

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Provoz vlaků s alternativním zdrojem energie
na částečně elektrifikovaném železničním úseku

Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Oleksii Muntian**
Osobní číslo: **D22302**
Studijní program: **B1041A040002 Technologie a management v dopravě**
Specializace: **Technologie a řízení dopravy**
Téma práce: **Provoz vlaků s alternativním zdrojem energie na částečně elektrifikovaném železničním úseku**
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Zásady pro vypracování

V bakalářské práci bude zpracována analýza možností nasazení vlaků s alternativním zdrojem energie na železničním úseku Ústí nad Orlicí – Moravský Karlov. Bakalářská práce bude obsahovat:

- posouzení současného stavu provozu na vybraném úseku,
- provozně-ekonomické zhodnocení nasazení vlaků s alternativním zdrojem energie v porovnání s tradičními motorovými jednotkami,
- shrnutí výsledků a doporučení.

Rozsah pracovní zprávy: **35-45**
Rozsah grafických prací: **3-4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jaroslav Matuška, Ph.D.**
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání bakalářské práce: **24. února 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **12. května 2025**

L.S.

doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2025

Prohlašuji: Práci s názvem **Provoz vlaků s alternativním zdrojem energie na částečně elektrifikovaném železničním úseku** 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 směrnicí 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 12.05.2025

Oleksii Muntian v.r.

ANOTACE

Práce se zaměřuje na analýzu současného stavu částečně elektrifikovaného železničního úseku Ústí nad Orlicí – Moravský Karlov a vyhodnocení možností nasazení vlaků s alternativním zdrojem energie. Důraz je kladen na technologickou a ekonomickou stránku provozu včetně analýzy oběhů a srovnání nákladů s tradičními motorovými vlaky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Železniční doprava, Ústí nad Orlicí, Moravský Karlov, trať 024, BEMU

TITLE

Operation of trains with an alternative energy source on a partially electrified railway section

ANNOTATION

The bachelor thesis focuses on the analysis of the current state of the partially electrified railway section Ústí nad Orlicí – Moravský Karlov and the evaluation of the possibilities of deploying trains with an alternative energy source. Emphasis is placed on the technological and economical aspects of the operation, including analysis of train circulations and cost comparison with traditional diesel trains.

KEYWORDS

Railway transport, Ústí nad Orlicí, Moravský Karlov, line 024, BEMU

Poděkování:

Srdečné poděkování patří mému vedoucímu práce doc. Ing. Jaroslavu Matuškoví, Ph.D. za pomoc při sestavení celkové struktury práce, za poskytování cenných rad a věcných připomínek v průběhu jejího vypracování a také za podporu při hledání potřebných informací.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK.....	10
SEZNAM ZKRATEK.....	11
ÚVOD.....	12
1 Analýza současného stavu	13
1.1 Analýza infrastruktury	13
1.1.1 Analýza potenciálu tratě	14
1.1.2 Sklonové poměry	14
1.1.3 Rychlostní profil	15
1.2 Analýza dopravních prostředků	16
1.2.1 Soulad se současnými standardy.....	16
1.2.2 Parametry vozidel	16
1.2.3 Spotřeba	17
1.3 Přepavní proudy.....	17
1.4 Technologické ukazatele.....	18
1.4.1 Obraty souprav a počet vlaků	18
1.4.2 Dopravní a hrubý přepravní výkon.....	19
1.5 Ekonomické ukazatele	20
1.5.1 Odpisy	20
1.5.2 ŽDC	22
1.5.3 Cena paliva	25
1.5.4 Roční náklady celkově.....	25
1.6 SWOT-analýza současného stavu.....	26
1.7 Shrnutí analýzy	27
2 Posouzení možnosti nasazení vlaků s AZE.....	28
2.1 Druhy vlaků s AZE	28

2.1.1	Vozidla typu BMU	28
2.1.2	Vozidla typu HMU	29
2.1.3	Vozidla typu BEMU.....	31
2.1.4	Porovnání typů vozidel	32
2.1.5	Porovnání vozidel BEMU.....	33
2.1.6	Nabíjení baterií stejnosměrným proudem.....	34
2.2	Provozní koncept	34
2.3	Technologické ukazatele	36
2.4	Ekonomické ukazatele	37
2.4.1	Odpisy	37
2.4.2	ŽDC	39
2.4.3	Cena elektřiny	40
2.4.4	Roční náklady celkově.....	40
2.5	Shrnutí posuzovaných možností	40
3	Zhodnocení navržených řešení a doporučení.....	42
3.1	Technické ukazatele	42
3.1.1	Kapacita jednotek	42
3.1.2	Obraty souprav.....	42
3.1.3	Přehled technických specifikací.....	42
3.2	Dopad na okolí.....	43
3.2.1	Hluková zátěž	43
3.2.2	Emise škodlivých látek	44
ZÁVĚR		45
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ		46

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma tratě 024 v úseku Ústí nad Orlicí – Moravský Karlov; zdroj: Autor s využitím OpenRailwayMap	13
Obr. 2 Nadmořská výška žst. a zastávek na trati 024; zdroj: Autor s využitím OSM	15
Obr. 3 Rychlostní profil tratě 024 v úseku Ústí n. O. - Mor. Karlov; zdroj: Autor s využitím interních materiálů SŽ	15
Obr. 4 Jednotka Lint 41 ve stanici Ústí nad Orlicí; zdroj: Autor	16
Obr. 5 Vytíženost spojů ve směru Moravský Karlov; zdroj: Autor na podkladě Pardubického kraje	17
Obr. 6 Vytíženost spojů ve směru Ústí nad Orlicí; zdroj: Autor na podkladě Pardubického kraje	18
Obr. 7 SWOT-analýza stávajícího stavu; zdroj: Autor.....	27
Obr. 8 Jednotka Stadler Flirt BMU (British Rail Class 755), Velim; zdroj: Vladanfoto.cz.....	29
Obr. 9 Vodíková jednotka Alstom Coradia iLint ve stanici Praha hl.n.; zdroj: seznam-autobusu.cz	30
Obr. 10 Bateriová jednotka Siemens Mireo Plus B; zdroj: press.siemens.com.....	31
Obr. 11 Limitní možnosti nabíjení stojícího vozidla o hmotnosti 100 tun přes sběrač z trakčního vedení; zdroj: (10 str. 67).....	32
Obr. 12 Oběhy vozidel; zdroj: Autor s využitím KJŘ.....	35
Obr. 13 Vzdálenost ŽDC od obytných domů; zdroj: Autor s využitím OSM.....	44

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přehled žst a zastávek na trati a jejich možný vliv na poptávku; zdroj: Autor s využitím cs.wikipedia.org, OSM, booking.com	14
Tab. 2 Technické parametry jednotky Lint 41; zdroj: (3)	17
Tab. 3 Doby stání v koncových stanicích; zdroj: Autor s využitím KJŘ.....	19
Tab. 4 Přehled sazeb dle kategorií stanic a zastávek dle PoD; zdroj: Autor na základě (7)	24
Tab. 5 Porovnání různých variant pohonů vlaků a jejich charakteristiky; zdroj: (7), (11), (12), (13) (14), (15),	32
Tab. 6 Porovnání různých jednotek BEMU a jejich charakteristiky; zdroj: (16), (17), (18), (19), (21)	33
Tab. 7 Porovnání parametrů spojených se stávající a navrženou jednotkami; zdroj: Autor	43

SEZNAM ZKRATEK

AC	alternating current (střídavý proud)
AZE	alternativní zdroj energie
BMU	bimodal multiple unit (bimodální jednotka)
BEMU	battery electric multiple unit (bateriová jednotka)
DC	direct current (stejnoseměrný proud)
HMU	hydrogen multiple unit (vodíková jednotka)
JŘ	jízdní řád
KJŘ	knižní jízdní řád
MPB	minimální přístupový balíček
OD	osobní doprava
OSM	OpenStreetMap
OOSPO	osoba s omezenou schopností pohybu nebo orientace
PoD	Prohlášení o dráze 2025
ŽDC	železniční dopravní cesta
žst	železniční stanice

ÚVOD

V posledních letech se environmentální témata a péče o udržitelný rozvoj stávají stěžejními otázkami pro širokou veřejnost. Zájem o ekologické dopravní prostředky narůstá, což se odráží ve vzrůstající oblibě elektromobilů, elektrobusů a dalších dopravních prostředků s alternativními zdroji energie (AZE). Kromě elektrických řešení se objevují i paliva méně obvyklá, jako je vodík, která slibují nižší dopad na životní prostředí a vyšší efektivitu provozu. Tato změna zasahuje různé oblasti dopravy včetně železničního sektoru, kde se již některé země odhodlaly k realizaci ekologických inovací.

V současné době mnoho železničních tratí po celém světě není plně elektrifikováno. To znamená, že na těchto úsecích jsou stále využívány motorové vlaky, což přináší vyšší emise a vyšší náklady na palivo. Zavedení alternativních vlakových řešení může tyto problémy řešit, neboť umožňuje provoz vlaků bez nutnosti rozsáhlé elektrifikace celých tratí a zároveň umožňuje plnější využití jejich elektrifikovaných částí.

Příkladem může být Německo, které se postupně snaží nahradit dieselové vlaky bateriovými a vodíkovými soupravami. Dochází také k intenzivní elektrifikaci vybraných železničních úseků, čímž se snižuje závislost na konvenčních fosilních palivech. Podobné snahy jsou vidět i v dalších evropských zemích, například v Belgii nebo Francii, kde vlády aktivně podporují ekologické projekty, zaměřené na přechod k udržitelným zdrojům energie v železniční dopravě.

Autor této práce zastává názor, že také Česká republika by měla zvážit modernizaci své železniční infrastruktury směrem k ekologickým a udržitelným řešením. Výsledky této práce poskytnou pohled na technickou a ekonomickou realizovatelnost zavedení vlaků s AZE v podmínkách vybraného úseku.

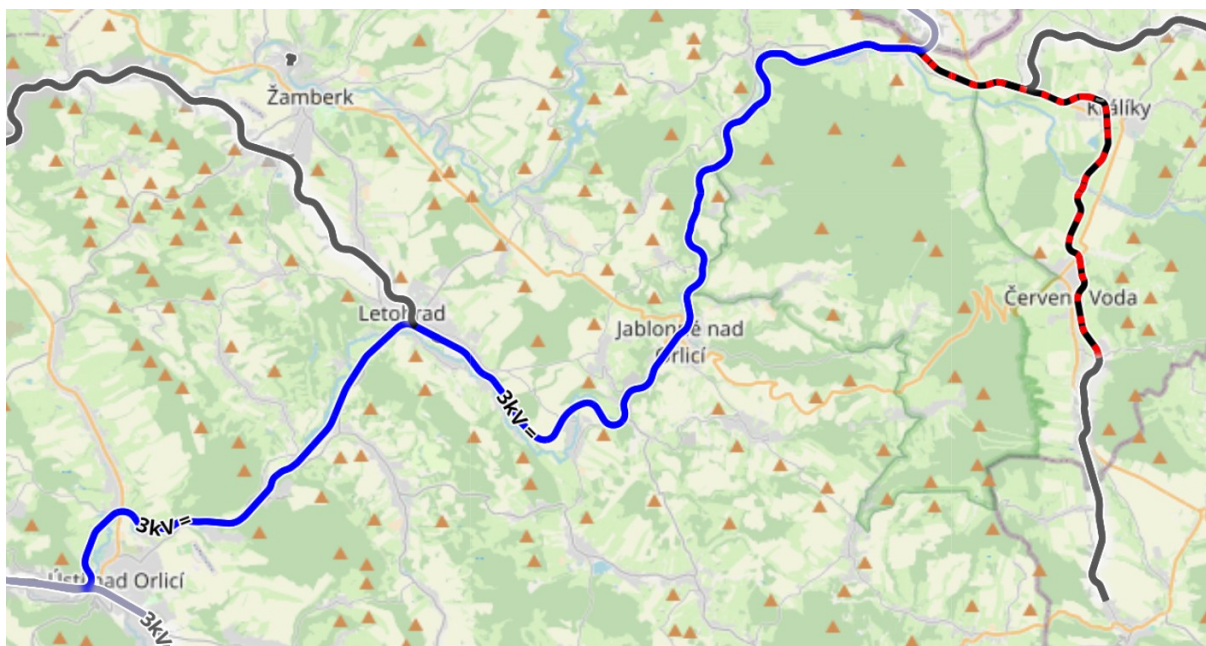
Cílem této práce je provést analýzu možností zavedení vlaků s alternativním zdrojem energie na úseku Ústí nad Orlicí – Moravský Karlov a prověřit změny v provozu těchto vlaků.

1 Analýza současného stavu

Tato kapitola poskytuje základní přehled o současném stavu železničního úseku Ústí nad Orlicí – Moravský Karlov, který slouží jako východisko pro další analýzu. Zohledňuje délku a elektrizaci tratě, obsluhované obce, jejich populační strukturu a počet pracovních míst jako indikátory potenciální poptávky po přepravě. Popsány jsou rovněž sklonové a rychlostní poměry. Dále je uveden přehled vozidel provozovaných na trati, včetně jejich kapacity a spotřeby paliva. Zmíněny jsou také přepravní proudy, tedy průměrný počet cestujících v jednotlivých úsecích. Součástí je rovněž shrnutí technologických a ekonomických ukazatelů, které se mohou při následující změně typu vlaků změnit, jako jsou roční počty vlaků, přepravní výkon, náklady na provoz a infrastrukturu. Závěr kapitoly tvoří SWOT analýza, která hodnotí silné a slabé stránky současného stavu provozu a poukazuje na možné příležitosti a hrozby.

1.1 Analýza infrastruktury

Trat' 024 celkem míří 50 km, z nichž 35 (úsek Ústí nad Orlicí – Lichkov) jsou elektrifikované stejnosměrnou trakcí (DC) 3 kV (na obr. 1 označeno modrou barvou), zbylých 15 km (Lichkov – Mor. Karlov) elektrifikací zatím nemají, i když se plánuje střídavá trakce (AC) 25 kV (označeno červenočernou barvou) (1).



Obr. 1 Schéma tratě 024 v úseku Ústí nad Orlicí – Moravský Karlov;
zdroj: Autor s využitím OpenRailwayMap

1.1.1 Analýza potenciálu tratě

V tab. 1 Autor uvádí nejvýznamnější železniční stanice (žst) a zastávky na trati a okolnosti, které mohou ovlivnit potenciální poptávku. Tučně jsou zvýrazněné té faktory, které podle názoru Autora ovlivňují atraktivitu trati nejvíce.

Tab. 1 Přehled žst a zastávek na trati a jejich možný vliv na poptávku;

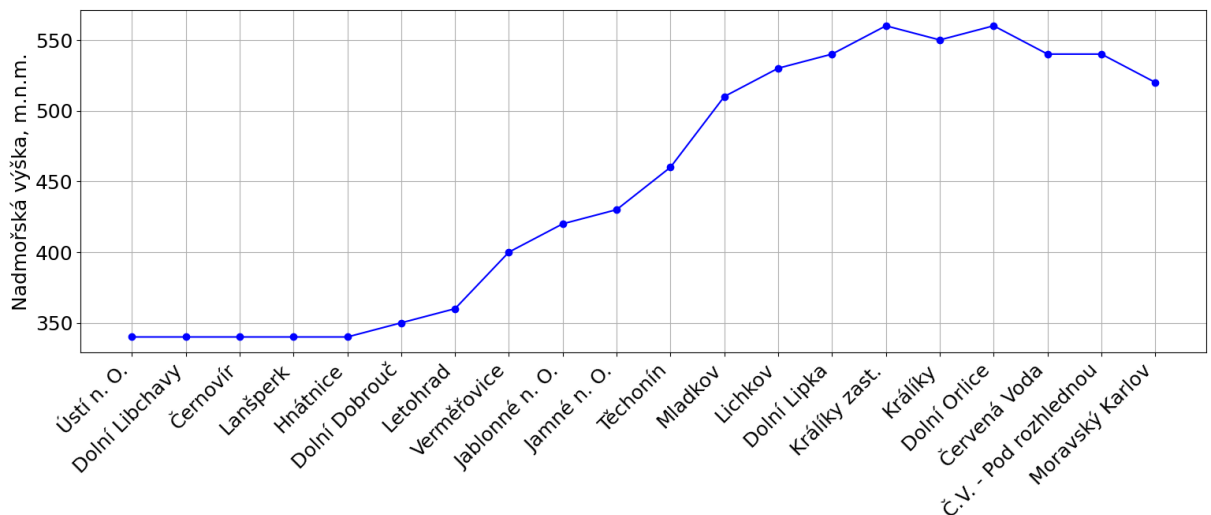
zdroj: Autor s využitím cs.wikipedia.org, OSM, booking.com

Název zastávky	Počet obyvatel	Počet pracovních míst (odhad)	Vybavenost	Atrakce
Ústí n. O.	14000	9000	Nemocnice, školy, úřady, supermarkety, sportoviště	Roškotovo divadlo, Hernychova vila; dálkové vlaky po celé republice
Letohrad	6400	3200	3 mateřské, základní a střední školy, gymnázium; sportovní kluby	Přestupní vlaky do Hradce Králové; zámecký park
Jablonné n. O.	3100	2000	Základní a mateřská škola, knihovna, veterinární ordinace	15 průmyslových objektů
Lichkov	500	30	-	Přestupní vlaky do Polska
Králíky	4100	1700	2 základní školy, kulturní dům, 2 výrobny	Hora Matky Boží, 3 muzea; autobusová spojení s Dolní Moravou
Červená Voda	3000	1500	15 hotelů, léčební ústav, základní škola a domov důchodců	Rozhledna Křížová Hora

Z tabulky vyplývá, že trať má určitý potenciál, i když počet obyvatel není až tak velký. Slouží nejen místním obyvatelům k dojíždění do škol, zaměstnání, zájmových kroužků, zdravotnických zařízení či za rekreací, ale také celoročním turistům směřujícím na Dolní Moravu nebo do Vratislavi, i když od JŘ 2025 zde jezdí Baltic Express, který nabízí rychlejší spojení s Polskem. Však dle názoru Autora poptávka může vzrůst, aspoň proto, že vlak kategorie EC odjíždí v odlišných časech a neobsluhuje některé polské obce, které by mohly generovat další přepravní proudy.

1.1.2 Sklonové poměry

Sklonové poměry mají zásadní vliv na spotřebu energie železničních vozidel, a to jak u klasických dieselových nebo elektrických vlaků, tak i u moderních jednotek s AZE (2 str. 22). Na obr. 2 je graficky znázorněn výškový profil jednotlivých míst zastavení na analyzované trati.

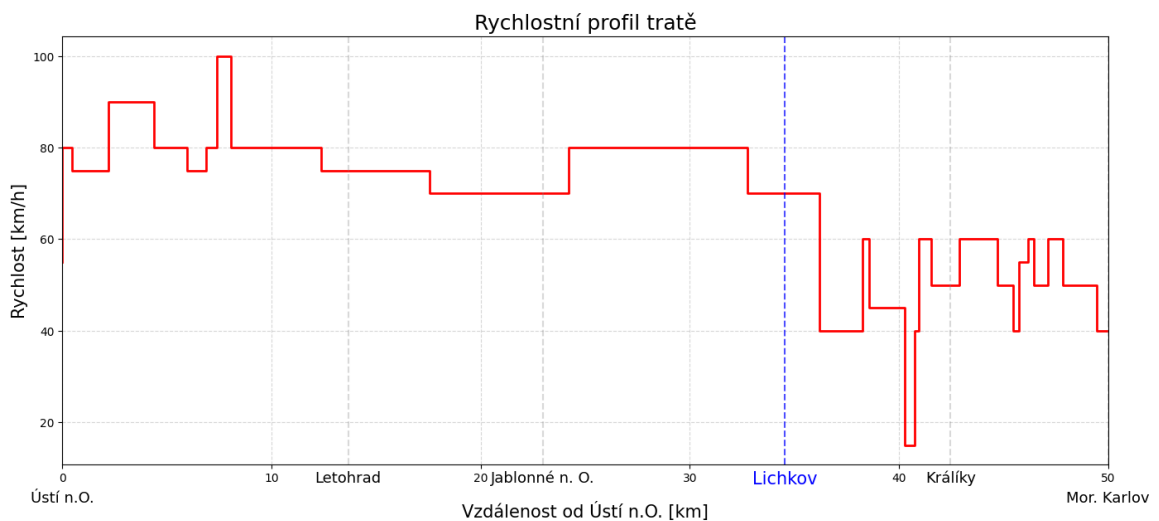


Obr. 2 Nadmořská výška žst. a zastávek na trati 024; zdroj: Autor s využitím OSM

Z grafu je patrné, že celkový výškový rozdíl mezi nejnižším a nejvyšším bodem přesahuje 200 metrů. Tento rozdíl je významný vzhledem k relativně malé délce trati, která činí pouze 50 km: strmé stoupání a klesání mají přímý dopad na provozní charakteristiky vlaků, zejména na potřebný výkon trakčního systému a možnosti rekuperace energie při jízdě z kopce, spotřebu energie a v důsledku vzdálenost dojezdu.

1.1.3 Rychlostní profil

Na obr. 3 je zobrazen rychlostní profil, z něhož je vidět, že se rychlost nejčastěji pohybuje v rozmezí 70-80 km · h⁻¹. V posledních 15 kilometrech, které odpovídají úseku nezávislé trakce (následují po stanici Lichkov), maximální i průměrná rychlost dále klesá. To znamená šetrnější provoz vlaků s AZE a méně náročné požadavky na jejich dojezd.



Obr. 3 Rychlostní profil tratě 024 v úseku Ústí n. O. - Mor. Karlov; zdroj: Autor s využitím interních materiálů SŽ

1.2 Analýza dopravních prostředků

V této části je kladen důraz na dopravní prostředky, které jsou na tomto úseku nasazeny. Jsou zhodnoceny jejich technické vlastnosti, spotřeba nafty, pohodlí pro cestující, modernizace, které jednotky podstoupily, a porovnány s požadavky současných standardů.

1.2.1 Soulad se současnými standardy

Dopravce Leo Express Tenders v JŘ 2025 na tomto úseku provozuje 5 jednotek typu Alstom Coradia Lint 41 (řada 846) (obr. 4) a jeden motorový vůz typu Lint 27 (řada 832) (3), (4). Tyto soupravy mají obě nástupní plochy nízkopodlažní. Jsou vybavené klimatizací, bezbariérovým WC, elektronickými informačními tabulemi uvnitř i vně vlaku a odpovídají požadavkům na komfort cestování i pro OOSPO. Tyto jednotky prošly modernizací v roce 2019, aby splňovaly standardy současného železničního provozu. Kapacita jednotek je 126, resp. 68 míst k sezení ve 2. třídě (3), (4). Vzhledem k nejasnosti informace ohledně oběhů souprav a konkrétního počtu nasazených jednotek, počítá se v dalších výpočtech pouze s řadou 846.



Obr. 4 Jednotka Lint 41 ve stanici Ústí nad Orlicí; zdroj: Autor

1.2.2 Parametry vozidel

V tab. 2 jsou znázorněny základní parametry jednotek řady 846.

Tab. 2 Technické parametry jednotky Lint 41; zdroj: (3)

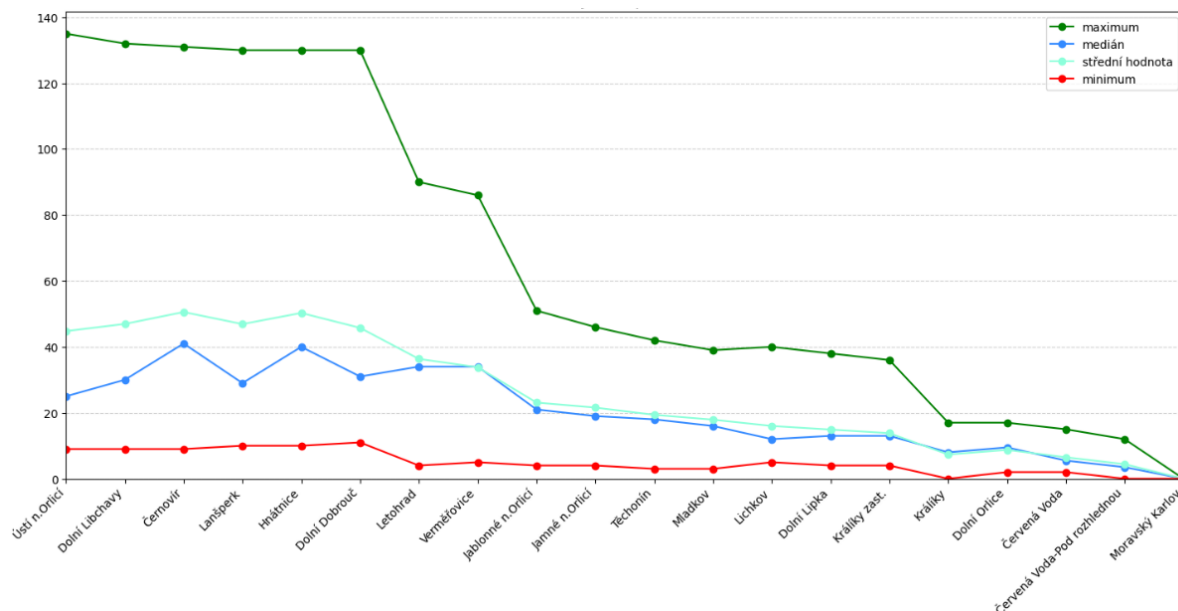
Parametr	Hodnota
Hmotnost	68 [t]
Počet míst k sezení	126 [míst]
Objem nádrže na naftu	0,8 [m ³]
Maximální rychlost	120 [km · h ⁻¹]

1.2.3 Spotřeba

Vzhledem k průměrné obsazenosti spojů ve výši 20 % (viz 1.3 Přepravní proudy) a na základě údajů, podle nichž činí spotřeba vlaku při obsazenosti 28 % hodnotu 0,61 l/km a při nulové obsazenosti 0,58 l/km (5 str. 5), byla pro účely této analýzy zvolena průměrná hodnota spotřeby 0,6 l/km.

1.3 Přepravní proudy

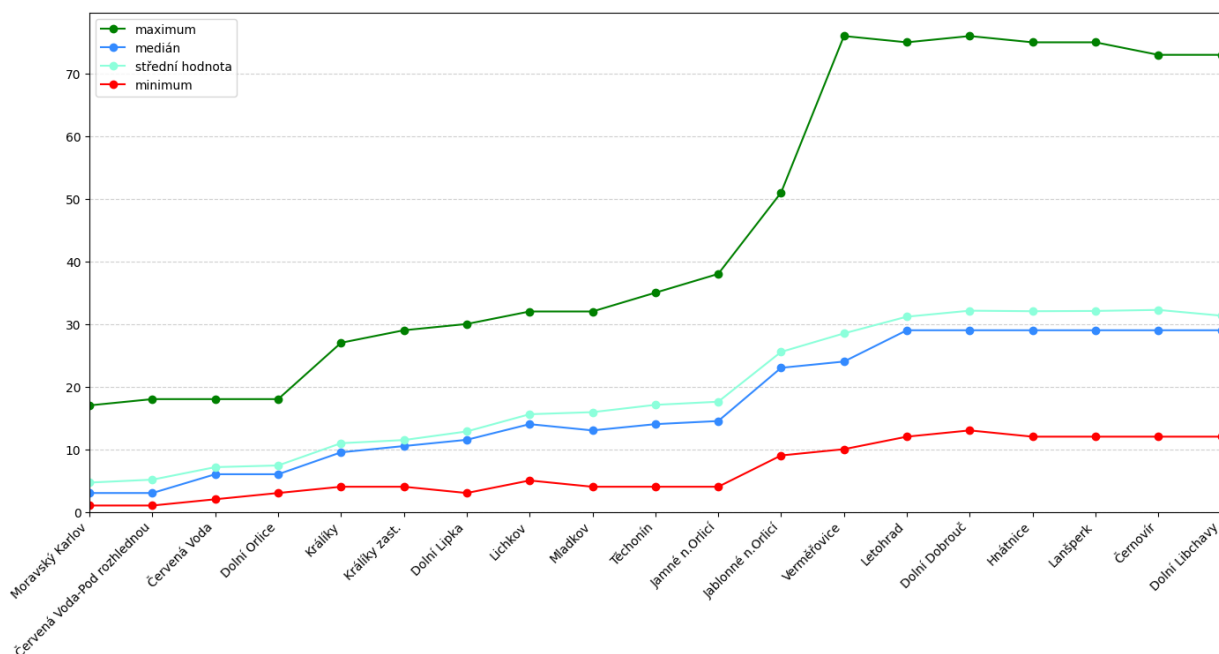
Na obr. 5 a obr. 6 jsou graficky zobrazená maximální, střední, minimální a mediální vytížení spojů na daném úseku, přičemž měření (zdroj: Odbor dopravy a silničního hospodářství Pardubického kraje, 2024) byla uskutečněná pouze v pracovní dny a s cílem normalizace výsledků nebyly v statistice zahrnuté spoje, jedoucí pouze v úseku Ústí n. Orlicí – Letohrad a zpět.



Obr. 5 Vytíženost spojů ve směru Moravský Karlov; zdroj: Autor na podkladě Pardubického kraje

Z obrázku vyplývá, že kapacita jednotek je v současnosti dostačující. Na většině spojů postačuje Lint 27, zatímco na některé vyjíždí Lint 41. I na nejvytíženějším spoji, kde počet cestujících přesahuje sedící kapacitu, je patrné, že tato „špička“ trvá pouze do Letohradu, což

v JŘ představuje méně než 20 minut jízdy. Nicméně s rostoucí poptávkou po přepravě může počet cestujících dále narůstat.



Obr. 6 Výtíženost spojů ve směru Ústí nad Orlicí; zdroj: Autor na podkladě Pardubického kraje

V opačném směru je poptávka vyrovnanější, což umožňuje případně ponechat v provozu pouze jednotky Lint 27.

1.4 Technologické ukazatele

V této části jsou vyhodnoceny klíčové provozní ukazatele provozu na lince, včetně ročního počtu vlaků, charakteru obrátů souprav a doby jejich pobytu na konečných stanicích. Následně jsou vypočteny hodnoty dopravního a hrubého přepravního výkonu, které slouží jako základ pro posouzení provozní efektivity a návrhových požadavků na alternativní trakci v dalších kapitolách.

1.4.1 Obraty souprav a počet vlaků

Z JŘ 2024/2025 pro trať 024 je vidět, že se na této lince celkem pro oba směry vypraví 147 vlaků týdně.

Při uvažování 52 týdnů v roce ($N_{\text{týdnů/rok}}$, [týden]) je možné spočítat (přibližný) celkový počet vypravených vlaků za rok $N_{\text{vlaků/rok}}$:

$$N_{\frac{\text{vlaků}}{\text{rok}}} = N_{\frac{\text{vlaků}}{\text{týden}}} \cdot N_{\frac{\text{týdnů}}{\text{rok}}} = 147 \cdot 52 = 7\,644 \left[\frac{\text{vlaků}}{\text{rok}} \right]. \quad (1)$$

Ze stejného dokumentu, tedy knižního jízdního řadu (KJŘ) je možné dostat informací o přibližných obrazech souprav a čas, strávený na každé ze dvou konečných stanic. Tyto informace jsou uvedené v tab. 3.

Tab. 3 Doby stání v konečných stanicích; zdroj: Autor s využitím KJŘ

Stanice	Ústí nad Orlicí	Moravský Karlov
Minimální čekání [min]	20	4
Mediánní čekání [min]	22	4
Maximální čekání [min]	82	19

Z toho vyplývá, že jednotky pro svůj delší pobyt využívají hlavně stanici Ústí n. O., když v Moravském Karlově mají minimální časovou rezervu. Tak krátká rezerva nedovolí výrazně dobít žádný z existujících AZE, proto v další kapitole bude potřeba počítat s dvojnásobnou minimální vzdáleností, popř. zahrnout i čas, strávený v konečné stanici.

1.4.2 Dopravní a hrubý přepravní výkon

Dopravní výkon představuje součin počtu vypravených vlaků a kilometrů, jimi ujetých. V případě tratě Ústí nad Orlicí – Moravský Karlov, jejíž délka L činí 50 km, a při celkovém ročním počtu $N_{\text{vlaků/rok}}$ 7 644 vlaků (dle vztahu 1), je možné stanovit dopravní výkon $P_{\text{dopravní}}$ následovně:

$$P_{\text{dopravní}} = L \cdot \frac{N_{\text{vlaků}}}{\text{rok}} = 50 \cdot 7\,644 = 382\,200 \left[\frac{\text{vlkm}}{\text{rok}} \right]. \quad (2)$$

Průměrný denní dopravní výkon tak vychází na 1047,12 [vlkm/den].

Hrubý přepravní výkon zohledňuje nejen ujetou vzdálenost, ale také celkovou hmotnost přepravovaného vlaku M_{vlaku} [t]. Pro jeho výpočet je nutné znát průměrnou hmotnost vlakové soupravy $M_{\text{prazdný}}$ [t] včetně hmotností cestujících $M_{\text{cestujících}}$ [t] a provozních kapalin M_{PK} [t]:

$$M_{\text{vlaku}} = M_{\text{prazdný}} + M_{\text{cestujících}} + M_{\text{PK}} = 68 + 0,08 \cdot (120 \cdot 0,2) = 71,2 \text{ [t]}. \quad (3)$$

Přepravní výkon $P_{\text{přepravní}}$ [hrtkm/rok] je následně dán součinem dopravního výkonu $P_{\text{dopravní}}$ [vlkm/rok] a průměrné hmotnosti vlaku M_{vlaku} , dané vztahem 3 [t]:

$$P_{\text{přepravní}} = P_{\text{dopravní}} \cdot M_{\text{vlaku}} = 382\,200 \cdot 71,2 = 27\,212\,640 \left[\frac{\text{hrtkm}}{\text{rok}} \right]. \quad (4)$$

Průměrný denní přepravní výkon se potom rovná 74 555 [hrtkm/den].

Tyto hodnoty představují důležitý podklad pro hodnocení energetické náročnosti provozu, posouzení zatížení infrastruktury i porovnání s alternativními typy trakce z hlediska nákladů na zdroje jejich energie.

1.5 Ekonomické ukazatele

Tato kapitola shrnuje klíčové ekonomické aspekty provozu na trati Ústí nad Orlicí – Moravský Karlov, které budou ovlivněny při nasazení jiných typů jednotek a které je proto nutno porovnat. Postupně jsou vyhodnoceny náklady spojené s odpisy kolejových vozidel, poplatky za použití železniční dopravní cesty (ŽDC), spotřebou paliva a závěrem i roční provozní náklady celkově.

Mezi další provozní náklady osobního dopravce patří mimo uvedených ještě náklady na provozní personál (strojvedoucí, vlakvedoucí, příp. pokladní ve stanicích), na údržbu vozidel a jejich čištění, správní a provozní režie společnosti a zisk dopravce. Většina z nich však nezávisí na typu provozovaného vozidla, proto nejsou v práci uvažovány.

1.5.1 Odpisy

Pro stanovení výše odpisů je potřeba vydělit pořizovací cenu jedné jednotky dobou jejího odpisování. Pořizovací cena činí dle zdroje (6) 100 000 000 Kč. Při předpokládané době odpisování 10 let (z důvodu nákupu jenom z cizích zdrojů), 4 potřebných vlacích (viz 2.2 Provozní koncept) a lineárním modelu odpisování jsou bez dalších finančních nákladů roční odpisy 40 000 000 Kč/rok.

Aktuálně se na této trati používají 3 jednotky a 1 jednotka je záložní. V tomto případě koeficient disponibility K_d [-] dle vzorce 5 činí:

$$K_d = \frac{N_T}{N_T + N_Z} = \frac{3}{4} = 0,75 \text{ [-]}, \quad (5)$$

kde:

N_T = počet turnusových vozidel [vlaků],

N_Z = počet záložních vozidel [vlaků].

V případě financování cizími zdroji je nutné zahrnout do koncové ceny i koeficient finančních nákladů K_f [-]. Ten se počítá podle vzorce 6 (Zdroj: (7)). Pro úrokovou míru $u = 5$ [%] a dobu splatnosti úvěru $T = 10$ [let] dá:

$$K_f = \frac{T \cdot u}{1 - (1+u)^{-T}} = \frac{10 \cdot 0,05}{1 - (1+0,05)^{-10}} = 1,3 [-]. \quad (6)$$

Vzorec pro výpočet odpisů na jeden vlkm se zahrnutím koeficientu finančních nákladů:

$$C_{odp_{110}} = \frac{k_f \cdot c_v}{T_o \cdot 365 \cdot L_d} = \frac{1,3 \cdot 10^8}{10 \cdot 365 \cdot 500} = 71,23 \left[\frac{K\check{c}}{vlkm} \right], \quad (7)$$

kde:

$C_{odp_{110}}$ – cena odpisů na 1 vlkm v první scénáři [Kč/vlkm],

c_v – cena vozidla [Kč],

T_o – doba odpisování [let],

L_d – zjednodušený denní průměrný proběh jednoho vlaku při využití proběhů stávajících vlaků 490, 580, resp. 480 km denně [km/den].

Celková cena odpisů za vše 4 vlaky ročně tak činí:

$$C_{odp_{10}} = \frac{k_f \cdot c_v \cdot n_{vl}}{T_o} = \frac{1,3 \cdot 10^8 \cdot 4}{10} = 52\,000\,000 \left[\frac{K\check{c}}{rok} \right], \quad (8)$$

kde:

$C_{odp_{10}}$ – roční hodnota odpisů v první scénáři [Kč/rok],

K_f – koeficient finančních nákladů (viz vzorec (6)) [-],

c_v – cena vozidla [Kč],

T_o – doba odpisování [let],

n_{vl} – počet potřebných vozidel [vlaků].

V případě financování z vlastních zdrojů je možné uvažovat dobu odpisování $T = 30$ [let], díky čemuž se sníží celkové náklady na provoz a při tak dlouhodobém plánování bude struktura nákladů lépe reflektovat skutečný stav věcí. Na základě vzorce 7 za předpokladu, že $K_f = 1$ [-], je dle vzorce 9 výpočet ceny odpisů na jeden vlkm následující:

$$C_{odp_{130}} = \frac{k_f \cdot c_v}{T_o \cdot 365 \cdot L_d} = \frac{100\,000\,000}{30 \cdot 365 \cdot 500} = 18,26 \left[\frac{K\check{c}}{vlkm} \right], \quad (9)$$

kde:

$C_{odp_{130}}$ – cena odpisů na 1 vlkm ve druhé scénáři [Kč/vlkm],

c_v – cena vozidla [Kč],

T_o – doba odpisování [let],

L_d – zjednodušený denní průměrný proběh jednoho vlaku [km/den].

Roční cena odpisů všech jednotek pak je:

$$C_{odp_{30}} = \frac{k_f \cdot c_v \cdot n_{vl}}{T_o} = \frac{10^{8.4}}{30} = 13\,333\,333 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right], \quad (10)$$

kde:

$C_{odp_{30}}$ – roční hodnota odpisů ve druhé scénáři [Kč/rok],

K_f – koeficient finančních nákladů (viz vzorec (6)) [-],

c_v – cena vozidla [Kč],

T_o – doba odpisování [let],

n_{vl} – počet potřebných vozidel [vlaků].

Při financování z vlastních zdrojů a uvažování doby životnosti $T = 30$ [let] je podíl odpisů na celkových nákladech vyrovnanější a ekonomický efektivnější. V přehledu celkových nákladů jsou pak uvedeny jak odpisy pro 10 let životnosti (označené dále jako „scénář 1“), tak i pro 30 let (označené jako „scénář 2“).

1.5.2 ŽDC

Dopravce má v rámci minimálního přístupového balíčku (MPB) právo na vyřízení žádosti o přidělení kapacity dráhy, vypracování jízdního řádu podle přidělené kapacity a umožnění využití přidělené kapacity dráhy podle sjednaného jízdního řádu.

Cena za MPB se skládá z:

- a) ceny přidělce za přidělení kapacity dráhy,
- b) ceny provozovatele dráhy za použití dráhy jízdou vlaku,
- c) ceny provozovatele dráhy za přístup po dráze k zařízením služeb (8 str. 61).

V případě nasazení jiných typů vlaků se mění pouze část b), jelikož v ní je zahrnuta hmotnost. Dále jsou tučně zvýrazněny parametry, které se mohou při nasazení jiné jednotky změnit.

Kalkulační vzorec pro výpočet ceny za použití dráhy jízdou vlaku:

$$C_v = \Sigma C_s + C_{PK} [K\check{c}], \quad (11)$$

kde:

C_v = cena za použití dráhy jízdou vlaku [Kč],

C_s = cena za použití dráhy jízdou jednoho subvlaku [Kč],

C_{PK} = cena za použití přístupových komunikací pro cestující ve vlaku OD [Kč].

Výpočet C_s je definován vzorcem:

$$C_s = (L \cdot Z_{RP}) + (L \cdot Z_I \cdot M \cdot P_x \cdot k_{ETCS}) [K\check{c}], \quad (12)$$

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 P_1 až P_5 ,

k_{ETCS} = koeficient vybavenosti vlaku mobilní částí ETCS.

Výpočet C_{pk} zahrnuje přístupové komunikace:

$$C_{pk} = \sum_{n=11}^{n=15} (Z_n^{pk} \cdot m_{pk} \cdot N_{zn}), \quad (13)$$

kde:

C_{pk} = cena za přístupové komunikace v železničních stanicích a zastávkách v celé trase vlaku [Kč],

Z_n^{pk} = základní cena za jedno plánované zastavení vlaku osobní dopravy pro nástup a/nebo výstup cestujících v železničních stanicích a zastávkách kategorie „n“ [Kč/zastavení·t],

m_{pk} = hmotnost vlaku pro výpočet ceny za přístupové komunikace [t],

N_{zn} = plánovaný počet zastavení vlaku osobní dopravy pro nástup a/nebo výstup cestujících v železničních stanicích a zastávkách kategorie „n“.

Při aplikaci na úsek Ústí n. O. – Mor. Karlov pro zjednodušení se všechny výpočty provádějí s řadou 846 (Lint 41). Hmotnost prázdného vozu činí 68 t, obsazeného 71,2 t. Předpokládá se plně obsazený vlak. Podle PoD pro období 14. 12. 2024 – 31. 12. 2024 platí:

$$Z = 0,07306 \text{ [Kč/km/t]},$$

$$P_i = 1 \text{ [-]},$$

$$k_{\text{ETCS}} = 0,9 \text{ [-]} \text{ pro vlaky, vybavené mobilní částí ETCS.}^1$$

Cena za zastavení vlaku se liší dle kategorií stanic (viz příloha C, Tab.3 PoD) a je zohledněna v tab. 4:

Tab. 4 Přehled sazeb dle kategorií stanic a zastávek dle PoD; zdroj: Autor na základě (7)

Kategorie	Cena 2024 [Kč/zastavení/t]	2025 [Kč/zastavení/t]	Počet zastavení
11	0,07	0,11	2
12	0,2	0,08	-
13	0,04	0,06	5
14	0,05	0,05	-
15	0,07	0,05	12

S využitím vzorců 11, 12 a 13 je cena za užití dráhy v roce 2024 C_{UD2024} [Kč/spoj] na tomto úseku:

$$\begin{aligned} C_{UD2024} &= (50 \cdot 0) + (0,07306 \cdot 50 \cdot 71,2 \cdot 1 \cdot 1) + 71,2 \cdot (0,07 \cdot 2 + 0,04 \cdot 5 + 0,07 \cdot 12) = \\ &= 344,11 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{spoj}} \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Od 1. 1. 2025 dochází ke změně výše poplatku za užití dráhy:

$$Z_{2025} = 0,07584 \text{ [Kč/km/t]}$$

$$k_{\text{ETCS}} = 1.$$

Cena za užití dráhy pro rok 2025 C_{UD2025} [Kč/spoj] dle vztahu 11, 12 a 13 na tomto úseku tak činí:

$$C_{UD2025} = 349,73 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{spoj}} \right]. \quad (15)$$

¹ K prosinci 2024 jednotky Lint 41 dopravce LET ještě nebyly vybaveny mobilním zabezpečovačem (29), a proto nemohly využít výhod této slevy. Z tohoto důvodu i v aktuálním stavu je hodnota $k_{\text{ETCS}} = 1$

Při celkovém počtu 147 vlaků týdně a 7644 vlaků ročně, se zjednodušením, že v roce 2024 vlaky jedou přesně 2 týdny (do konce roku 2024), činí pak celkové roční náklady za užití dráhy s užitím vzorců 14 a 15 C_{UD} výsledná [Kč/rok]:

$$C_{UD\text{výsledná}} = 344,11 \cdot 2 \cdot 147 + 349,73 \cdot 50 \cdot 147 = 2\,671\,716 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]. \quad (16)$$

V případě podělení výsledné ceny C_{UD} výsledná [Kč/rok] dopravním výkonem $P_{\text{dopravní}}$ [vlkm/rok], který je známý ze vztahu 2, dostává se cena za užití dráhy v přepočtu na 1 vlkm C_{UD1} [Kč/vlkm]. Ta se ve vzorci 17 stanoví:

$$C_{UD1} = \frac{C_{UD\text{výsledná}}}{P_{\text{dopravní}}} = \frac{2\,671\,716}{382\,200} = 6,99 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{vlkm}} \right]. \quad (17)$$

1.5.3 Cena paliva

Celková spotřeba paliva V_{paliva} , vycházející z dopravního výkonu $P_{\text{dopravní}}$ dle vztahu 2 382 200 vlkm/rok a průměrné spotřeby 0,6 litru na kilometr, činí 229 320 litrů ročně:

$$V_{\text{paliva}} = 382\,200 \cdot 0,6 = 229\,320 \left[\frac{\text{l}}{\text{rok}} \right]. \quad (18)$$

K 1. dubnu 2025 dosahovala průměrná cena motorové nafty 34 Kč/l. Pro dopravce, který je plátcem DPH je to 28,10 Kč/l. S ohledem na velkoobjemový odběr byla zohledněna sleva ve výši 10 %. Výsledné roční náklady na palivo C_{paliva} s užitím vzorce 18 činí pak:

$$C_{\text{paliva}} = 229\,320 \cdot (28,10 \cdot 0,9) = 5\,799\,332,2 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]. \quad (19)$$

1.5.4 Roční náklady celkově

Souhrnem všech uvedených položek – odpisů (dle vztahu 8), poplatků za užití železniční infrastruktury (vzorec 16) a nákladů na pohonné hmoty (vzorec 19) – vychází celkové roční náklady na provoz v úseku Ústí nad Orlicí – Moravský Karlov $N_{\text{roční } 10}$ při 1. scénáři na:

$$N_{\text{roční } 10} = 52\,000\,000 + 2\,671\,716 + 5\,799\,332 = 60\,471\,048 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]. \quad (20)$$

V přepočtu na vlkm podělením dopravním výkonem (dle vztahu 2) vychází náklady na 1 vlkm $N_{\text{roční } 110}$ na:

$$N_{\text{roční } 110} = \frac{60\,471\,048}{382\,200} = 158,22 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{vlkm}} \right]. \quad (21)$$

Při 2. scénáři se roční náklady $N_{\text{roční } 30}$ díky menší hodnotě odpisů (vzorec 10) klesají na:

$$N_{\text{roční}_{30}} = 13\,333\,333 + 2\,671\,716 + 5\,799\,332 = 21\,804\,382 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]. \quad (22)$$

V přepočtu na 1 vlkm mají pak $N_{\text{roční}_{130}}$ hodnotu:

$$N_{\text{roční}_{130}} = \frac{21\,804\,382}{382\,200} = 57,05 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{vlkm}} \right]. \quad (23)$$

1.6 SWOT-analýza současného stavu

V této kapitole je provedena SWOT-analýza aktuálního provozu.

Výhody:

- Není potřebná žádná elektrizace či další úpravy infrastruktury – naftové vlaky vyžadují jen čerpací místa a se svým dojezdem se mohou odstavovat i jednou denně;
- Široký výběr modelů vlaků k nasazení – nejvíce modelů existuje právě ve variantě DMU.

Nevýhody:

- Částečný provoz pod závislou trakcí – neefektivní využití infrastruktury, přičemž větší její části;
- Omezený komfort cestování: hluk motoru, vibrace a výfukový zápach;
- Hlukové zatížení přilehlých pozemků – viz [3.2.1 Hluková zátěž](#).

Příležitosti:

- Možnost využití evropských dotací na dofinancování úplné elektrifikace;
- Nasazením vlaků s AZE odpadá nutnost elektrifikace a nevýhody současného stavu;
- Tlak na dekarbonizaci dopravy zvyšuje šanci na prioritní financování předchozích dvou projektů.

Hrozby:

- Navýšení nákladů spojených s dieselovým provozem kvůli zpřísnění legislativy EU;
- Volatilita cen nafty či její nižší dostupnost;
- Při nedostatečných investicích ztráta na konkurenci vůči silniční dopravě.

Na obr. 7 jsou krátce shrnuty položky provedené SWOT-analýzy.

SILNÉ STRÁNKY	SLABÉ STRÁNKY
Není potřeba modernizace	Nížejší efektivita provozu
PŘÍLEŽITOSTI	HROZBY
Dotace EU na podporu ekologie	Evropská omezení spalovacích motorů

Obr. 7 SWOT-analýza stávajícího stavu; zdroj: Autor

1.7 Shrnutí analýzy

Analýzou současného stavu provozu a infrastruktury bylo zjištěno, že:

- Průměrná obsazenost spojů činí 20 % nebo 25 cestujících a maximální může dosahovat až 135 cestujících, což představuje 107 % aktuální sedící kapacity;
- Jednotky mají delší pobyt v Ústí n. Orlicí, v Mor. Karlově mají čas jen na krátký obrat;
- 70 % tratí má maximální dovolenou rychlost 70-80 km·h⁻¹, ten samý úsek je elektrizovaný soustavou 3 kV DC. Zbýlých 30 % elektrizaci nemají, a rychlost je snížena na 40-60 km·h⁻¹;
- Roční dopravní výkon se rovná 382 200 [vlkm/rok], denní pak 1047,12 [vlkm/den]. Hrubý přepravní výkon je 27 212 640 [hrtkm/rok], což v přepočtu na jeden den je 74 555 [hrtkm/den];
- Celkové roční náklady, které se v případě nasazení jiného typu vlaku mohou změnit, je vhodné počítat dle dvou scénářů (nákup z cizích a z vlastních zdrojů, různá doba odpisování). V 1. scénáři činí 60 471 048 [Kč/rok] a 158,22 [Kč/vlkm], resp. 21 804 382 [Kč/rok] a 57,05 [Kč/vlkm] ve 2. scénáři.

2 Posouzení možnosti nasazení vlaků s AZE

Tato kapitola se zabývá technickým a provozním posouzením možností nasazení vlaků s AZE na analyzovaném úseku. Nejdříve jsou stanoveny minimální požadavky na vozidla, poté následuje analýza jednotlivých typů technologií, jejich vhodnosti a ekonomických dopadů.

Provoz v daném úseku vyžaduje od alternativních jednotek následující parametry:

- minimální dojezd v nezávislé trakci 30 km,
- provoz pod stejnosměrným napájením 3 kV,
- kapacita alespoň 90 míst k sezení.

Tyto parametry slouží jako výchozí kritéria pro výběr vhodného typu jednotky.

2.1 Druhy vlaků s AZE

Mezi hlavní varianty vlaků s AZE se nejčastěji rozlišují tyto možnosti:

- vozidlo trolej-dieselový motor (bi-mode multiple unit, dále BMU),
- vozidlo trolej-akumulátor (battery electric multiple unit, dále BEMU),
- vozidlo palivové články-akumulátor (hydrogen multiple unit, dále HMU).

2.1.1 Vozidla typu BMU

Tento typ vozidel kombinuje elektrický pohon s pomocným dieselovým motorem, a proto bývá označován jako BMU (bimodální jednotka). Alternativně se používá i anglická zkratka EDMU (electrodiesel multiple unit). Na elektrifikovaných tratích tato vozidla čerpají energii z trolejového vedení a mohou při brzdění vracet část energie zpět do sítě. Pokud se pohybují na neelektrifikovaných úsecích, využívají k pohonu dieselový generátor, kvůli čemuž nemají možnost rekuperace.

Hlavní výhodou této technologie je dlouhý dojezd, který se může pohybovat v rozmezí několika stovek až tisíců kilometrů na jednu nádrž. Současně však tento systém přináší i určité nevýhody, mezi které patří vyšší hmotnost vozidla a složitější údržba kvůli přítomnosti obou pohonných systémů. Další komplikací mohou být plány na odklon od dieselové trakce v Evropě v souvislosti s plněním Green deal.



Obr. 8 Jednotka Stadler Flirt BMU (British Rail Class 755), Velim; zdroj: Vladanfoto.cz

Tuto variantu lze snadno aplikovat na vybraný úsek, avšak nevyužije svou hlavní výhodu, protože délka nezávislé trakce za celý obrat činí pouze 30 km. Navíc vlaky nebudou moci získávat energii z rekuperačního brzdění, nmluvě o nízké efektivitě výroby elektrické energie pomocí dieslového motoru. Další nevýhodou je, že aktuálně se nenabízejí kratší než třívozové jednotky, což dle názoru Autora je na této trati zbytečnou kapacitou.

2.1.2 Vozidla typu HMU

Vozidla poháněná vodíkovými palivovými články, která vyrábějí trakční elektrickou energii přímo na palubě, jsou známá jako vodíkové vlaky. Pokud se jedná o jednotku, používá se anglické označení hydrogen multiple unit (HMU). Tato vozidla lze přirovnat k mobilní elektrárně s elektromotorem, kde je zdrojem energie stlačený vodík uložený v nádržích. Pro stabilizaci výkonu jsou vybavena akumulátorem, který pokrývá výkyvy v odběru trakční energie, protože je žádoucí neměnný výkon palivových článků. Dobíjení akumulátoru je možné také během rekuperačního brzdění.

Mezi hlavní výhody patří dlouhý dojezd na jedno doplnění paliva, který může dosahovat až 1 000 km, což činí tuto technologii vhodnou pro tratě bez ani částečné elektrifikace. Dalším benefitem je bezemisní provoz, kdy vozidlo do okolí vypouští pouze vodní páru a teplo.

Nicméně, efektivita energetického cyklu elektřina → vodík → elektřina dosahuje pouze 30–40 %, což je výrazně méně než například u přečerpávacích vodních elektráren s účinností kolem 75 %. To znamená, že vodík není vždy nejlepším řešením z hlediska energetického využití. Přesto nabízí určité výhody, zejména možnost většího dojezdu bez potřeby budování liniové elektrifikaci a časovou flexibilitu z hlediska ukládání energie z obnovitelných zdrojů (například sluneční nebo větrné energie) s následným využitím podle potřeby.

Další nevýhodou jsou vysoké investiční náklady na vybudování vodíkových plnicích stanic, jejichž síť je proto velmi řídká. Pokud je požadováno rychlé plnění vozidel, náklady ještě dále rostou. Plnicí stanice jsou navíc zpravidla umísťovány mimo železniční stanice, což může ztěžovat logistiku provozu.



Obr. 9 Vodíková jednotka Alstom Coradia iLint ve stanici Praha hl.n.; zdroj: seznam-autobusu.cz

Vzhledem k tomu, že trať je již částečně elektrifikovaná a v budoucnu se plánuje její úplná elektrizace (9 str. 12), autor zastává názor, že nasazení vodíkových vlaků v tomto případě postrádá smysl.

2.1.3 Vozidla typu BEMU

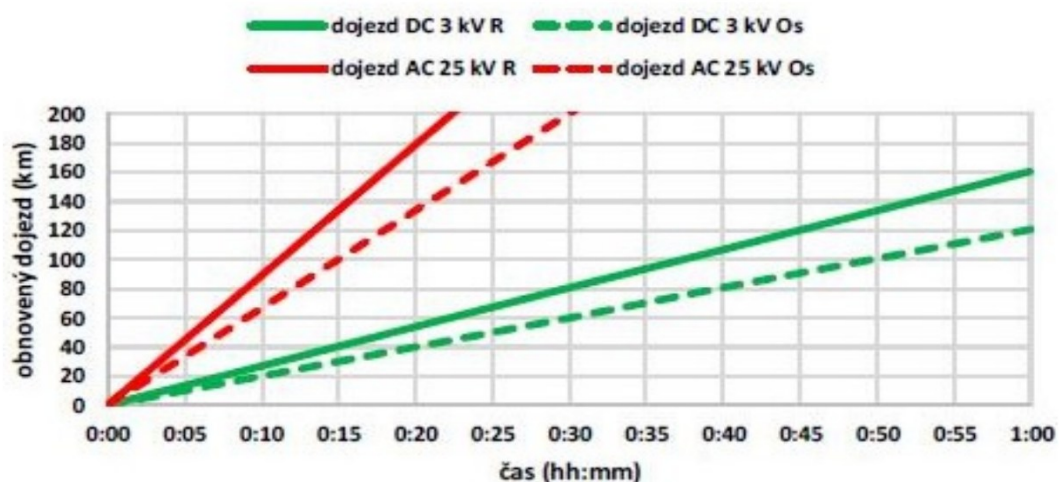
Tento typ vozidel se označuje jako akutrolejové nebo elektricko-akumulátorové vozidlo, přičemž v běžné řeči se dá často setkat i s pojmem „bateriový vlak“. Pokud se jedná o jednotku, používá se anglický termín battery electric multiple unit (BEMU).

Na elektrifikovaných tratích tato vozidla využívají trakční energii z troleje. Současně během jízdy po těchto úsecích mohou dobít akumulátor jak přímo z trolejového vedení, tak i prostřednictvím rekuperačního brzdění. Při provozu na neelektrifikovaných úsecích je pak hnací energie čerpána výhradně z akumulátoru. I zde lze rekuperací získávat zpět část energie, což se ukazuje jako výhodné zejména pro regionální dopravu s častými rozjezdy a brzděními.



Obr. 10 Bateriová jednotka Siemens Mireo Plus B; zdroj: press.siemens.com

Dalším benefitem je možnost tzv. statického dobíjení baterií během stání ve stanicích s elektrifikací. Rychlost nabíjení ovšem závisí na napájecím systému: při stejnosměrném napětí 3 kV je maximální proud omezen na 200 A kvůli riziku přepálení troleje, což výrazně prodlužuje dobu nabíjení. U střídavého napájení je proces téměř dvakrát rychlejší, nicméně stále nedosahuje rychlosti obnovení kilometrického dojezdu za čas.



Obr. 11 Limitní možnosti nabíjení stojícího vozidla o hmotnosti 100 tun přes sběrač z trakčního vedení;
zdroj: (10 str. 67)

Aktuální technologie umožňuje dojezd přibližně 80 km na jedno nabití, přičemž přesná vzdálenost se odvíjí od sklonových a rychlostních poměrů trati, počtu zastavení, hmotnosti cestujících i stylu řízení strojvedoucího.

2.1.4 Porovnání typů vozidel

V tab. 5 je uveden stručný přehled možných variant vlaků s AZE a jejich vlastnosti (11 str. 51). Pro kvantitativní analýzu byly vybrány reprezentativní modely, které patří do stejné kategorie – jsou určeny pro regionální osobní dopravu a mají podobnou přepravní kapacitu, přibližně 150 míst k sezení. Jako referenční modely byly zvoleny Stadler Flirt pro bateriově-diesellové jednotky (obr. 8), Alstom iLint pro vodíkové jednotky (obr. 9) a Mireo Plus B pro bateriové jednotky (obr. 10).

Tab. 5 Porovnání různých variant pohonů vlaků a jejich charakteristiky; zdroj: (11), (12), (13), (14) (15), (16),

Vlak	Stadler Flirt BMU	Alstom iLint HMU	Mireo Plus B BEMU
Dojezd [km]	Více než 1000	600-800	120
Cena [mil. Kč]	215	137,5	166,7
Počet míst k sezení	176	160	120
Hmotnost ve službě	186,1 (162+14,08+2)	121,8 (107+12,8+2)	104,6 (93+9,6+2)
Výhody – obecně	Bezkompromisní dojezd	Bezemisní provoz	Plné využití stávající infrastruktury
Nevýhody – obecně	Komplikovaná konstrukce	Velké investice do vodíkové infrastruktury	Krátký dojezd, vyšší pořizovací cena
Nevýhody	Příliš velká jednotka (kapacitně i hmotnostně)	Větší část cesty (70 %) je pod závislou trakcí	Je nutno posoudit minimální dojezd

S ohledem na relativně krátký úsek nezávislé trakce (15 km), délku pobytu vlaků v elektrifikované stanici Ústí nad Orlicí, charakter provozu (zastávkové vlaky – průměrná mezizastávková vzdálenost činí 2,59 km) a plány Správy železnic na kompletní elektrizaci trati (1), autor dospěl k závěru, že nasazení právě bateriových vlaků je nejvýhodnější variantou.

2.1.5 Porovnání vozidel BEMU

Zvolená jednotka Siemens Mireo Plus B byla uvedena jako příklad jednotky BEMU. Nicméně v oblasti bateriových vlaků existují i další výrobci a modely. Po stanovení, že nejvhodnější variantou alternativního pohonu je právě technologie BEMU, je nyní nezbytné vybrat nejvhodnější konkrétní jednotku.

Z veřejně dostupných zdrojů se podařilo získat srovnatelné informace o čtyřech modelech: Stadler Flirt Akku, Alstom Coradia Continental, Bombardier Talent 3 a Škoda RegioPanter. Jejich hlavní technické parametry jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6 Porovnání různých jednotek BEMU a jejich charakteristiky; zdroj: (17), (18), (19), (20), (21)

Vlak	Stadler Flirt Akku	Alstom Coradia Continental	Bombardier Talent 3	Škoda RegioPanter	Mireo Plus B
Dojezd [km]	185	120	100	80	120
Cena [mil. Kč]	272,7	227,3	150	175	166,7
Počet míst k sezení [míst]	124	150	169	150	120
Hmotnost ve službě [t]	112	154 ²	129	-	104,6
Výhody	Největší dojezd	Optimální počet míst k sezení	Nejnižší cena	DC soustava „z továrny“	Nízká hmotnost
Nevýhody	Vysoká cena	Vysoká hmotnost	Není přizpůsoben k DC	Nízký dojezd a chybějící informace	Menší počet míst k sezení

Jak je patrné z tabulky, každý z uvedených modelů má své výhody a nevýhody. Stadler nabízí mimořádně vysoký dojezd, avšak jeho pořizovací cena je nejvyšší ze všech porovnávaných jednotek. Alstom Coradia disponuje ideálním počtem míst k sezení, který téměř dokonale odpovídá maximální přepravní poptávce na dané trase, avšak jeho hmotnost

² Informace o hmotnosti elektrické jednotky; u bateriové jednotky by kvůli akumulátorům byla hmotnost ještě vyšší

je podstatně vyšší. Bombardier má perfektní podíl ceny k parametrům, ale při následující kontrole bylo zjištěno, že žádný model pro DC soustavu neexistuje, případná modernizace nebyla zatím nikdy udělána, což by tvořilo další komplikace při výpočtech a nasazení. U modelu Škoda není dostupná informace o hmotnosti, což znemožňuje dále provést přesné výpočty.

Na základě výpočtů Autora je Siemens Mireo Plus B druhou nejvhodnější volbou po jednotce Bombardier Talent 3. Vzhledem k nedostatku klíčových údajů u Bombardier Talent 3 je však jako referenční jednotka pro další výpočty zvolen model Siemens Mireo Plus B.

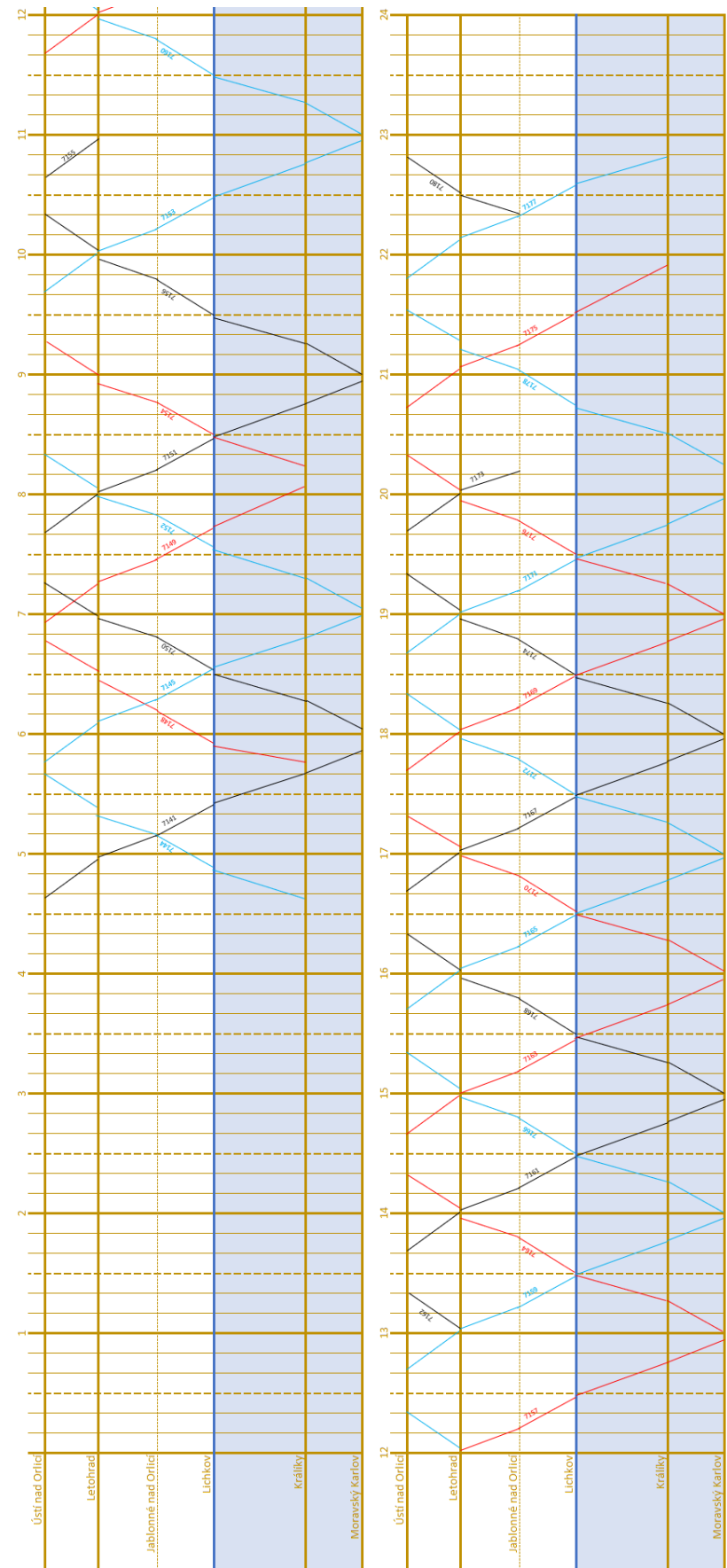
2.1.6 Nabíjení baterií stejnosměrným proudem

Při analýze železniční infrastruktury a navrhovaných jednotek BEMU se nabízí otázka, jak mohou být vozy určené pro 25 kV AC nabíjeny a provozovány v síti stejnosměrného napětí 3 kV DC. Například společnost Siemens provedla případovou studii na trati Charleroi–Couvin v Belgii (22 str. 107), kde přibližně 88 % sítě je pod stejnosměrnou soupravou (23). Jedinou nutnou úpravou je instalace vícenásobného sběrače pro 1,5/3 kV DC a 15/25 kV AC (který je u Siemensu již vyráběn sériově) (24) a zabudování DC/DC měniče, jenž sníží napětí 3 kV na 1 kV pro stejnosměrnou část trakčního pohonu a/nebo přímo nabíjí baterii.

2.2 Provozní koncept

Na základě analýzy oběhů souprav z KJŘ byly vyhodnoceny provozní podmínky pro bateriové jednotky v jednotlivých obězích. Vzhledem k malé délce nezávislé trakce není potřeba upravovat stávající oběhy souprav. Navíc odpadají dříve nutné jízdy na doplnění paliva, což zjednodušuje provozní plánování. Na obr. 12 je pro větší přehlednost nezávislý provoz označen modrou výplní.

První souprava (na obr. 12 označena černou čarou) stráví v nezávislém provozu maximálně 1 hodinu a 4 minuty, během nichž ujede celkově 30 km a setrvá 10 minut v Moravském Karlově – viz obr. 12. Tato vzdálenost odpovídá přibližně čtvrtině maximálního dojezdu dle informace z webu výrobce, a proto by ani v nejnepříznivějších podmínkách neměla nastat situace, kdy dojde k vybití baterií. Zároveň vozidlo operuje na elektrifikovaném úseku minimálně 2 hodiny, přičemž 20 minut z toho stojí ve stanici s možností statického dobíjení.



Obr. 12 Oběhy vozidel; zdroj: Autor s využitím KJŘ

Druhá souprava (na obr. 12 označena modrou čarou) v první části svého denního oběhu tráví pod trolejí o 20 minut méně než obvykle, tedy 1 hodinu a 40 minut a ve stanici Ústí nad Orlicí stojí pouze 6 minut místo obvyklých 22. Dále mezi 19:30 a 20:42 dochází k delšímu pobytu mimo elektrifikaci. Souprava je na noc odstavena v Králíkách, kde není možnost napájení z troleje, což může být problematické v zimních měsících, pokud je nutné aktivně ohřívat baterie. Vzhledem k tomu, že vzdálenost úseku nezávislé trakce do Králíků je přibližně poloviční oproti standardní trase, lze předpokládat, že zbylá kapacita baterie bude dostatečná pro zajištění provozu i za ztížených klimatických podmínek. Navíc je v této stanici organizována dobíjecí stanice na palubní elektroniku, což může pomoci případnému ohřevu baterií a interiéru (25 str. 94).

Třetí oběh (na obr. 12 označen červenou čarou) neobsahuje žádné další dříve nepopsané rizikové prvky a také může být zachován beze změn.

Do oběhů byly zahrnuty všechny spoje, které jezdí mezi stanicemi Ústí nad Orlicí a Moravský Karlov. Však vzhledem k tomu, že dopravce LET zajišťuje dopravu na celé trati 024, která má kromě úseku Dolní Lipka – Štítý také neelektrifikovaný úsek Dolní Lipka – Hanušovice, a oběhy těchto spojů nejsou v rámci této analýzy zkoumány, objevují se v jízdním řádu příležitostně spoje, jejichž zařazení nelze logicky vysvětlit. S největší pravděpodobností jsou tyto nepravidelnosti způsobeny operacemi spojenými se spojováním a rozpojováním vlakových souprav, přesuny vozidel mezi sousedním úsekem Hanušovice – Ústí nad Orlicí nebo jinými provozními skutečnostmi, které nejsou v jízdním řádu explicitně zaznamenány. V důsledku těchto faktorů tvoří spoje zahrnuté do oběhů přibližně 70 % celkového počtu vlaků.

2.3 Technologické ukazatele

Tato část se zaměřuje na technické parametry, které souvisejí s perspektivou provozu bateriových vlaků na vybraném úseku. Analyzovány jsou dopravní a přepravní výkony, počet vlaků, což představuje důležitý základ pro následné ekonomické hodnocení.

Pro další výpočty je uvažována hmotnost soupravy 104,6 tun. Tento údaj vychází ze sčítání hmotnosti prázdné jednotky Mireo Plus B (93 t), cestujících (9,6 t) a provozních kapalin (2 t), obdobně jako u výpočtů pro jednotku Lint 41.

Dopravní výkon a hrubý přepravní výkon

Délka úseku činí 50 km, celkový počet vlaků 7 644 ročně. Dopravní výkon $P_{dopravní}$ se tedy v porovnání s aktuálním stavem popsaným v první kapitole nemění a zůstává podle vzorce 2 382 200 [vlkm/rok]. Pro výpočet hrubého přepravního výkonu $P_{přepravní}$ je použita průměrná hmotnost vozidla M_{vlaku} 104,6 [t]. Výsledný hrubý přepravní výkon tak činí:

$$P_{přepravní} = P_{dopravní} \cdot M_{vlaku} = 382\,200 \cdot 104,6 = 39\,978\,120 \left[\frac{\text{hrtkm}}{\text{rok}} \right]. \quad (24)$$

Průměrný denní přepravní výkon se potom rovná 109 529 [hrtkm/den].

2.4 Ekonomické ukazatele

Tato část navazuje na předchozí technologickou analýzu a hodnotí ekonomické dopady nasazení bateriových jednotek. Výpočty zahrnují pořizovací cenu, náklady na užití ŽDC, spotřebu elektrické energie a na závěr součet ročních provozních nákladů.

2.4.1 Odpisy

V následujícím výpočtu se vychází ze stejných provozních předpokladů jako u Lint 41 – oběhy jednotek zůstávají beze změny (průměrný denní výkon jedné jednotky činí 500 km), počet nasazených vlaků je stále čtyři (3 v provozu a 1 je záložní) a používá se lineární model odpisování ve dvou scénářích: první s koeficientem finančních nákladů K_f a dobou odpisování 10 let (nákup jednotek z cizích zdrojů), druhý bez koeficientu K_f a s dobou odpisování 30 let. Tím je zajištěna plná srovnatelnost s předchozími výsledky a umožněno objektivní porovnání nákladovosti obou typů vozidel.

Zprv je potřeba zjistit odpisy na jeden vlakový kilometr, k čemuž je vhodné použít dříve zmíněný vzorec 7 a pořizovací cenu Mireo Plus B $C_v = 166\,700\,000$ [Kč]. V první scénáři dle vzorce 25 náklady jsou:

$$c_{odp_{10}} = \frac{k_f \cdot c_v}{T_o \cdot 365 \cdot L_d} = \frac{1,3 \cdot 1,667 \cdot 10^8}{10 \cdot 365 \cdot 500} = 118,75 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{vlkm}} \right], \quad (25)$$

kde:

$c_{odp_{10}}$ – cena odpisů na 1 vlkm v první scénáři [Kč/vlkm],

c_v – cena vozidla [Kč],

T_o – doba odpisování [let],

L_d – zjednodušený denní průměrný proběh jednoho vlaku [km/den].

Celkové roční odpisy všech jednotek pak činí:

$$C_{odp_{10}} = \frac{k_f \cdot c_v \cdot n_{vl}}{T_o} = \frac{1,3 \cdot 1,667 \cdot 10^8 \cdot 4}{10} = 86\,684\,000 \left[\frac{K\check{c}}{rok} \right], \quad (26)$$

kde:

$C_{odp_{10}}$ – roční hodnota odpisů v první scénáři [Kč/rok],

K_f – koeficient finančních nákladů (viz vzorec (6)) [-],

c_v – cena vozidla [Kč],

T_o – doba odpisování [let],

n_{vl} – počet potřebných vozidel [vlaků].

Cena odpisů bateriových jednotek je u první scénáře asi o 30 milionů, tedy o 35 % vyšší, než cena odpisů Lint 41 při stejných parametrech a režimu odpisování. Při druhé scénáři vycházejí pak odpisy na 1 vlkm dle vzorce 27 následovně:

$$C_{odp_{130}} = \frac{k_f \cdot c_v}{T_o \cdot 365 \cdot L_d} = \frac{1,667 \cdot 10^8}{30 \cdot 365 \cdot 500} = 30,45 \left[\frac{K\check{c}}{vlkm} \right], \quad (27)$$

kde:

$C_{odp_{130}}$ – cena odpisů na 1 vlkm ve druhé scénáři [Kč/vlkm],

c_v – cena vozidla [Kč],

T_o – doba odpisování [let],

L_d – zjednodušený denní průměrný proběh jednoho vlaku [km/den].

Celkové roční odpisy všech jednotek činí:

$$C_{odp_{30}} = \frac{k_f \cdot c_v \cdot n_{vl}}{T_o} = \frac{1,667 \cdot 10^8 \cdot 4}{30} = 22\,226\,666 \left[\frac{K\check{c}}{rok} \right], \quad (28)$$

kde:

$C_{odp_{30}}$ – roční hodnota odpisů ve druhé scénáři [Kč/rok],

K_f – koeficient finančních nákladů (viz vzorec (6)) [-],

c_v – cena vozidla [Kč],

T_o – doba odpisování [let],

n_{vl} – počet potřebných vozidel [vlaků].

Při financování výhradně z vlastních zdrojů a předpokladu životnosti $T = 30$ [let] dochází k rovnoměrnějšímu rozložení odpisů v rámci celkových nákladů, čímž se zvyšuje ekonomická efektivita projektu. V rámci přehledu celkových nákladů jsou proto uvedeny odpisy jak pro variantu s životností 10 let („scénář 1“), tak i pro variantu s životností 30 let („scénář 2“).

2.4.2 ŽDC

Pro zajištění přehlednosti a srovnatelnosti výpočtů se náklady na použití železniční infrastruktury počítají podle původních vzorců pro rok 2024-25, jako by již byly nasazeny bateriové jednotky. Tím se eliminuje vliv meziročních změn cen za použití infrastruktury. S využitím vzorce 11 může cena za užití dráhy v roce 2024 $C_{UD_{2024}}$ na tomto úseku být:

$$C_{UD_{2024}} = (50 \cdot 0) + (0,07306 \cdot 50 \cdot 104,6 \cdot 1 \cdot 0,9) + 104,6 \cdot (0,07 \cdot 2 + 0,04 \cdot 5 + 0,07 \cdot 12) = 467,321 \left[\frac{Kč}{\text{spoj}} \right]. \quad (29)$$

Pro rok 2025 vychází pak cena $C_{UD_{2025}}$ [Kč/spoj] dle vztahu 11 následovně:

$$C_{UD_{2025}} = (50 \cdot 0) + (0,07584 \cdot 50 \cdot 104,6 \cdot 1) + 104,6 \cdot (0,11 \cdot 2 + 0,06 \cdot 5 + 0,05 \cdot 12) = 513,795 \left[\frac{Kč}{\text{spoj}} \right]. \quad (30)$$

Cena za použití dráhy dle vztahů 29 a 30 v období 14.12.2024 – 31.12.2024 činí 467,321 Kč/spoj, zatímco pro období 1.1.2025 – 31.12.2025 vychází na 513,795 Kč/spoj. Výsledné roční náklady $C_{UD_{výsledná}}$ pak při zjednodušeném uvažování 2 týdnů v 1. období a 50 týdnů ve 2. období dosahují:

$$C_{UD_{výsledná}} = 467,321 \cdot 2 \cdot 147 + 513,795 \cdot 50 \cdot 147 = 3\,913\,787 \left[\frac{Kč}{\text{rok}} \right]. \quad (31)$$

V případě, že je výsledná cena $C_{UD_{výsledná}}$ [Kč/rok] rozdělena podle dopravního výkonu $P_{dopravní}$ [vlkm/rok] známého ze vztahu 2 získá se cena za užití dráhy přepočtená na 1 vlkm C_{UD_1} . Tato cena se stanovuje dle vztahu 32:

$$C_{UD_1} = \frac{C_{UD_{výsledná}}}{P_{dopravní}} = \frac{3\,913\,787}{382\,200} = 10,24 \left[\frac{Kč}{\text{vlkm}} \right]. \quad (32)$$

Tato cena je v důsledku zhruba o milion, tedy o 25 % vyšší, než cena za užití dopravní cesty stávajícími jednotkami Lint 41 při stejném provozu.

2.4.3 Cena elektřiny

Osobní zastávkové vlaky spotřebují 40 kWh/1000 hrtkm, cenu elektřiny pro rok 2025 lze uvažovat 3,10 – 3,5 Kč / kWh (Zdroj: (7)). S celkovým výkonem $P_{\text{přepavní}} 39\,978\,120$ [hrtkm] (dle vzorce 24) a zmíněnou cenou elektřiny činí roční náklady na energii:

$$39\,978\,120 \cdot 0,04 \cdot 3,3 = 5\,277\,111 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]. \quad (33)$$

2.4.4 Roční náklady celkově

Po sečtení nákladů na odpisy (vzorec 26), využití infrastruktury (dle vztahu 31) a spotřebu elektrické energie (vztah 33) činí celkové roční náklady $N_{\text{roční } 10}$ v první scénáři:

$$N_{\text{roční } 10} = 86\,684\,000 + 3\,913\,787 + 5\,277\,111 = 95\,874\,898 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]. \quad (34)$$

V přepočtu na vlkm rozdělením celkových ročních nákladů $N_{\text{roční } 10}$ [Kč/rok] dopravním výkonem $P_{\text{dopravní}}$ [vlkm/rok] (dle vztahu 2) vychází náklady na vlkm $N_{\text{roční } 10}$ na:

$$N_{\text{roční } 10} = \frac{95\,874\,898}{382\,200} = 250,85 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{vlkm}} \right]. \quad (35)$$

Při 2. scénáři se roční náklady $N_{\text{roční } 30}$ díky menší hodnotě odpisů (dle vztahu 28) klesají na:

$$N_{\text{roční } 30} = 22\,226\,666 + 3\,913\,787 + 5\,277\,111 = 31\,417\,564 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right]. \quad (36)$$

V přepočtu na 1 vlkm mají pak náklady $N_{\text{roční } 30}$ hodnotu:

$$N_{\text{roční } 30} = \frac{31\,417\,564}{382\,200} = 82,20 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{vlkm}} \right]. \quad (37)$$

Pro budoucí rozšíření analýzy by bylo vhodné zahrnout i náklady na údržbu, které v této práci nebyly řešeny vzhledem k nedostatku dostupných údajů o servisních nákladech na bateriové jednotky, způsobenému novostí této technologie.

2.5 Shrnutí posuzovaných možností

Analýzou možností nasazení vlaků s AZE bylo zjištěno následující:

- Z aktuálně nabízených variant alternativních vlaků nejvíce vyhovující v podmínkách této tratí jsou bateriové jednotky (BEMU), nejmíň pak vodíkové (HMU);
- Provozní koncept tak může být zachován beze změn – akumulátory mají dostatečnou kapacitu a stíhají se nabít během jízdy a stání v závislé trakci;

- Dopravní výkon tak zůstává stejný a rovná se 382 200 [vlkm/rok], přepravní výkon pak kvůli vyšší hmotnosti činí 39 978 120 [hrtkm/rok], v přepočtu na den 109 529 [hrtkm/den];
- Roční náklady na provoz bateriových vlaků silně záleží na podmínkách odpisování: v první scénáři představují 95 874 898 [Kč/rok], v přepočtu na vlkm tedy 250,85 [Kč/vlkm]; ve druhé scénáři klesají na 31 417 564 [Kč/rok], nebo 82,20 [Kč/vlkm].

3 Zhodnocení navržených řešení a doporučení

Tato kapitola se věnuje vyhodnocení přínosů a případných omezení spojených s nasazením bateriových jednotek na vybraném železničním úseku. Hodnocení zahrnuje jak technické, tak environmentální aspekty provozu. Jsou posouzeny dopady na kapacitu, obraty souprav a provozní ukazatele, stejně jako vliv na okolní prostředí, včetně hlukové zátěže a emisí škodlivých látek.

3.1 Technické ukazatele

Tato část se zaměřuje na technické aspekty provozu nových bateriových jednotek. Zhodnoceny jsou kapacitní možnosti, návaznost na stávající oběhy souprav i přehled hlavních provozních parametrů ve srovnání s dosud používanými vozidly.

3.1.1 Kapacita jednotek

Mireo Plus B má ve dvouvozovém provedení 120 míst k sezení, když Lint 41 má 126 míst a Lint 27 má 60. Průměrné vytížení spojů činí asi 20–25 % sedící kapacity, maximální pak 107 %. Zredukování kapacity o 6 míst, tj. o 5 %, nemusí představovat problém na většině spojů. I na těch nejvytíženějších pak cestující stojí maximálně 20 minut, což je pod přípustnou hranicí.

Jednotky Lint řady 27 jsou však velmi užitečné na nejslabších spojích, zejména večerních. Nové jednotky by na těchto spojích mohly mít až nadbytečnou kapacitu, což by ale na druhou stranu zjednodušilo plánování oběhů. Z hlediska kapacity proto Autor nepředpokládá, že by nasazení bateriových jednotek mělo negativní dopad na provoz.

3.1.2 Obraty souprav

Vzhledem k vysokému dojezdu bateriových jednotek se neočekává potřeba zásahů do stávajících oběhů. Obraty lze zachovat v původní podobě.

3.1.3 Přehled technických specifikací

Pro lepší přehlednost jsou veškeré klíčové technické ukazatele shrnuty v tab. 7, která porovnává klasické jednotky Lint 41 s navrhovanými bateriovými jednotkami Mireo Plus B. Tabulka byla vytvořena s užitím informací ze vzorců 4, 24, 20, 34, 22, 36, 21, 35, 23, 37.

Tab. 7 Porovnání parametrů spojených se stávající a navrženou jednotkami; zdroj: Autor

Parametr	Lint 41	Mireo Plus B
Kapacita [míst k sezení]	126	120
Přepravní výkon [hrtkm/rok]	27 212 640	39 978 120
Roční náklady 1.scénář [Kč/rok]	60 471 048	95 874 898
Roční náklady 2.scénář [Kč/rok]	21 804 382	31 417 564
Náklady 1. scénář [Kč/vlkm]	158,22	250,85
Náklady 2. scénář [Kč/vlkm]	57,05	82,20

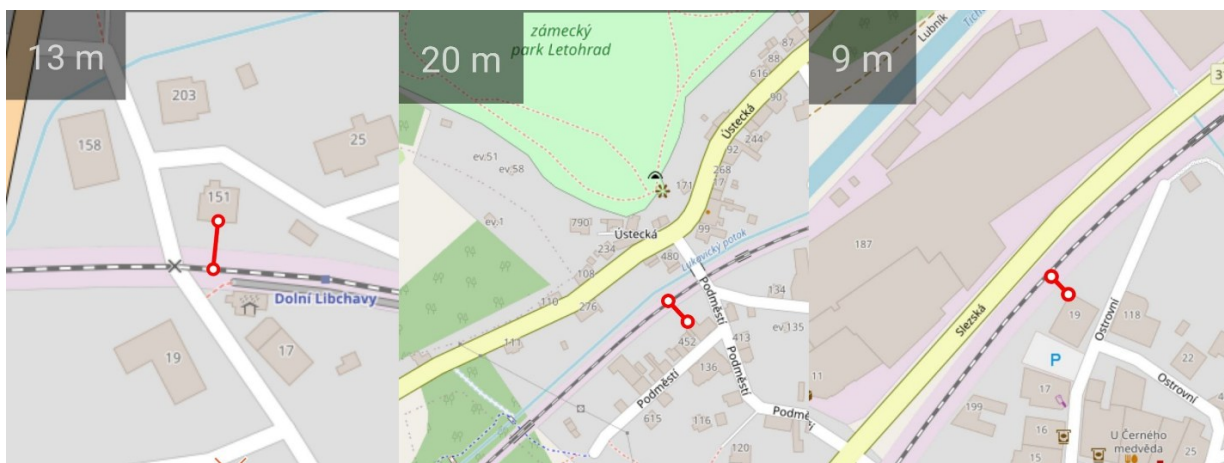
Z uvedeného srovnání vyplývá, že Mireo Plus B nabízí srovnatelnou kapacitu i provozní efektivitu jako dosud používaný typ Lint 41. Navzdory vyšším pořizovacím a provozním nákladům dosahuje vyššího přepravního výkonu, což odráží její modernější konstrukci a vyšší specifickou hmotnost přepravy. Rozdíl v kapacitě je zanedbatelný, a z hlediska celkových technických parametrů lze Mireo Plus B označit za vhodnou náhradu klasických vozidel.

3.2 Dopad na okolí

V této části jsou posouzeny vlivy navrženého řešení na životní prostředí a kvalitu života v okolí trati. Zaměřuje se na rozdíly v hlukové zátěži mezi dieselovými a elektrickými jednotkami a na emise škodlivých látek produkované během provozu.

3.2.1 Hluková zátěž

Elektrické jednotky produkují výrazně nižší hladinu hluku než jednotky dieselové, zejména při rozjezdech a v rychlostech do $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (26 str. 15). Vzhledem k charakteru provozu (zastávkové vlaky) a časté blízkosti obytné zástavby (viz obr. 13) představuje hluk významný faktor, který může při nasazení tišších bateriových vlaků pozitivně ovlivnit kvalitu života místních obyvatel.



Obr. 13 Vzdálenost ŽDC od obytných domů; zdroj: Autor s využitím OSM

3.2.2 Emise škodlivých látek

V interiéru dieselových jednotek bylo naměřeno vyšší množství znečišťujících látek než v jednotkách elektrických (27). Navíc z hlediska emisí CO₂ činí průměrná produkce elektrických vlaků přibližně 50 gramů na kilometr, zatímco dieselové vlaky produkují přibližně 175 gramů CO₂ na kilometr (28). Přejít na bateriové jednotky by tak znamenal výrazné snížení emisní zátěže v dané oblasti.

ZÁVĚR

V rámci analýzy současného stavu bylo zjištěno, že přibližně 70 % trati je elektrifikováno stejnosměrným proudem o napětí 3 kV DC, zatímco zbývajících 30 %, tedy 15 km, tvoří úsek nezávislé trakce. Vzhledem k uvedenému stavu se pro daný úsek jako logicky vhodnější jeví nasazení bateriových nebo hybridních vlakových jednotek.

Obsazenost vlaků se pohybuje mezi 20 a 25 %. V úseku Ústí nad Orlicí – Letohrad může dosahovat až 135 osob, tedy 107 % aktuální kapacity. Na základě těchto zjištění bylo uzavřeno, že kapacita budoucích jednotek by neměla být nižší než 90 míst k sezení. Jako nejvhodnější byla vybrána jednotka Mireo Plus B: tento typ disponuje kapacitou srovnatelnou s dosud používanými jednotkami Lint 41.

Následně byla provedena analýza technologických a ekonomických ukazatelů, včetně změn nákladů souvisejících s přechodem na nový typ vozidel. Hodnoceny byly odpisy, náklady na užívání dopravní cesty a spotřebu energie. Dopravní výkon zůstává nezměněn na hodnotě 382 200 vlkm ročně. Hrubý přepravní výkon vzhledem k vyšší hmotnosti jednotky Mireo Plus B vzrostl přibližně o 47 %, z 27 212 640 hrtkm/rok na 39 978 120 hrtkm/rok.

Přes počáteční očekávání Autora, že provozní náklady se díky nasazení bateriových jednotek sníží, bylo zjištěno, že došlo k jejich značnému nárůstu. V optimistickém scénáři vzrostly náklady o 44,1 % ze stávajících 21 804 382 Kč/rok (57,05 Kč/vlkm) na 31 417 564 Kč/rok (82,20 Kč/vlkm). V pesimistickém scénáři navíc činí nárůst 58,5 %, a to z 60 471 048 Kč/rok (158,22 Kč/vlkm) na 95 874 898 Kč/rok (250,85 Kč/vlkm).

Závěrem Autor i přesto doporučuje nasazení bateriových jednotek na analyzovaném úseku, a to i přes předpokládané zvýšení provozních nákladů. Tento krok by přispěl ke zvýšení atraktivity veřejné dopravy, snížení hlukové zátěže a emisí v okolí trati a zároveň by představoval významný krok směrem k plnění cílů stanovených zelenou dohodou pro Evropu (Green Deal).

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- (1) ZDOPRAVY.CZ. *Další prostá elektrizace: projekt na úpravu trati kolem Tiché Orlice připraví Sudop Brno*. [online]. 10. prosinec 2024 [cit. 2025-03-07]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/dalsi-prosta-elektrizace-projekt-na-upravu-trati-kolem-tiche-orlice-pripravi-sudop-brno-230011/>.
- (2) HOPKINS, John B. *Railroads and the Environment: Estimation of Fuel Consumption in Rail Transportation. Sv. 1, Analytical Model*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, May 1975. DOT/FRA/ORD-75/11. Dostupné z: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/11870>.
- (3) ATLASVOZU.CZ. *Řada LET 846 – popis*. [online]. [bez data; cit. 2025-03-07]. Dostupné z: <https://www.atlasvozu.cz/rada/let/429-846.html>.
- (4) ATLASVOZU.CZ. *Řada LET 832 – popis*. [online]. [bez data; cit. 2025-03-07]. Dostupné z: <https://www.atlasvozu.cz/rada/let/430-832.html>.
- (5) HERWARTZ, Sebastian; PAGENKOPF, Johannes; STREULING, Christoph. Sector coupling potential of wind-based hydrogen production and fuel-cell train operation in regional rail transport in Berlin and Brandenburg. *International Journal of Hydrogen Energy*. 9 leden 2021, vol. 46, no. 5, s. 3986–4004. ISSN 0360-3199. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.10.249>.
- (6) RAILVOLUTION.NET. *More Coradia LINT 41 DMUs for HLB*. [online]. 30. březen 2020 [cit. 2025-04-19]. Dostupné z: <https://www.railvolution.net/news/more-coradia-lint-41-dmus-for-hlb>.
- (7) POHL, Jiří. *Náklady a výnosy v osobní železniční dopravě*. Pardubice, 2024. [cit. 2025-04-26].
- (8) KOMUHENDO, Martina a ZHAI, Yuanjian. *An Analysis of Fossil-Free Alternatives for Swedish Railway*. Master thesis. Luleå: Luleå University of Technology, June 2020. ISBN 978-91-7883-140-2. Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1449438/FULLTEXT01.pdf>.
- (9) SPRÁVA ŽELEZNIC. *Prohlášení o dráze celostátní a drahách regionálních 2025*. [online]. 14. prosinec 2023 [cit. 2025-03-07]. Dostupné z: https://www.spravazeleznice.cz/.../Prohlaseni_2025_CaR_2_zmena_web.pdf.

- (10) SPRÁVA ŽELEZNIC. *Plán investic 2024 – 1. změna*. [online]. 24. květen 2024 [cit. 2025-03-07]. Dostupné z: https://www.spravazeleznic.cz/.../Plan_investic_2024_1_zmena_web.pdf.
- (11) SLÁDEK, František; NACHTIGALL, Petr; VOJTEK, Martin. Představení vzájemných vazeb mezi vozidly s alternativními pohony, infrastrukturou a náklady. *Vědeckotechnický sborník Správy železnic, státní organizace*. 5/2021. Praha: Správa železnic, květen 2021. ISSN 2787-710X. [online]. Dostupné z: https://www.spravazeleznic.cz/.../Vedekotechnicky_sbornik_5_2021.pdf.
- (12) SGUGGIARI.CH. *Flirt 3 bimodale BTR 813 per la Valle d'Aosta*. [online]. 26. červen 2017 [cit. 2025-04-26]. Dostupné z: <https://sguggiari.ch/>.
- (13) *Elettrotreno BTR 813*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. [bez data; cit. 2025-04-26]. Dostupné z: https://it.wikipedia.org/wiki/Elettrotreno_BTR_813.
- (14) RAILENGINEER. *Hydrail comes of age*. [online]. 5. leden 2018 [cit. 2025-04-26]. Dostupné z: <https://www.railengineer.co.uk/hydrail-comes-of-age/>.
- (15) WILCOCK, Rich. Siemens secure largest Mireo order to date. *Rail Technology Magazine*. [online]. 15. prosinec 2023 [cit. 2025-04-02]. Dostupné z: <https://www.railtechnologymagazine.com/articles/siemens-secure-largest-mireo-order-date>.
- (16) *Siemens Mireo*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. [bez data; cit. 2025-04-22]. Dostupné z: https://de.wikipedia.org/wiki/Siemens_Mireo.
- (17) RAILWAY PRO. Successful battery technology tested on FLIRT train. [online]. 30. březen 2021 [cit. 2025-04-26]. Dostupné z: <https://www.railwaypro.com/wp/successful-battery-technology-tested-on-flirt-train/>.
- (18) INTERNATIONAL RAILWAY JOURNAL. Alstom unveils battery train for Mid-Saxony. [online]. 22. srpen 2023 [cit. 2025-04-26]. Dostupné z: <https://www.railjournal.com/fleet/alstom-unveils-battery-train-for-mid-saxony/>.
- (19) 18. SPOTLOG. *Electric Multiple Unit: DB Baureihe 1440*. [online]. [bez data; cit. 2025-04-26]. Dostupné z: <https://spotlog.org/loclist/class/de/1440.1>.
- (20) ZDOPRAVY.CZ. Potvrzeno: Škoda dodá bateriové vlaky pro ČD, nikdo jiný se nepřihlásil. [online]. 10. červen 2024 [cit. 2025-04-26]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/potvrzeno-skoda-doda-bateriove-vlaky-pro-cd-nikdo-jiny-se-neprihlasil-208926/>.

- (21) DOLLINGER, Andreas; PERNIČKA, Jaromír. *Talent 3 BEMU in Passenger Service*. [online]. Gunzenhausen: Railway Public s.r.o., 14. únor 2022 [cit. 3. 5. 2025]. Dostupné z: <https://www.railvolution.net/news/talent-3-bemu-in-passenger-service>.
- (22) INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS. *Battery trains – slides*. [online-PDF]. [bez data; cit. 2025-04-26]. Dostupné z: https://uic.org/events/IMG/pdf/battery_trains-slides-v1_compressed.pdf.
- (23) *Transport in Belgium*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. [bez data; cit. 2025-04-26]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Transport_in_Belgium.
- (24) SIEMENS MOBILITY. *MoComp pantographs*. [online]. 2025 [cit. 2025-04-26]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/us/en/portfolio/rolling-stock-components/pantographs.html>.
- (25) POSPÍŠIL, Luboš. *Provozní koncepce trati Dolní Lipka – Hanušovice*. Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, 2023. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/111476/F6-BP-2023-Pospisil-Lubos-Provozni_koncepce_trati_Dolni_Lipka_Hanusovice.pdf.
- (26) PRONELLO, C. The measurement of train noise: a case study in northern Italy. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. March 2003, vol. 8, no. 2, s. 137–143. ISSN 1361-9209. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(02\)00036-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(02)00036-6).
- (27) SHIN, W. S.; HAN, J.; YEO, J.; GWAK, G.; HONG, S.; YANG, D. R. Effect of membrane properties and feed conditions on selective transport in pressure-assisted forward osmosis for ammonia recovery. *Environmental Science & Technology*. 2019, vol. 53, no. 8, s. 4579–4587. ISSN 0013-936X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b07114>.
- (28) LOCOMOTIVEHUB.COM. *Diesel vs. electric locomotive emissions: a comparative study*. [online]. 27. červenec 2024 [cit. 2025-04-05]. Dostupné z: <https://locomotivehub.com/diesel-vs-electric-locomotive-emissions-a-comparative-study>.
- (29) MINISTERSTVO DOPRAVY. Zabezpečovací systém ETCS pro motorové jednotky Alstom LINT společnosti Leo Express Tenders s.r.o. Projekt OPD3 – ETCS Leo Express Tenders. [online]. [cit. 2025-05-06]. Dostupné z: <https://opd3.opd.cz/projekt/>.