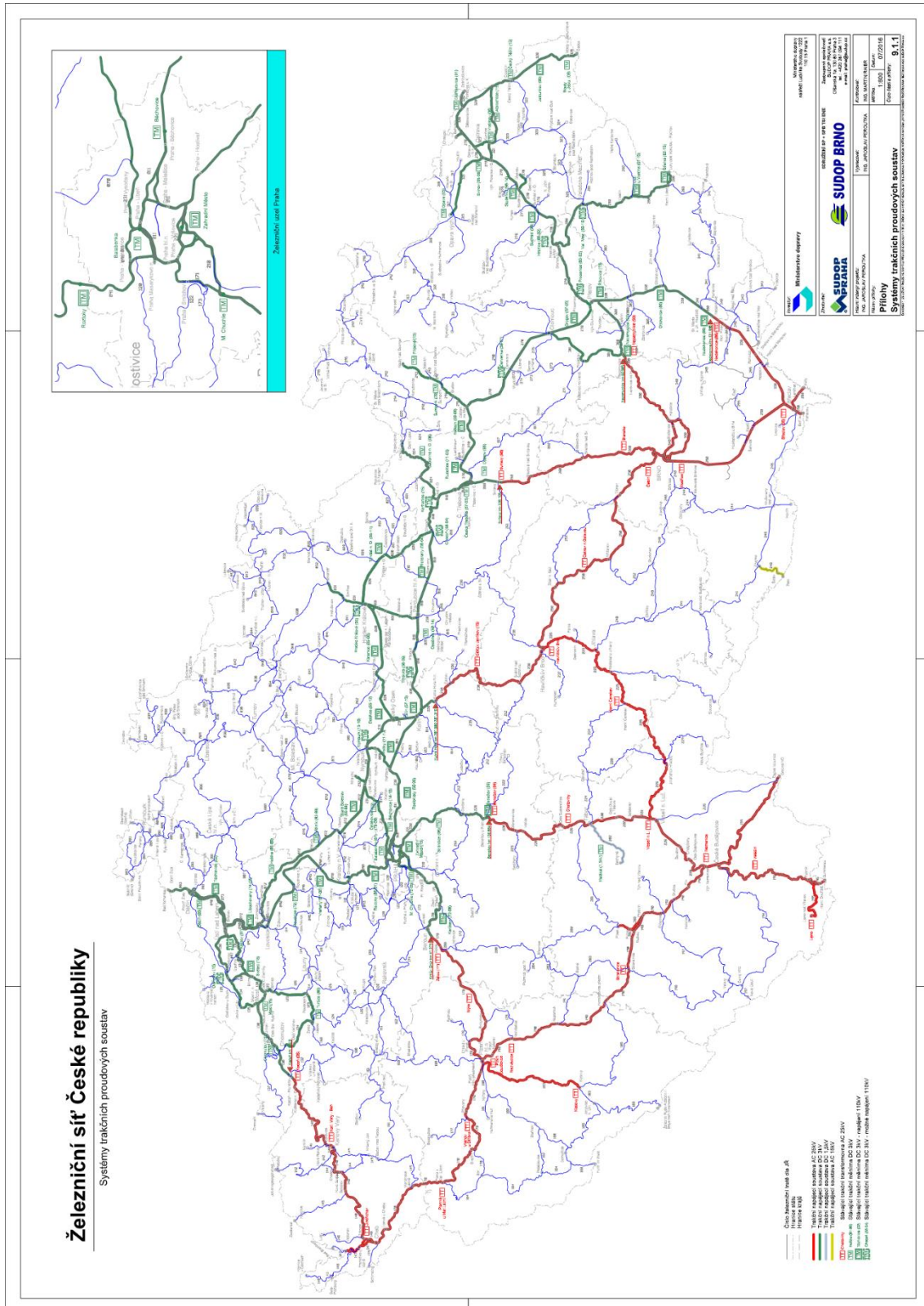
Seznam zkratek

AC	střídavý proud (alternating current)
BEMU	bateriová elektrická jednotka (battery electric multiple unit)
CO ₂	oxid uhličitý
ČD	České dráhy, a.s.
ČR	Česká republika
DC	stejnoseměrný proud (direct current)
DMU	diesellová jednotka (diesel multiple unit)
EMU	elektrická jednotka (electric multiple unit)
ETCS	evropský vlakový zabezpečovací systém (European Train Control System)
EU	Evropská unie
GVD	grafikon vlakové dopravy
HMU	vodíková jednotka (hydrogen multiple unit)
HV	hnací vozidlo
Li-ion	lithium-iontové baterie
LTO	lithium-titanátové baterie (lithium-titanate oxide)
mil.	milion
mld.	miliarda
PO	provozní ošetření
SUDOP	Státní ústav dopravního projektování
Sv	soupravový vlak
vlkm	vlakokilometr
VUZ	Výzkumný Ústav Železniční
zast.	zastávka
ŽKV	železniční kolejové vozidlo
žst.	železniční stanice

Samostatná příloha

Systemy trakčních proudových soustav

Systémy trakčních proudových soustav



Zdroj: [43]

Autor/ka BP	Jana Pirklová, DiS.
Název BP	Typologie vozového parku Českých drah, a.s.
Studijní program	Logistika v dopravě (LVD)
Rok obhajoby BP	2022
Počet stran	36
Počet příloh	1
Vedoucí BP	prof. Ing. Miloslav Seidl, Ph.D.
Anotace	Tato bakalářská práce se zabývá alternativními pohony drážních vozidel v železniční osobní dopravě. Teoretická část sestává z rešerše poznatků z oblasti logistiky železniční dopravy – rozdělení pohonů železničních kolejových vozidel včetně principu jejich fungování a přehled současně vyráběných železničních kolejových vozidel. V praktické části je zpracován dopravní model včetně vyhodnocení a porovnání provozně-ekonomických nákladů.
Klíčová slova	železniční doprava, alternativní pohon, trakce, akumulátor, vodík, regionální doprava
Místo uložení	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
Signatura	