

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Využití vodíkových osobních vlaků  
na regionální dráze Lochovice – Zadní Třebaň

Jan Walter

Bakalářská práce

2023

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

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan Walter**  
Osobní číslo: **D20132**  
Studijní program: **B1041A040002 Technologie a management v dopravě**  
Specializace: **Technologie a řízení dopravy**  
Téma práce: **Využití vodíkových osobních vlaků na regionální dráze Lochovice – Zadní Třebaň**  
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

## Zásady pro vypracování

Úvod

1. Analýza současného stavu
2. Analýza vozidla poháněného vodíkovým palivovým článkem
3. Návrh provozu na vybrané trati

Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **30-40**  
Rozsah grafických prací: **3-4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

#### Seznam doporučené literatury:

FIZÉR, R. 2019 Využití alternativních pohonů autobusů. Pardubice.  
MINISTERSTVO Ž. P., 2022. Čistá mobilita In: *mzp.cz*. [online]. [cit.: 2022-10-25]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/cista\\_mobilita\\_seminar](https://www.mzp.cz/cz/cista_mobilita_seminar).  
VLK, František, 2004. Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: František Vlk. ISBN 80-239-1602-5.  
SPRÁVA ŽELEZNIC. Prováděcí nařízení pro trať D3; Lochovice – Zadní Třeboň. Praha, 2019.  
HOFFRICHTER, A., S. HILLMANSEN AND C. ROBERTS, 2016. Conceptual propulsion system design for a hydrogen-powered regional train. *IET Electrical Systems in Transportation*.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Vojtek, PhD.**  
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání bakalářské práce: **2. února 2023**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **12. května 2023**

L.S.

---

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

---

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

Prohlašuji:

Práci s názvem Využití vodíkových osobních vlaků na regionální dráze Lochovice – Zadní Třebaň 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. 5. 2023

Jan Walter v. r

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Martinu Vojtkovi, PhD. za podnětné rady a doporučení při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Jiríně Walterové za odbornou korekturu českého jazyka a všem, kteří se jakýmkoliv způsobem podíleli na vypracování mé bakalářské práce.

## **ANOTACE**

V Evropské unii se členské státy dohodly, že do roku 2050 sníží emise oxidu uhličitého o 100 %. I doprava musí tento závazek splnit. Proto se intenzivně vyvíjejí alternativní pohony vozidel. Práce se zaměřuje na analýzu alternativních pohonů vozidel, zejména na pohon vodíkovým palivovým článkem s využitím na vybrané lince železniční osobní dopravy. Pomocí velkého množství různých zdrojů jsou v práci analyzovány současné trendy v bezemisní dopravě. Na základě místních znalostí autora se práce zaměřuje na návrh provozu vlaků na vodíkový pohon na trati Lochovice – Zadní Třebaň. Zjišťuje ekologickou výhodnost takového provozu a v práci je také vypracována technologie provozu vlaků s vodíkovým pohonem, včetně umístění plnicí stanice.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

vodík, pohon, vozidlo, trať, Lochovice, Zadní Třebaň, provoz

## **TITLE**

Hydrogen passenger trains operation on regional railway line Lochovice – Zadní Třebaň

## **ANNOTATION**

The EU member states have considered they will lower the CO<sub>2</sub> emissions by 100 %. Also, transport must fulfil this commitment. Therefore, there are developed alternative drivetrains. The work focuses on the analysis of alternative drivetrains especially on the hydrogen fuel cell drivetrain with train operation on the chosen railway line with passenger transport. There are with help of many different sources analysed today's trends in emission less transport. With authors local knowledge the work focuses on draft with hydrogen fuel cell train operation on railway line Lochovice – Zadní Třebaň. The work finds out ecological benefits of this operation. There is also elaborated technology of fuel cell train operation including hydrogen filling station location.

## **KEYWORDS**

hydrogen, drivetrain, vehicle, railway line, Lochovice, Zadní Třebaň, train operation.

# OBSAH

ÚVOD .....	8
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU .....	10
1.1 Energetický mix České republiky .....	10
1.2 Možnosti alternativních pohonů vozidel .....	13
1.3 Současný stav dopravní infrastruktury na vybrané trati .....	15
1.4 Současný stav dopravy .....	26
1.5 Převážní vytížení linky .....	30
1.6 Shrnutí .....	31
2 ANALÝZA VOZIDLA POHÁNĚNÉHO VODÍKOVÝM PALIVOVÝM ČLÁNKEM .....	32
2.1 Získávání vodíku .....	33
2.2 Vodík ve spalovacím motoru .....	34
2.3 Vodík v palivovém článku .....	35
2.4 Využití vodíku v dopravě .....	36
2.5 Shrnutí .....	41
3 NÁVRH PROVOZU NA VYBRANÉ TRATI .....	42
3.1 Jízdní řád .....	43
3.2 Oběhy vozidel .....	43
3.3 Výběr vhodného vozidla .....	46
3.4 Plnicí stanice .....	47
3.5 Ušetřené emise .....	48
3.6 Alternativní varianta .....	49
3.7 Shrnutí .....	50
ZÁVĚR .....	51
POUŽITÁ LITERATURA .....	53
SEZNAM TABULEK .....	58
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	59
SEZNAM ROVNIC .....	61

## ÚVOD

V době, kdy stále více slyšíme pojmy ekologie, nulové emise, udržitelnost apod., se tyto pojmy dostávají ve větší míře i do železničního provozu. Železniční provoz je ekologický ve chvíli, kdy používáme elektrickou trakci. Ale existují i tratě nezávislé trakce, kde se nyní používají vlaky s naftovými spalovacími motory, a na ně právě míří zmíněné pojmy. S těmito pojmy se pojí práce v podobě vodíkového pohonu.

Doprava zvyšuje kvalitu života tím, že umožňuje osobám přemísťovat se za lepšími příležitostmi a také přemísťovat zboží za účelem obchodování. Ale doprava také produkuje škodlivé látky, které mají dokonce násobně vyšší následky na úmrtích než dopravní nehody. Ministerstvo životního prostředí proto podniká kroky ke snižování škodlivých emisí nejen z dopravy, např. podpora prodeje elektromobilů, příprava České republiky na odklon od využívání ropy nebo podpora využívání vodíkových technologií v dopravě. (1)

Od roku 1800 vzrostlo množství oxidu uhličitého v atmosféře Země z 3500 miliard tun na současných 5200 miliard tun. Oxid uhličitý obsažený v zemské atmosféře funguje jako tepelný izolant mezi zemským povrchem a vesmírem. Zvýšení množství oxidu uhličitého v atmosféře zapříčinilo oteplení povrchu Země o 1°C. Další zvyšování množství by vedlo k dalšímu zvyšování teploty. Tento jev nazýváme souhrnně globální oteplování. 195 zemí světa včetně České republiky se v roce 2015 dohodlo, že zastaví globální oteplování na hodnotě 1,5 – 2°C. Státy přijaly tzv. Pařížskou dohodu OSN z prosince 2015. Mezinárodní energetická agentura navíc spočítala, že do roku 2050 je nutné zastavit spalování uhlí, ropných produktů a zemního plynu. (2)

Nynější světový energetický a enviromentální stav je dlouhodobě neudržitelný. Na základě Pařížské dohody se členské státy snaží intenzivně snižovat svou závislost na fosilních palivech. Přijímají různá opatření, regulace, zákazy nebo poplatky, které si kladou za cíl v souvislosti se zásadami Pařížské dohody snižování emisí CO<sub>2</sub>. Řada dalších států se problematikou znečištění ovzduší příliš nezabývá. Některé státy tento problém neřeší. Prioritou takových států jsou výnosy například z prodeje surové ropy a ropných produktů.

Příroda sama bez vedlejší činnosti člověka produkuje CO<sub>2</sub> také, ale přírodní procesy jsou nastaveny tak, aby stejné množství CO<sub>2</sub> zpět využily a neznečistily tím ovzduší. Činnost člověka ale tuto rovnováhu narušuje a přírodní procesy nejsou schopny tyto emise redukovat.



Člověk čím dál intenzivněji zbavuje přírodu schopnosti redukovat emise CO<sub>2</sub> ničením ekosystémů, např. kácením stromů. Přesto existují skupiny lidí, kteří žijí a pracují v souladu s přírodou, vnímají její potřeby. Jejich životní styl přináší i jisté omezování od možných výhod současného spotřebního a přetechnizovaného světa. Ale jejich způsob života se stává i pro ostatní vzorem nové životní filozofie.

Produkce škodlivých emisí je značná. Musíme proto přijmout mnohá opatření k zamezení produkce škodlivých látek. Jednou z možností je nahrazení spalovacích motorů alternativními pohony. Práce na základě analýzy energetického mixu České republiky, analýzy současného stavu železniční infrastruktury na vybrané trati a analýzy možností alternativních pohonů vozidel navrhuje provoz vodíkovými vozidly na trati Lochovice – Zadní Třebaň. Práce by měla nastínit, jaká opatření jsou potřeba k zavedení takového provozu včetně návrhu umístění plnicí stanice.

# 1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

V první kapitole autor analyzuje současný stav energetické soběstačnosti České republiky a dopravy, zmiňuje důvody, proč je nutné zbavit se závislosti na fosilních palivech. V kapitole jsou popsány současné možnosti alternativních pohonů nejen železničních vozidel. První kapitola práce se také zabývá detailním popisem současného stavu dopravy a dopravní infrastruktury na regionální dráze Lochovice – Zadní Třebaň. V části současného stavu dopravy je rozebrán knižní jízdní řád a zmíněné základní parametry provozu osobní i nákladní dopravy. Kapitola současný stav infrastruktury analyzuje základní parametry trati, jako například způsob organizování drážní dopravy, sklonové poměry nebo aktuální podobu stanic a zastávek na trati.

## 1.1 Energetický mix České republiky

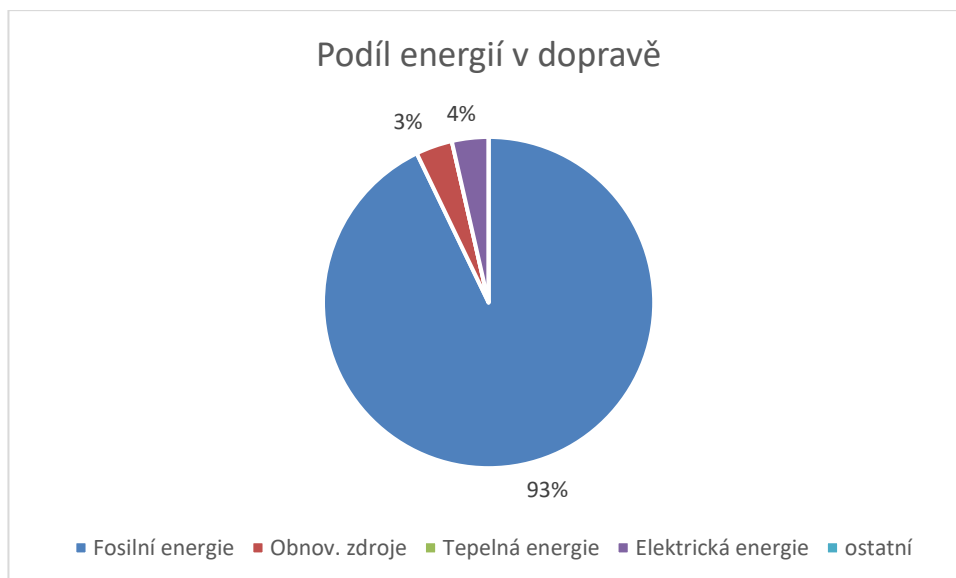
Konečná spotřeba (spotřeba zachycená před spotřebiči, kde je využívána jinak než na výrobu jiné energie) energie v roce 2019 v ČR byla 283 TWh/rok (2), (viz tabulku 1) z 55 % zásobována fosilními energiemi, elektrická energie byla součástí 21 % spotřebované energie, obnovitelné zdroje energie pokrývaly 13 % konečné spotřeby a 8 % spotřebované energie byla tepelná energie. Doprava se na konečné spotřebě energie podílí 28 %, fosilními energiemi je zásobováno 26 % spotřeby energie v dopravě.

**Tabulka 1** Konečná spotřeba energie v ČR 2019

%	Celková energie	Fosilní energie	Obnov. zdroje	Tepelná energie	Elektrická energie	ostatní
Průmysl	27	12	2	2	9	2
Doprava	28	26	1	0	1	0
Služby	13	5	0	2	6	0
Domácnosti	29	11	9	4	5	0
Ostatní	3	2	1	0	0	0
<b>Celkem</b>	<b>100</b>	<b>55</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>21</b>	<b>2</b>

Zdroj: (2)

Doprava je energeticky velmi náročné odvětví, navíc spotřebovává největší množství fosilních energií. Sama doprava je zásobována z 93 % (obrázek 1) fosilními energiemi. Obrovský podíl fosilních energií zapříčiňuje fakt, že je většina dopravních prostředků poháněna spalovacími motory, od automobilů a dalších silničních vozidel přes lodě až po letadla.



**Obrázek 1** Podíl energií v dopravě

Zdroj: autor

Roční primární spotřeba (celková poptávka po energii v zemi) České republiky je 500 TWh (tabulka 2), 73 % této spotřeby pokrývají fosilní paliva. 56 % primární spotřeby pokrývá import, největší měrou se na importu podílí ropa (23 %). V přepočtu na obyvatele ČR má každý občan trvale zapálený fosilní ohniček o výkonu 4 kW. Produkce oxidu uhličitého připadá 12 tunami ročně na obyvatele. Ve srovnání s Čínou je to téměř dvojnásobek. (2)

**Tabulka 2** Primární spotřeba energie v ČR 2019

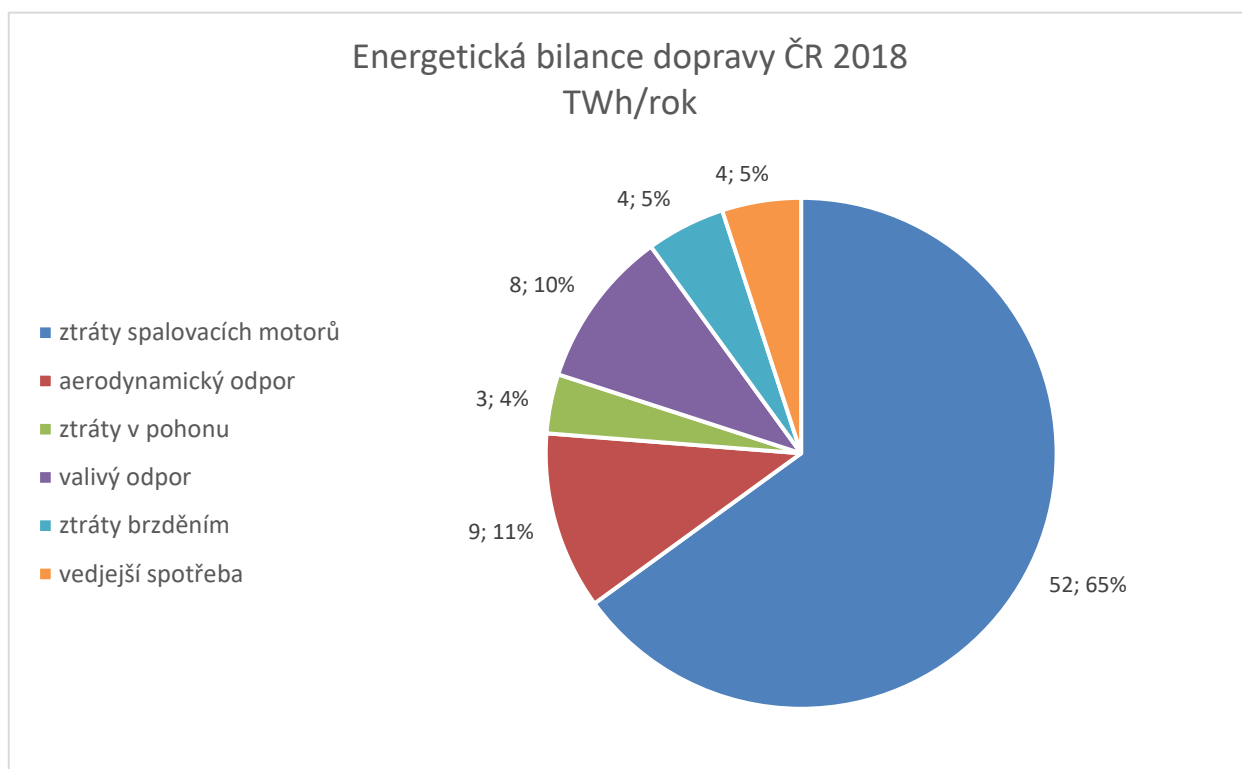
	<b>Celková energie</b>	<b>Fosilní energie</b>	<b>Import energie</b>	<b>Celková energie</b>	<b>Fosilní energie</b>	<b>Import energie</b>
	<b>TWh/rok</b>	<b>TWh/rok</b>	<b>TWh/rok</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
Uhlí	166	166	11	33	33	2
Ropa	114	114	113	23	23	23
Zemní plyn	83	83	81	17	17	16
OZE	57	0	-1	11	0	0
Odpady	4	0	0	1	0	0
Jádro	88	0	88	18	0	18
Elektrina	-13	0	-13	-3	0	-3
<b>celkem</b>	<b>500</b>	<b>364</b>	<b>279</b>	<b>100</b>	<b>73</b>	<b>56</b>

Zdroj: (2)

Veškeré množství energie spojené s produkcí oxidu uhličitého je potřeba do roku 2050 snížit, v případě fosilních paliv je nutné snížit jejich spotřebu úplně a zbavit se závislosti na nich. V současnosti se lidstvo nejvíce zaměřuje na snížení závislosti na fosilních palivech, ale je nutné zamyslet se nad snižováním spotřeby energie obecně, ať jde o jakýkoliv zdroj.

Konečná spotřeba energie v ČR je z 84 % zastoupena třemi velkými spotřebiteli s přibližně stejným podílem – domácnosti, doprava a průmysl. Navíc doprava sama spotřebovává z 91,3 % ropné produkty, 5 % připadá na biopaliva, 1,4 % na zemní plyn a 2,2 % spotřeby energie v dopravě pokrývá elektřina. (2)

Obrovský podíl ropných produktů se pojí s masivním rozšířením silničních dopravních prostředků se spalovacími motory. Spalovací motor je zařízení, které mimo jiné vytváří teplo. Toto teplo je ale ztrátové a není nijak využíváno. Spalovací motor má účinnost 35 %. Na obrázku 2 - energetická bilance dopravy výrazně dominuje položka ztráty spalovacích motorů (52 TWh/rok), to je 65 % z celkové bilance. Ostatní položky jako je aerodynamický odpor, valivý odpor, vedlejší spotřeba, ztráty v pohonu nebo ztráty brzděním tvoří 35 % z celkové částky. Zmíněných 52 TWh/rok představuje více než dvojnásobek energie dodávané teplárnami v celé České republice. (2)



**Obrázek 2** Energetická bilance dopravy

Zdroj: autor

Problém spočívá nejen v ekologické stránce, ale i v ekonomice a hospodárnosti. Z pohledu účinnosti je 35 % paliva využito pro samotný pohon, ale je nutné 100 % paliva zaplatit, mimo to 100 % paliva produkuje škodlivé látky a CO<sub>2</sub>. Navíc spalovací motor neumí rekuperovat kinetickou energii při brzdění tak, jako to dokáže elektrický motor, který při připojení k jinému spotřebiči energie dokáže vyrábět elektrickou energii zpět do sítě, nebo zpět nabíjet akumulátor. Rekuperace klade odpor a tím brzdí vozidlo. Spalovací motor takto neumí využít kinetickou energii a tím ztrácí dalších 10–30 % možných úspor. (2)

Výše zmíněné nedostatky vedou zákonodárce a výrobce vozidel k postupnému zastavení výroby, distribuce, prodeje a používání spalovacích motorů. Začíná se čím dál častěji využívat alternativních pohonů vozidel.

## 1.2 Možnosti alternativních pohonů vozidel

Aby se snížila produkce oxidu uhličitého o 100 %, vyvíjí se alternativní pohony vozidel, které nahradí spalovací motory. V současnosti se nabízí mnoho alternativních typů pohonů. Každý druh pohonu má různé výhody a nevýhody, které jim předurčují různé typy využití.

V silniční dopravě se již používají některé alternativní pohony, jako například pohon na CNG nebo LPG, nejsou však plně bezemisní, fungují na principu spalovacího motoru. V železniční dopravě se tyto typy pohonů neuchytily a nyní se již hovoří spíše o vodíkovém pohonu nebo pohonu na elektřinu z akumulátoru. Vodíkový pohon nebo akumulátorové vozidlo jsou vozidla, která najdou uplatnění především na tratích bez liniové elektrifikace. Zmíněné typy pohonů využívají obvykle dva zdroje energie pro samotný pohon vozidla, považujeme je proto za vozidla hybridní. V současnosti používanými hybridními vozidly jsou:

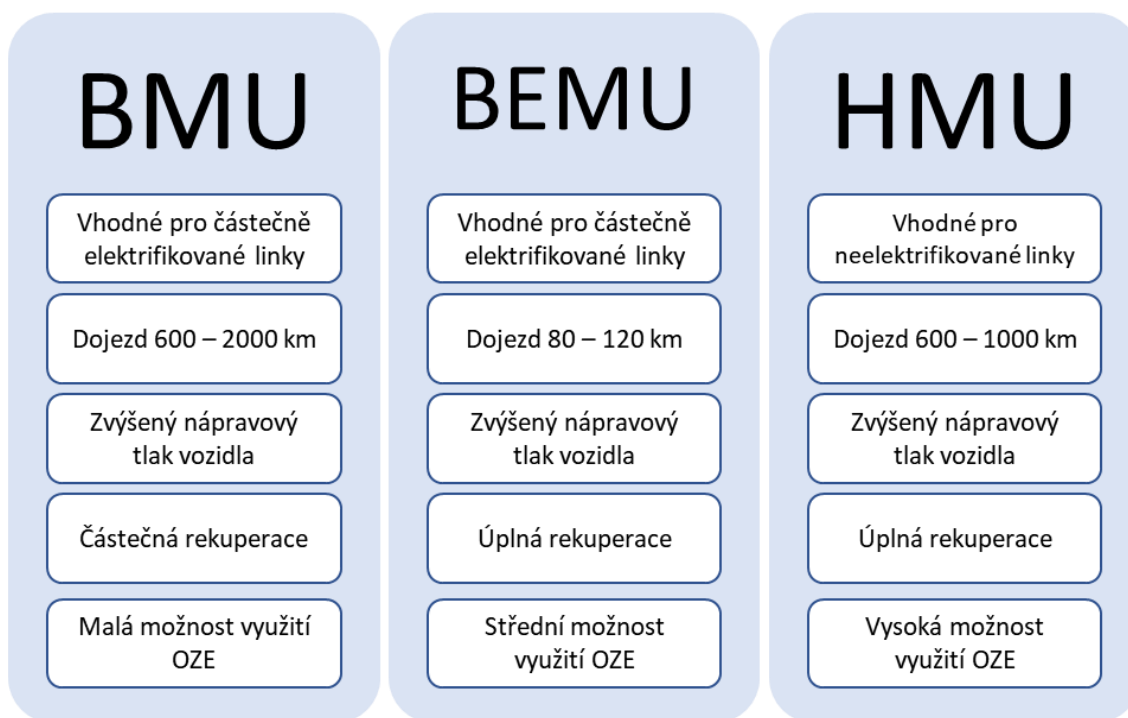
- vozidlo trolej – akumulátor,
- vozidlo trolej – naftový motor,
- vozidlo palivový článek – akumulátor (3).

**Vozidlo trolej – akumulátor** se zkráceně může nazývat BEMU (battery electric multiple unit), je čistě elektrické vozidlo lokálně bezemisní. Vozidlo využívá zejména elektřinu z trakčního vedení. Pokud není k dispozici trakční vedení, vozidlo se pohybuje pomocí elektřiny uložené v akumulátoru. V tomto módu vozidlo obvykle ujede zhruba 100 km, není proto možné využít vozidlo na všech neelektrifikovaných tratích. Omezený dojezd v současnosti zabraňuje masivnímu rozšíření tohoto typu pohonu. Dobíjení akumulátoru

probíhá při jízdě po elektrifikované trati z trakčního vedení, nebo při stání v elektrifikované stanici z trakčního vedení. Další možností dobíjení je dobíjení pomocí rekuperace při brzdění.

**Vozidlo trolej – naftový motor** označujeme jako BMU (bi-mode multiple unit). Takové vozidlo funguje jako běžné diesel–elektrické vozidlo, kdy se pouze mění zdroj elektřiny v závislosti na stavu elektrifikace trati. Strojvedoucí spustí naftový motor v situacích, kdy není k dispozici trakční vedení. Na elektrifikovaných tratích strojvedoucí naftový motor vypne a zdvihne sběrač. V čistě elektrickém módu může vozidlo i rekuperovat a navracet elektřinu zpět do sítě. Dojezd tohoto vozidla se pohybuje ve stovkách až tisících kilometrů na jeden objem nádrže v závislosti na její velikosti.

**Vozidlo palivový článěk – akumulátor** se v angličtině nazývá hydrogen multiple unit (HMU). Pro svůj pohon využívá energii uloženou ve vodíku, která se chemickou reakcí přemění na elektřinu. Elektřina je ukládána do akumulátoru. Vozidlo může rekuperovat energii při brzdění a zpět ji ukládat do akumulátoru. Dojezd vozidla je až 1000 km, což je vhodné využít na tratích úplně bez elektrifikace. Vozidlo je lokálně bezemisní, může být i 100 % bezemisní v závislosti na výrobě vodíku. Podrobnější analýze tohoto pohonu je věnována kapitola 2. Na obrázku 3 jsou znázorněny základní parametry zmíněných hybridních pohonů, které usnadňují rozhodování při výběru vozidla.



**Obrázek 3** Vlastnosti hybridních pohonů vozidel

Zdroj: (3)

### 1.3 Současný stav dopravní infrastruktury na vybrané trati

Trat' číslo 172 podle knižního jízdního řádu vede z obce Zadní Třebaň v okrese Beroun do obce Lochovice ve stejném okrese. Dráha byla vybudována v letech 1900–1901. První vlak pro veřejnost vyjel 30.8.1901. Trat' se budovala, aby místní zemědělci mohli levně obchodovat se zemědělskými surovinami. Z počátku dráhu obsluhovaly dva páry smíšených vlaků, tj. vlak s nákladními i osobními vozy. (7) Dráha je dlouhá 26,5 km s největším převýšením 26,6 ‰. Vlak při cestě ze Třebaně do Lochovic musí překonat výškový rozdíl 162 metrů.

V současnosti obsluhují osobní vlaky na trati z Lochovic do Zadní Třebaně motorové vozy řady 810. Takto už od roku 1978. Stáří vozů je proto na hraně životnosti. Provozovatel drážní dopravy tudíž tyto vozy intenzivně rekonstruuje. Nákup nových vozidel v současnosti nelze zajistit, neboť výrobci drážních vozidel nenabízejí alternativu pro vozy řady 810.

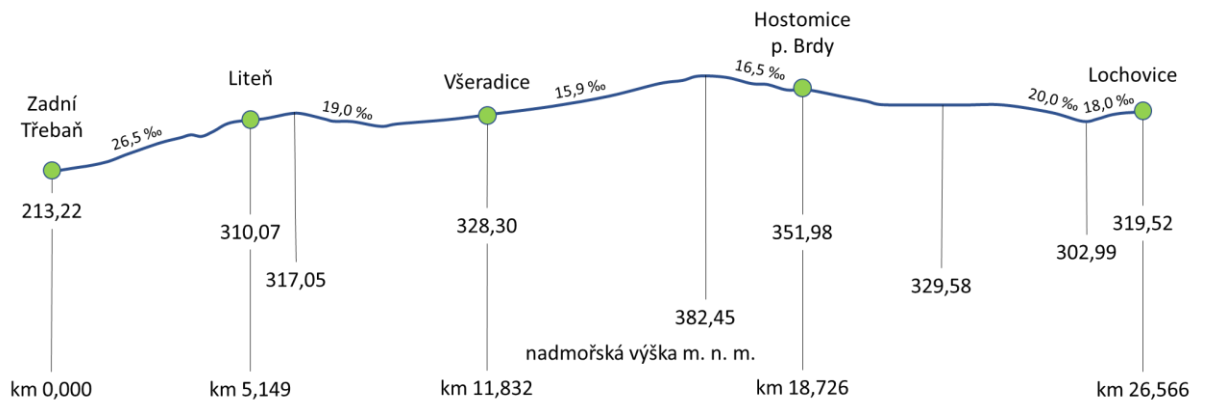
Trat' je řízena podle předpisu SŽ D3 v úseku Liteň – Lochovice, ve zbylém úseku, z Litně do Zadní Třebaně je trat' řízena standartně podle předpisu SŽ D1. Dirigující dispečer, zároveň výpravčí DOZ Liteň sídlí v ŽST Zadní Třebaň. Úsek ze Zadní Třebaně do Litně je řízen pomocí dálkově ovládaného zabezpečovacího zařízení. Dirigující dispečer ze Zadní Třebaně komunikuje s výpravčím DOZ Lochovice, který sídlí v ŽST Březnice. Dráha má tři dopravní, ve kterých je možné předjíždění, dostižení či křížování – Liteň, Všeradice a Hostomice. (6)

#### **Trat' je rozdělena na následující prostorové oddíly:**

- od vjezdového návěstidla HL v ŽST Zadní Třebaň po vjezdové návěstidlo ZL v ŽST Liteň
- od vjezdového návěstidla HS ŽST Liteň k lichoběžníkové tabulce dopravní Všeradice,
- od lichoběžníkové tabulky dopravní Všeradice k lichoběžníkové tabulce dopravní Hostomice,
- od lichoběžníkové tabulky dopravní Hostomice k vjezdovému návěstidlu TL ŽST Lochovice.

Trat' ve své délce 26,5 km překonává náročné sklonové poměry (obrázek 4). Ze ŽST Zadní Třebaň do Litně je stoupání až o hodnotě 26,6 ‰. Z Litně do zastávky Skuhrov pod Brdy je klesání. Dále až do Osova je znovu stoupání. Osov je nejvyšším místem na trati (380,94 m. n. m.). Z Osova do Radouše je klesání. Z Radouše do Neumětel je mírné stoupání a za

zastávkou Neumětely se nachází klesání k údolí řeky Litavky, přes kterou vede železný most, jenž je svými rozměry (rozpětí 31 m) největší stavbou železničního spodku. Krátce před souběhem s tratí 200 (Zdice – Protivín) je mírné stoupání.



**Obrázek 4** Podélný profil dráhy

Zdroj: autor

Trat' křižují silniční pozemní komunikace na 32 místech. Z toho 8 přejezdů je zabezpečeno světelnou a zvukovou signalizací s doplňkovým zabezpečením závorami. Optické bariéry v podobě závorových břevien byly doplněny v roce 2022. Doplňkové zabezpečení bylo doplněno na přejezdech, které se kříží se silnicemi II. třídy a je na nich vysoká frekvence dopravy a na přejezdech, na kterých se staly mimořádné události. Ostatních 20 přejezdů a 4 přechody pro pěší jsou zabezpečeny pouze výstražnými kříži.(6)



**Tabulka 3** Nástupiště

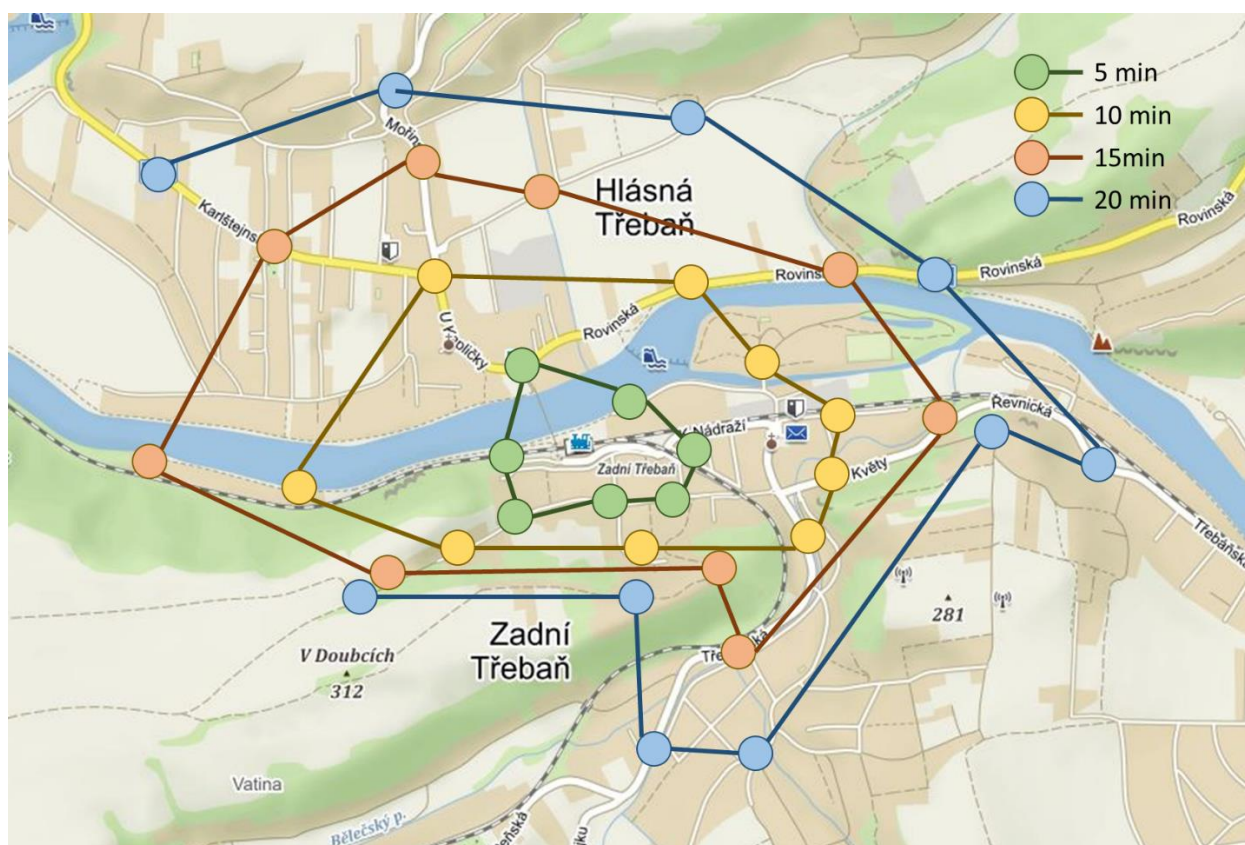
Stanice/zastávka	Kolej	Druh nástupiště	Délka [m]	Výška nad TK [mm]
Zadní Třebaň	1	Jednostranné se zvýšeným obrubníkem	229	250
	2	Pevná hrana, 55 m zastřešeno	245	300
	7	Pevná hrana, 10 m zastřešeno	40	200
	5	Pevná hrana	92	200
Běleč	traťová	Sypané, Tischer	60	200
Liteň	1	Sypané, Tischer	50	550
	2	Sypané, Tischer	50	300
Skuhrov pod Brdy	traťová	SUDOP-T	60	550
Nesvačily	traťová	Sypané, Tischer	60	200
Všeradice	1	Sypané, Tischer	50	550
	3	Sypané, Tischer – vnější	50	550
Vižina	traťová	Sypané, Tischer	60	300
Osov	traťová	Sypané, Tischer	60	550
Hostomice pod Brdy	1	Sypané, Tischer	50	550
	2	Sypané, Tischer	50	200
Radouš	traťová	Sypané, Tischer	60	550
Neumětely	1	Sypané, Tischer	60	550
Lochovice	1	Jednostranné s pevnou hranou, sypané	125	250
	2	Jednostranné s pevnou hranou, sypané	100	250
	5	Jednostranné, živice	30	550
	3	Jednostranné, šterkopísek	50+50	250

Zdroj: (6)

Vlak na trati 172 zastavuje v 5 stanicích (dopravních) a 7 zastávkách. Z 5 stanic jsou dvě koncové – Lochovice a Zadní Třebaň a jedna úvratňová – Liteň.

### Stanice Zadní Třebaň

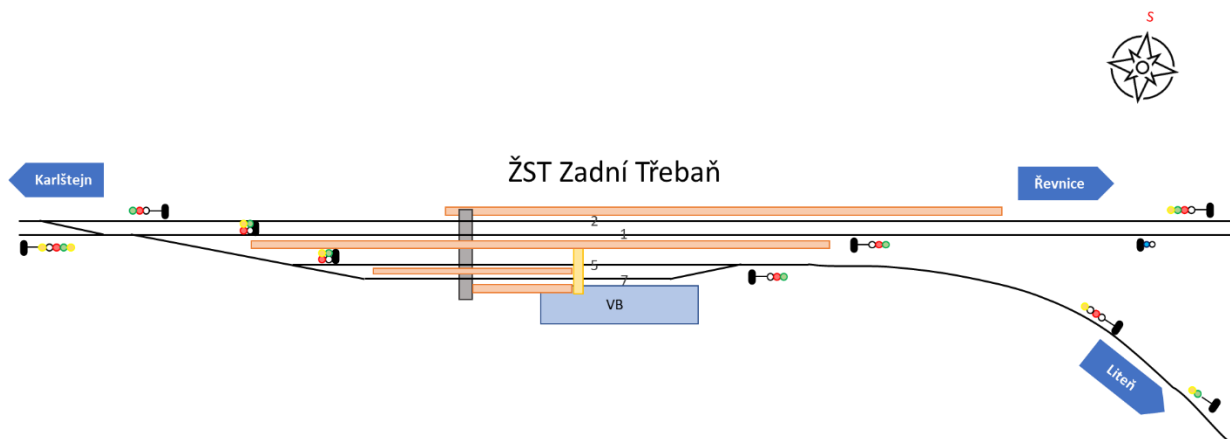
Stanice Zadní Třebaň je umístěna na pravém břehu řeky Berounky. Stanice má velmi dobrou dostupnost i z obce Hlásná Třebaň (viz obrázek 5), která leží na levém břehu řeky. Zadní Třebaň je čtyřkolejná stanice na III. tranzitním koridoru z Prahy do Plzně. Každá kolej v této stanici má nástupiště. Dvě nástupiště slouží pro hlavní trať, kterou obsluhují kapacitnější soupravy, a dvě nástupiště slouží pro regionální trať. Těmto požadavkům odpovídá jejich délka, detailněji viz tabulku 3. Ve stanici je cestujícím k dispozici podchod, který spojuje prostor před nádražní budovou s vnějším nástupištěm číslo 2 na břehu řeky Berounky. Na zbylá tři nástupiště je přístup zajištěn úrovnovým přechodem. Rozložení prvků ve stanici je znázorněné na obrázku 6. V této stanici je situována hlavní přestupní vazba z trati 172, na trať 171 (Praha hl. n. – Beroun).



**Obrázek 5** Časová dostupnost Zadní Třebaň

Zdroj: autor, (8)

Železniční stanice Zadní Třebaň je řízená místně výpravčím. Staniční zabezpečovací zařízení je ústřední přístroj s výhybkami ovládanými pákami drátovody. Mezi železničními stanicemi funguje traťové zabezpečovací zařízení hradlový poloautomatický blok.



**Obrázek 6** Plánek Zadní Třebaň

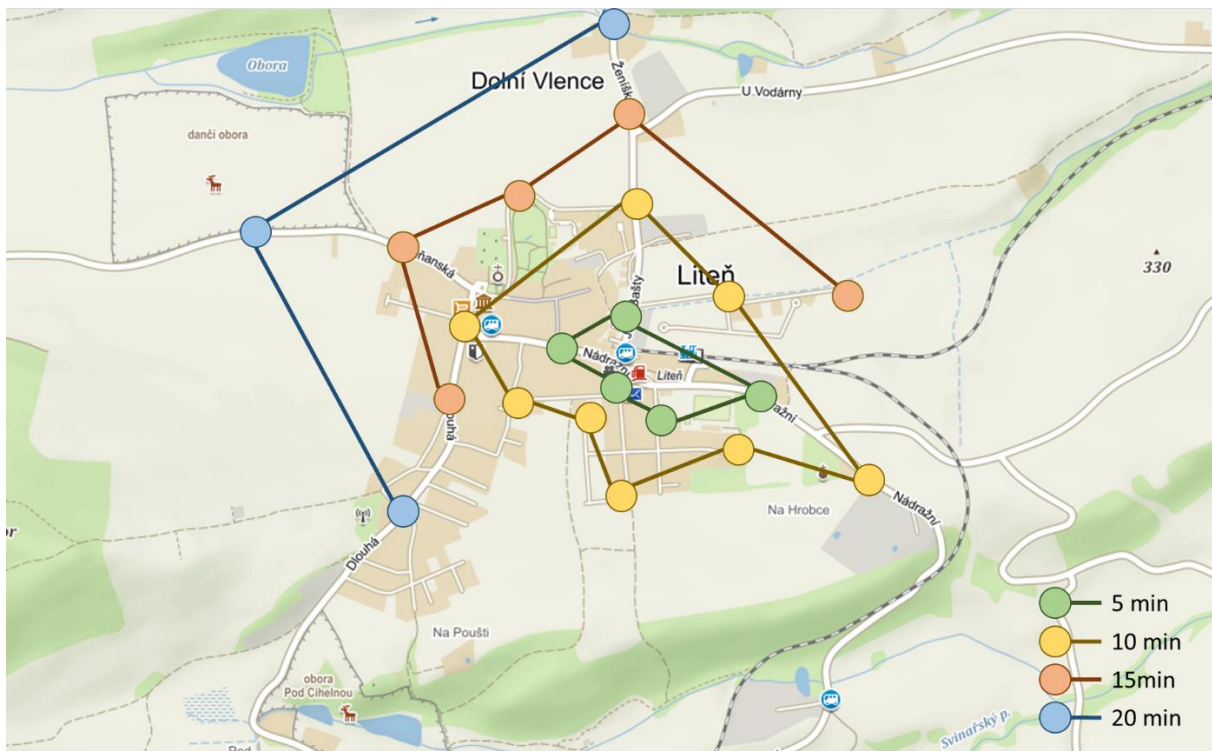
Zdroj: autor

### **Zastávka Běleč**

Zastávka Běleč je umístěna na jižním okraji obce Běleč od návsi obce Běleč je vzdálena 13 minut chůze pěšky. Nástupiště v délce 60 metrů je s nástupní hranou (NH) Tischer ve výšce 550 mm nad TK. Na zastávce je přístřešek pro cestující.

### **Stanice Liteň**

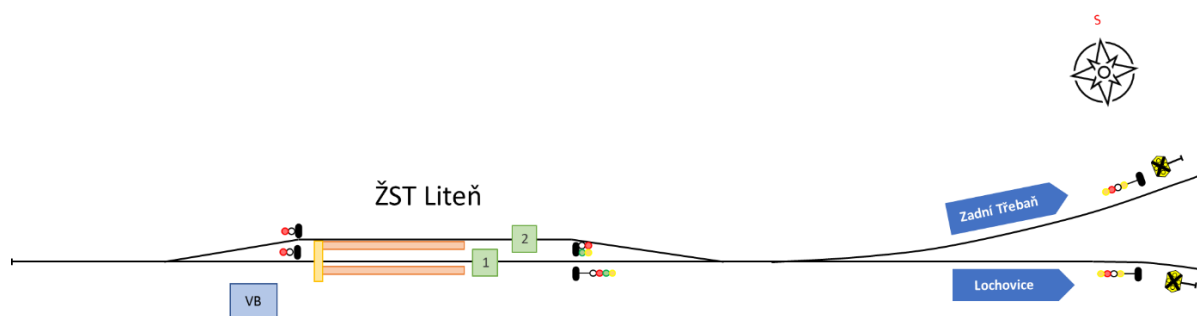
Stanice Liteň je úvratňová stanice ve východní části obce Liteň. Časová dostupnost stanice je znázorněna na obrázku 7. Ve stanici jsou dvě nástupiště, z nichž jedno je vnější a druhé vyvýšené mezi kolejemi. Staniční budova dnes slouží jen jako přístřešek, čekárna v této stanici není.



**Obrázek 7** Časová dostupnost Liteň

Zdroj: autor, (8)

Stanice Liteň je přechodovou stanicí mezi řízením provozu podle předpisu SŽ D1 (směr Z. Třebaň) a SŽ D3 (směr Lochovice). Je osazena hlavními návěstidly, elektromotorickými přestavníky a ve stanici zajišťují kontrolu celistvosti vlaku kolejové obvody. Na vjezdovém zhlaví stanice je umístěno výstražné zařízení, které v případě nepovoleného projetí návěstidla v poloze stůj rozezní varovný signál a hlášku, že vlak projel návěst stůj. Vjezdová návěstidla stanice nejsou opatřena samostatnými předvěstmi. Funkci předvěstí plní neproměnná návěstidla (tabulky s křížem) s návěstí výstraha. Na obrázku 8 je znázorněno rozmístění vnějších prvků ŽST Liteň.



**Obrázek 8** Plánek Liteň

Zdroj: autor

## Zastávka Skuhrov pod Brdy

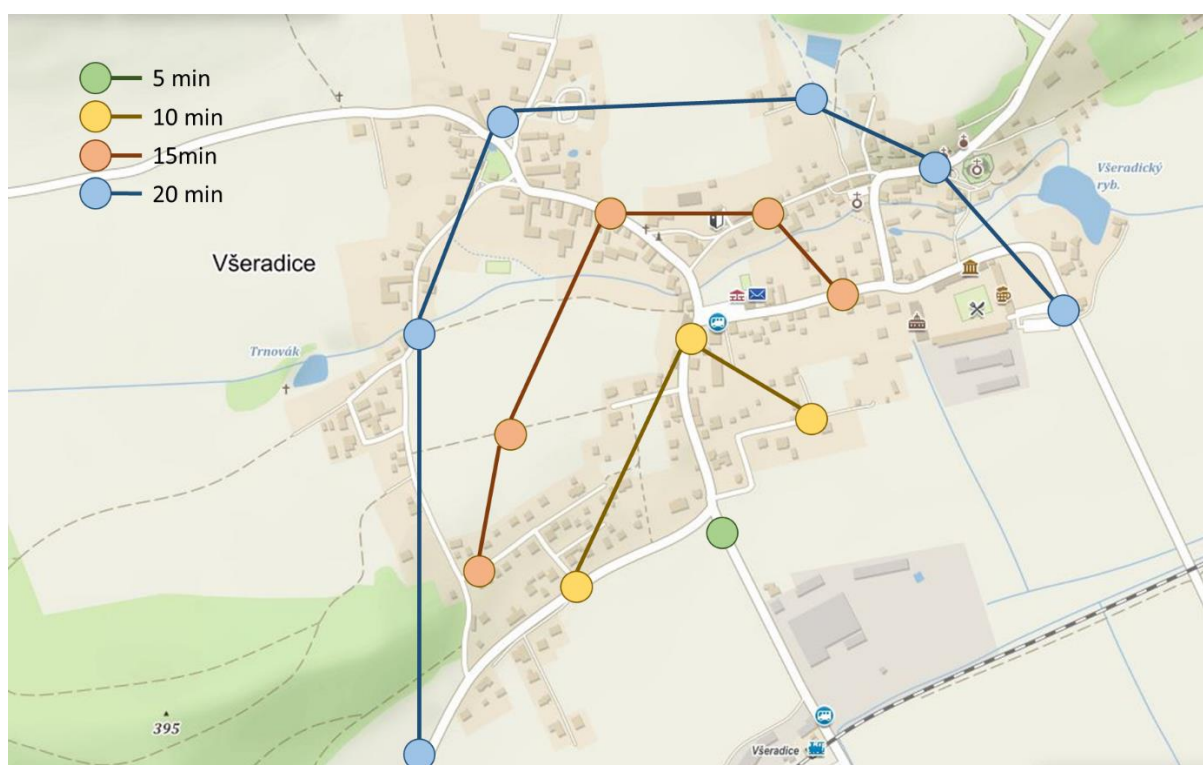
Zastávka Skuhrov pod Brdy je umístěna na západním okraji obce Leč. Obec Skuhrov je od zastávky umístěna 35 minut chůze (1,9 km). Nejčastěji proto zastávku využívají cestující z Leče. Zastávka má jedno sypané nástupiště s nástupní hranou Tischer ve výšce 550 mm nad temenem kolejnice (TK). Pro cestující je k dispozici přístřešek.

## Zastávka Nesvačily

Zastávka Nesvačily je od obce Nesvačily vzdálena 14 minut chůze pěšky, je umístěna jižně od obce. Na zastávce je sypané nástupiště s nástupní hranou Tischer ve výšce 550 mm nad TK, k dispozici je přístřešek.

## Dopravná D3 Všeradice

Dopravná D3 Všeradice je dvoukolejná stanice umístěná jižně od obce Všeradice, časová dostupnost obce je znázorněna na obrázku 9. Ve stanici jsou dvě nástupiště s nástupní hranou Tischer ve výšce 550 mm nad TK, z nichž jedno slouží pro vlaky ve směru Zadní Třeň a jedno pro směr Lochovice. Cestující se mohou ukrýt pod přístřeškem.

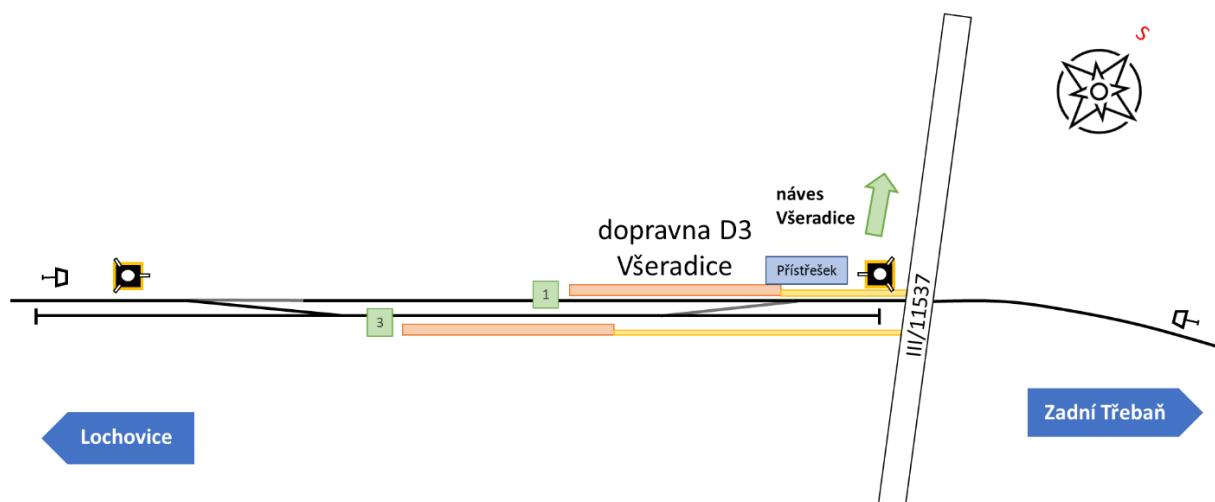


**Obrázek 9** Časová dostupnost Všeradice

Zdroj: autor, (8)



Dopravna D3 slouží pro křižování vlaků v přepravní špičce. Křižování zajišťují dvě výhybky se samovratnými přestavníky. Tyto výhybky kryjí dvě návěstidla se zábleskovými světly (návěst jízda zajištěna). Vlaky ze směru Zadní Třebaň mají jízdu zajištěnu na kolej v přímém směru a vlaky ze směru Lochovice jedou vždy do odbočného směru. Rozmístění kolejí, nástupišť a návěstidel je na obrázku 10.



**Obrázek 10** Plánek Všeradice

Zdroj: autor

### **Zastávka Vižina**

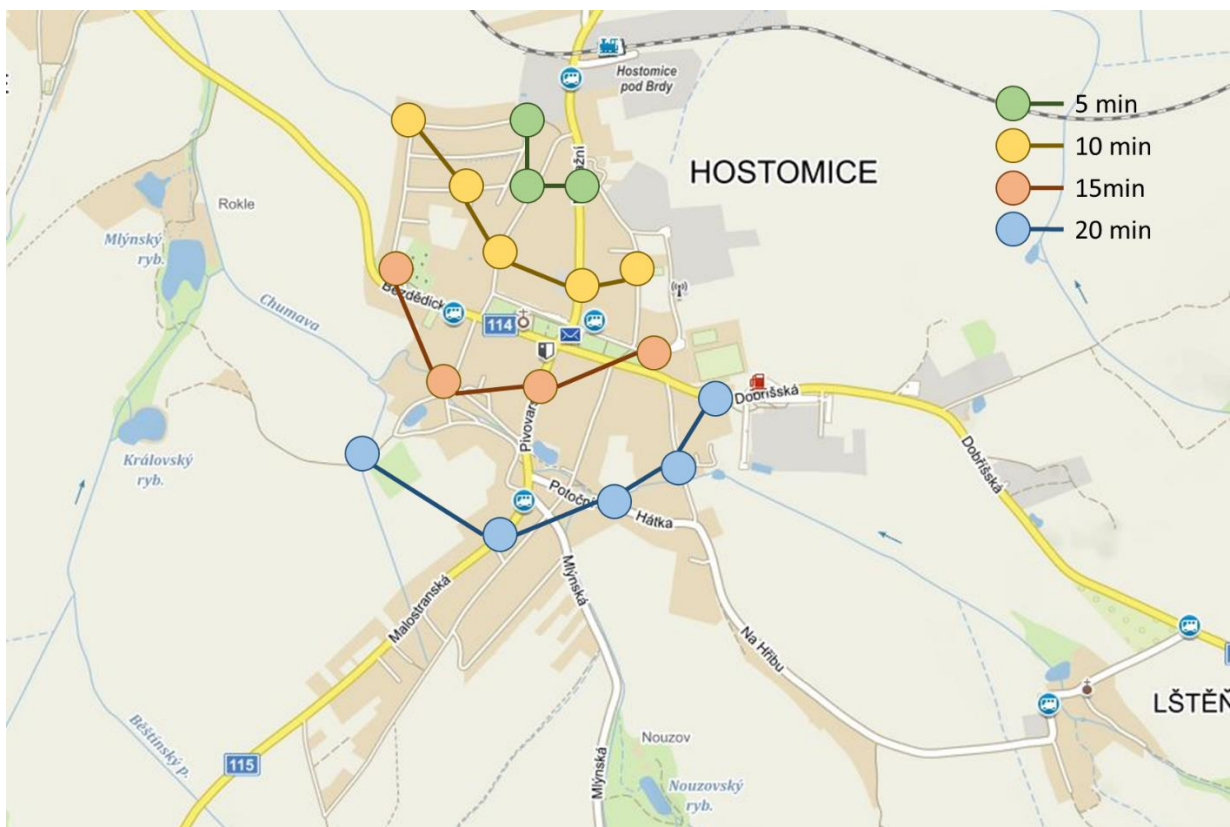
Zastávka Vižina je umístěna mezi obcemi Vižina a Osovec u silnice II/115 (západně od obce Vižina). Z přepravního hlediska spadá pod zastávku Vižina i obec Osovec s časovou dostupností 12 minut chůze. Nástup do vlaku umožňuje sypané nástupiště s nástupní hranou Tischer ve výšce 550 mm nad TK. Cestující mohou využít přístřešek.

### **Zastávka Osov**

Zastávka Osov leží mezi obcemi Osov a Velký Chlumeč. Cestující docházejí do obou obcí s přibližně stejnou časovou dostupností. Nástupiště je sypané s nástupní hranou Tischer ve výšce 550 mm nad TK. Na zastávce je přístřešek.

### **Dopravna D3 Hostomice pod Brdy**

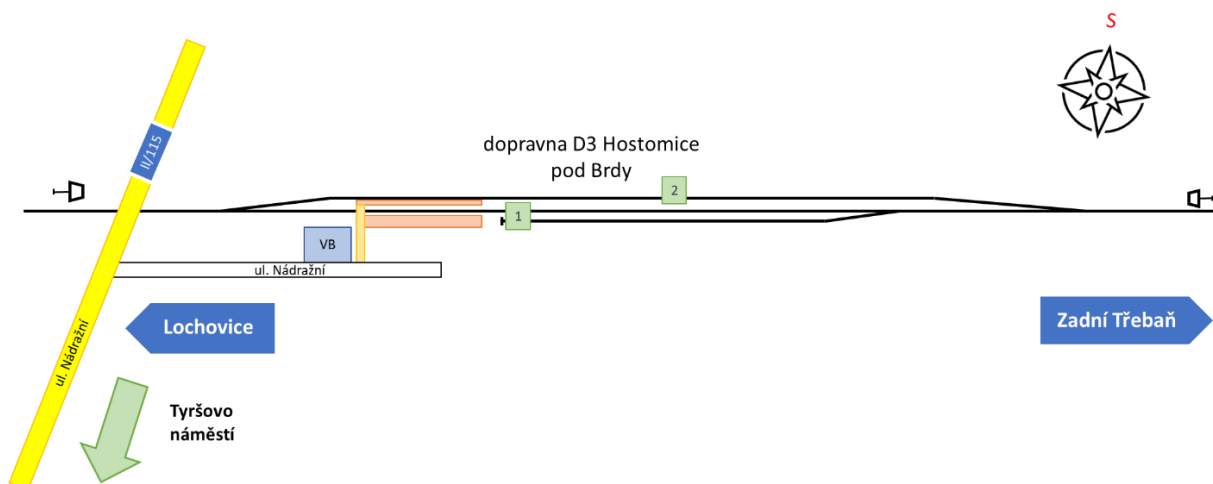
Dopravna D3 Hostomice pod Brdy je dvoukolejná dopravna, která leží na severním okraji města Hostomice s časovou dostupností dle obrázku 11. V dopravě jsou zaústěny dvě vlečky a jedna manipulační kolej. Všechny výhybky jsou ovládané ručně.



**Obrázek 11** Časová dostupnost Hostomice

Zdroj: autor, (8)

Ve stanici jsou dvě nástupiště v délce 50 metrů, vnější sypané s nástupní hranou Tischer ve výšce 550 mm nad TK a mezi kolejemi s NH Tischer, 200 mm nad TK. K dispozici je přístřešek, který je součástí výpravní budovy. Výpravní budova v současnosti neslouží k dopravním ani přepravním účelům. Rozmístění vnějších prvků dopravy D3 Hostomice znázorňuje obrázek 12.



**Obrázek 12** Plánek Hostomice

Zdroj: autor

### Zastávka Radouš

Zastávka Radouš leží na západním okraji obce Radouš. Obec má perfektní časovou dostupnost zastávky. Nástupiště je sypané s nástupní hranou Tischer s výškou 550 mm nad TK. Na nástupišti je přístřešek.

### Nákladíště zastávka Neumětely

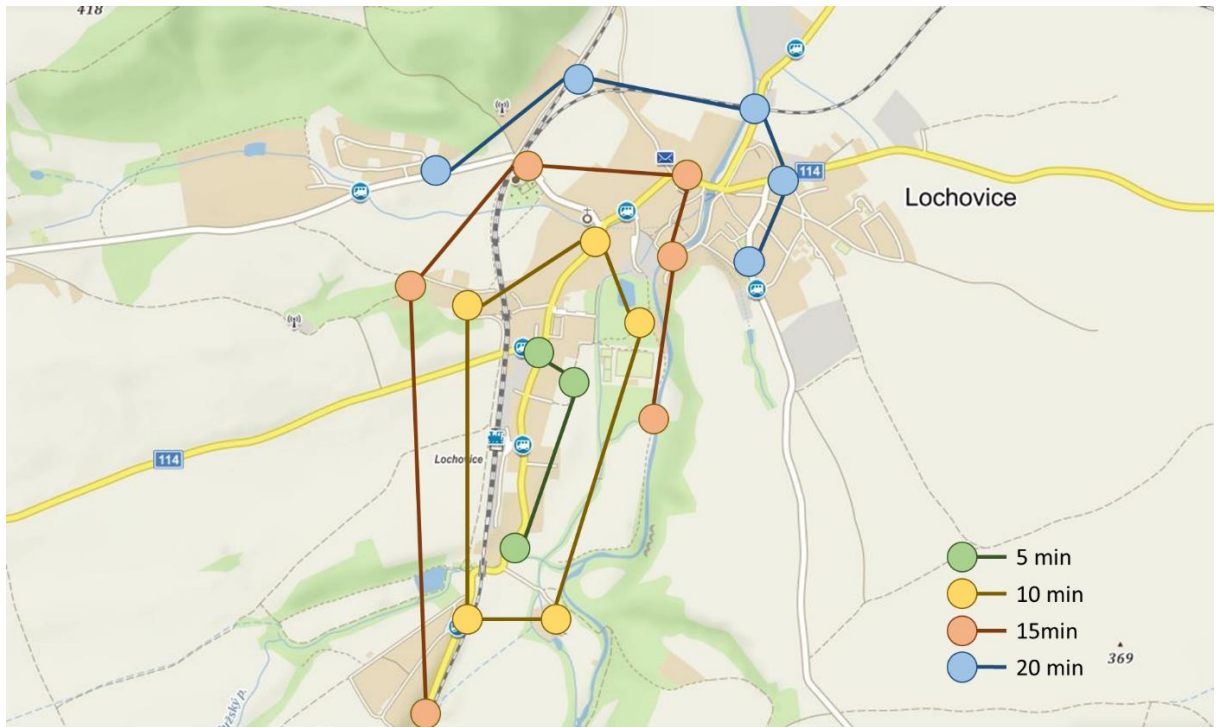
Zastávka Neumětely leží necelý kilometr od západního okraje obce Neumětely. Není proto dobře časově dostupná. Náves obce Neumětely je o další kilometr východně. Zastávka není příliš využívána cestujícími. Nástupiště je sypané s NH Tischer 550 mm nad TK. Na zastávce je přístřešek.

Nákladíště Neumětely je hojně využívané kovošrotem ležícím bezprostředně u nákladíště. Kovošrot je do nákladíště napojen manipulační kolejí z traťové koleje. Všechny výhybky jsou ovládané ručně.

### Stanice Lochovice

Stanice Lochovice leží v jižní části obce Lochovice. Časová dostupnost stanice je znázorněna na obrázku 13. Železniční stanice Lochovice je odbočnou stanicí na trati 200 ze Zdic do Protivína. Ve stanici je pět kolejí, jedna je kusá manipulační. U všech dopravních kolejí je nástupiště, podrobnější popis nástupišť je v tabulce 3. Výpravní budova dnes cestujícím neslouží. Jsou zde umístěny pouze místnosti pro zaměstnance a řídicí místnost ovládání zabezpečovacího zařízení. Cestující mohou využít přístřešek přidružený k výpravní budově.





**Obrázek 13** Časová dostupnost Lochovice

Zdroj: autor, (8)

Železniční stanice Lochovice je řízena dálkově z Březnice pomocí systému dálkově ovládaného zabezpečovacího zařízení (DOZ). Na protivínském zhlaví je umístěno malé depo a zbrojící stanice využívané především motorovými vozy z tratě Lochovice – Zadní Třebaň. Součástí depa jsou dvě koleje, z nichž každá má krytou část pro deponování vozidel. Na zdickém zhlaví je umístěno malé středisko oprav tratí. Půdorysné rozmístění stanice Lochovice je znázorněno na obrázku 14.



### € 172 Lochovice - Zadní Třebaň

S76 Lochovice - Zadní Třebaň

⇄ PID

km	Správa železnic, státní organizace	Vlak	27701	27741	27743	27703	27705	27745	27747	27707	27749	27709	27711	27713
0	Lochovice 200 €5	X	3:42			X	5:37	6:07		X	7:37	8:37	X	10:07
4	Neumětely €5	X	3:47			X	5:42	6:12		X	7:42	8:42	X	10:12
5	Radouš €5	X	3:49			X	5:44	6:14		X	7:44	8:44	X	10:14
8	Hostomice pod Brdy €5	X	3:53			X	5:48	6:18		X	7:48	8:48	X	10:18
11	Osov €4	X	3:57			X	5:52	6:22		X	7:52	8:52	X	10:22
13	Věžina €4	X	4:01			X	5:56	6:26		X	7:56	8:56	X	10:26
15	Všerádice €4	X	4:04			X	5:59	6:29		X	7:59	8:59	X	10:29
17	Nesvačily €4	X	4:07			X	6:03	6:33		X	8:03	9:03	X	10:33
19	Skuhrov pod Brdy €4	X	4:10			X	6:05	6:35		X	8:05	9:05	X	10:35
22	Liteň €3	X	4:19	X	5:15	X	5:45	6:14	X	7:15	X	8:45	X	9:14
24	Běleč €3	X	4:22	X	5:18	X	5:48	6:17	X	7:18	X	8:48	X	9:17
27	Zadní Třebaň 171 €2	X	4:26	X	5:24	X	5:54	6:23	X	7:24	X	8:54	X	9:23
km	Správa železnic, státní organizace	Vlak	27715	27717	27719	27721	27723	27725	27727	27729	27751	27731	27733	
0	Lochovice 200 €5	X	12:37	X	14:36	X	15:35	15:37	X	16:36	X	17:35	X	18:36
4	Neumětely €5	X	12:42	X	14:41	X	15:40	15:42	X	16:41	X	17:40	X	18:41
5	Radouš €5	X	12:44	X	14:43	X	15:42	15:44	X	16:43	X	17:42	X	18:43
8	Hostomice pod Brdy €5	X	12:48	X	14:47	X	15:46	15:48	X	16:47	X	17:46	X	18:47
11	Osov €4	X	12:52	X	14:51	X	15:50	15:52	X	16:51	X	17:50	X	18:51
13	Věžina €4	X	12:56	X	14:54	X	15:54	15:56	X	16:54	X	17:54	X	18:54
15	Všerádice €4	X	12:59	X	14:59	X	15:59	16:01	X	17:59	X	18:59	X	19:01
17	Nesvačily €4	X	13:02	X	15:02	X	16:02	16:04	X	18:02	X	19:02	X	20:02
19	Skuhrov pod Brdy €4	X	13:05	X	15:05	X	16:05	16:07	X	18:05	X	19:05	X	20:05
22	Liteň €3	X	13:14	X	15:14	X	16:14	16:16	X	18:14	X	19:14	X	20:14
24	Běleč €3	X	13:17	X	15:17	X	16:17	16:19	X	18:17	X	19:17	X	20:17
27	Zadní Třebaň 171 €2	X	13:23	X	15:23	X	16:23	16:25	X	18:23	X	19:23	X	20:23

Obrázek 16 Knižní jízdní řád linky S76 liché směry

Zdroj: (9)

Osobní vlaky jsou v provozu od 3:42 do 23:54 ve všední dny a o víkendu od 6:07 do 23:54 ve stanici Lochovice. Základní interval na lince S76 je 60/120 min. V přepravních špičkách obsluhují trať v úseku Zadní Třebaň – Liteň posilové vlaky, které zajišťují interval 30 minut v tomto úseku. Jízdní doba z Lochovic do Zadní Třebeň je 45 minut a ve směru Zadní Třebaň – Lochovice 46 minut. Při délce trasy 26,5 km je průměrná cestovní rychlost 35,1 km/h. Nejvyšší traťová rychlost je 60 km/h. Vlaky na lince S76 ujedou za rok 220 324 vlkm, týdně 4 237 vlkm, průměrně 13,76 km za vlak za den. (10)

Většina vlaků je v provozu po celý rok. Omezení se týká několika vlaků o některých státních svátcích nebo dní, kdy se očekává nižší, nebo vyšší poptávka po přepravě. Podrobný rozpis omezení je v tabulce 4.

Tabulka 4 Omezení provozu osobních vlaků

Vlak	Omezení
27718	
27719	Pondělí–čtvrtek jede vlak v úseku Liteň – Zadní Třebaň, v pátek a 6.4., 4.7., 27.9., 16.11. jede v celém úseku. Nejede 7.4, 17.11.
27722	
27725	
27731	Nejede 24.12.
27726	
27728	Nejede 24.12, 31.12.
27733	

Zdroj: autor

Pro provoz linky S76 jsou potřeba 2 vozidla 810. Ve všední den se vozidla setkávají ve stanici Liteň nebo v Zadní Třebani. Vytížené špičkové vlaky jsou vedeny v celé trase a vozidla se proto kříží v dopravně D3 Všeradice. O víkendu jsou v provozu též 2 vozidla 810, jezdí ale jako jeden vlak. Spoje jsou posíleny jedním vozem 810 a v letní sezóně od 25.3 do 29.10 je v soupravě vlaků zapojen vložený vůz řady 010 určený především pro cyklisty. O víkendu je na trati v provozu jedna souprava ve složení 810+(010+)810. Podoba posilové víkendové soupravy je na obrázku 17.

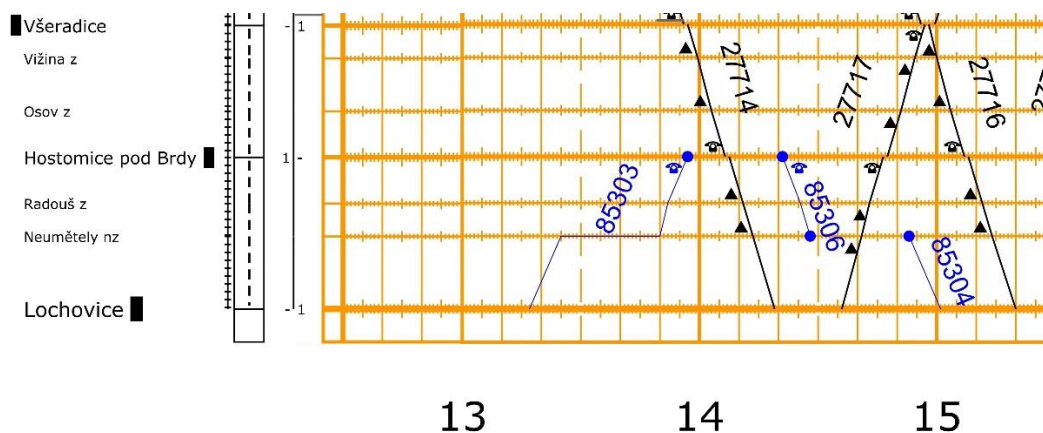


**Obrázek 17** Motorové vozy řady 810 a přívěsný vůz 010

Zdroj: (12)

Na trati je v provozu nákladní doprava v podobě jednoho páru nákladních vlaků (viz obrázek 18). Tento vlak obsluhuje kovošrot na nákladišti Neumětely a v období těžby dřeva zajíždí vlak do dopravní D3 Hostomice pod Brdy pro nakládku dřeva. Vlak vjíždí na trať ve stanici Lochovice v 13:17. Na nákladišti má vlak 25 minut manipulaci a pak pokračuje do Hostomic, kde opět manipuluje. V Hostomicích nákladní vlak musí počkat na osobní vlak. Poté, co osobní vlak dojedle do Lochovic, může nákladní vlak odjet zpět do nákladniště Neumětely. V Neuměteli se opět vykřížuje nákladní a osobní vlak. Nákladní vlak může odjet do Lochovic po příjezdu osobního vlaku do Hostomic. V Lochovicích je vlak v 15:01.





**Obrázek 18** Výstřižek z NJŘ

Zdroj:(13), upraveno autorem

Díky integrovanému dopravnímu systému Pražské integrované dopravy jsou vzájemně provázány autobusové a vlakové spoje. Některé autobusové spoje mají návaznost na vlak v zastávkách vlaku, kde je v blízkosti autobusová zastávka. Tyto autobusové spoje zajišťují kvalitnější obsluhu území v okolí tratě. Nejsnadnější dostupnost okolí trati je linkami 639, 640 a 632. Linka 639 jezdí z Hořovic přes Hostomice na Dobříš, spoje jezdí každou hodinu. Linka 640 doplňuje obslužnost mezi Hostomicemi a Zdicemi. Linka 640 jezdí nepravidelně, pouze během přepravních špiček. Linka 632 doplňuje vlakové spoje na lince S76 a zajišťuje přestup na linku S7 ve stanici Řevnice. Spoje jezdí každou hodinu během celého dne. Zastávky autobusu dostupné ze zastávek vlaku a jejich časová dostupnost je znázorněna v tabulce 5. O víkendu jsou ale v provozu pouze vlakové spoje. Je zde prostor pro zlepšení obslužnosti území vzhledem k tomu, že linka S76 je nejvíce vytížena v neděli. Zavedením autobusových spojů o víkendu by se zatraktivnil cestovní ruch v okolí trati, blízké chráněné krajinné oblasti Český kras a pohoří Brdy.

**Tabulka 5** Autobusové zastávky v okolí trati

Železniční zastávka	Autobusová zastávka	Dostupnost	Linka autobusu
Lochovice	Lochovice, žel. st.	<1 min	642
	Lochovice, u závor	6 min	639
Neumětely	Neumětely, žel. zast.	<1 min	639
Radouš	Hostomice, Radouš	<1 min	639, 640
Hostomice pod Brdy	Hostomice, žel. st.	2 min	639, 640
Osov	Osov, žel. zast.	<1 min	632, 639
Vižina	Vižina	6 min	632, 634
Všeradice	Všeradice, žel. zast.	<1 min	632
Nesvačily	Nesvačily	13 min	632
Skuhrov pod Brdy	Liteň, Leč, rozc.	2 min	637
Liteň	Liteň, kino	4 min	637
	Liteň, nám.	10 min	637, 633
Běleč	-	-	-
Zadní Třeboň	-	-	-

Zdroj: autor

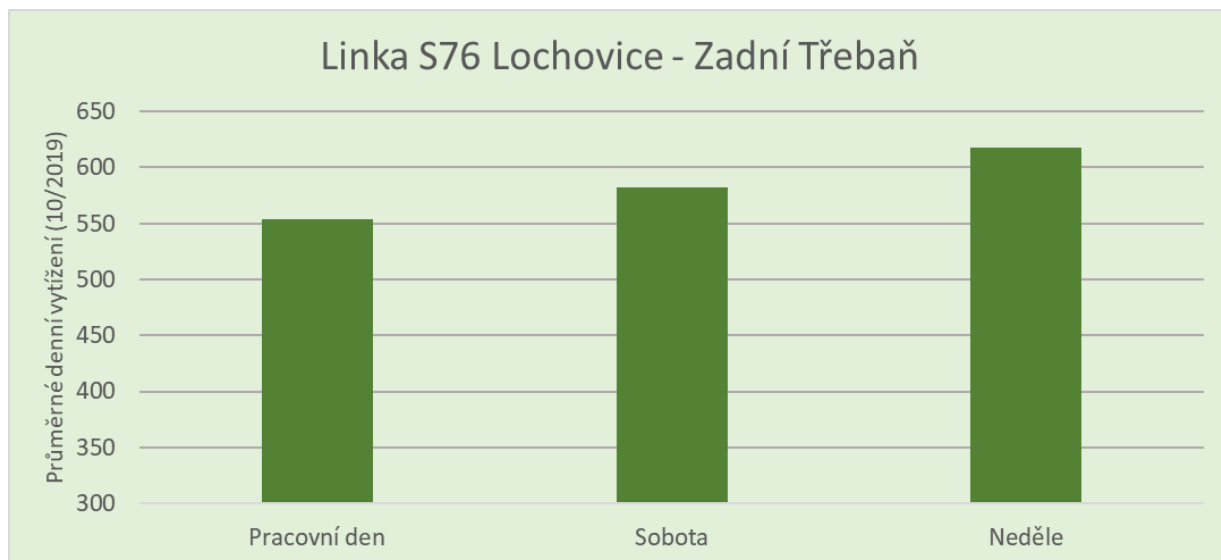
## 1.5 Přepravní vytížení linky

Trat' plní velmi důležitou úlohu v dopravní obslužnosti v jejím okolí. Osobní vlaky velmi intenzivně využívají žáci a studenti, pracující i důchodci ve všední dny, ale i množství turistů a cyklistů o víkendu. Nejvíce je trat' využívána z/do Zadní Třeboň pro přestup na linku S7 do Prahy nebo do Berouna. Přestupní proudy v Lochovicích nejsou příliš intenzivní. Cestující proto cestou do Zadní Třeboň přistupují a cestou ze Zadní Třeboň vystupují. Nejvíce cestujících jezdí z Litně. Jsou proto v přepravních špičkách zavedené posilové vlaky v úseku Zadní Třeboň – Liteň.

Linka je v průběhu celého týdne nejvytíženější v neděli. Průměrné denní vytížení v neděli je 618 cestujících. Následuje sobota s 582 cestujícími. Nejnižší průměrné denní vytížení je ve všední dny (554). Nejvytíženější úsek linky je Běleč – Zadní Třeboň s průměrným vytížením 575 cestujících, což odpovídá 35% obsazení vozidla (viz obrázek 19). (10)

Vzhledem k tomu, že o víkendu je linka vytížena nejvíce, bylo by vhodné přepracovat víkendovou podobu jízdního řádu. Místo soupravy, která o víkendu obsluhuje všechny vlaky

autor navrhuje tuto soupravu rozdělit. Ušetřené vozidlo autor navrhuje využít pro další spoje, které by byly doplněny. Převážní proudy by se rozmělnily, vlaky by nebyly přeplněné a zlepšila by se obslužnost území v okolí trati.



**Obrázek 19** Průměrné denní vytížení linky S76

Zdroj: autor

## 1.6 Shrnutí

V kapitole jedna autor analyzuje spotřebu energie České republiky, úskalí vysoké spotřeby energie pocházející z fosilních zdrojů, jako je např. nízká účinnost spalovacího motoru a tím zbytečné spotřeby energie, která ale není využívána pro samotný pohon vozidla. V první kapitole jsou též rozebrány současné možnosti alternativních pohonů vozidel, jako je vozidlo trolej – akumulátor, vozidlo trolej – naftový motor nebo vozidlo palivový článek – akumulátor. V kapitole je popsána dopravní infrastruktura trati Lochovice – Zadní Třeboň, způsob organizování drážní dopravy, nebo podrobné popisy stanic a zastávek včetně časových dostupností obcí od zastávek. V podkapitole současný stav dopravy je rozebrán knižní jízdní řád, způsob obsluhy území, nebo vypočítané některé technologické ukazatele linky. Autor v první kapitole analyzuje doplňkovou obsluhu území autobusovými spoji a naznačuje možné vylepšení obsluhy území. V kapitole je také analyzováno přepravní vyžití linky S76.

## 2 ANALÝZA VOZIDLA POHÁNĚNÉHO VODÍKOVÝM PALIVOVÝM ČLÁNKEM

Vodík je nejlehčí prvek v periodické soustavě prvků. Je třetím nejrozšířenějším prvkem na Zemi a tvoří dvě třetiny vesmírné hmoty. Odhady tvrdí, že tvoří až 30 % hmotnosti Slunce. Při úniku vodíku do atmosféry nedochází ke znečištění ovzduší, jde o bezemisní látku, která není toxická a je bez zápachu. Vodík velmi dobře hoří, za světla téměř bezbarvým plamenem, za tmy již pozorujeme modrý nádech barvy plamene. Sám ale hoření nepodporuje. (14)

Z výše uvedeného se vodík jeví jako vhodné palivo nejen svým všudypřítomným výskytem, ale i výbornými hořlavými vlastnostmi.

V roce 1776 objevil vodík britský vědec Henry Cavendish. V průmyslu vodík ale nenašel uplatnění, protože byla na vzestupu levnější fosilní paliva. První větší využití vodíku dopravě bylo jako nosný plyn ve vzducholodích. Tento způsob se neuchytil, protože byl v této době považován za nebezpečný. Vzducholod' Hindenburg vzplanula nikoliv však kvůli vodíku, ale kvůli závadě v elektroinstalaci, jejíž zkrat zapálil hořlavý „balon“, který byl naplněný vodíkem a nesl celou vzducholod'. Později vodík nacházel uplatnění v astronautice nejen jako palivo pro raketové motory, ale i jako zdroj elektrické energie a tepla v palivovém článku v raketách. (14)

Havárie vzducholodi vytvořila obrovský mýtus spojený s nebezpečně boučajícím vodíkem. Vodík obsažený v nosném balonu vzducholodi ale ve chvíli, kdy zkrat zapálil obal a vytvořil se otvor, vodík okamžitě unikl do okolní atmosféry a v podstatě nestihl chytit od hořícího balonu.

Protože je vodík vysoce reaktivní, samostatně se v přírodě téměř nevyskytuje. Jelikož je vodík vázán ve sloučeninách, potřebujeme vynaložit energii na jeho získání. Následně při využívání vodíku pro pohon vozidel s jeho pomocí měníme energii vloženou do jeho získání v jiný zdroj. V těchto souvislostech lze o vodíku hovořit spíše jako o nosiči energie než jako o palivu. (15)

Protože je nutné vynaložit energii pro získání vodíku, musí být tato energie získána co možná nejekologičtější cestou, abychom mohli vodíkový pohon považovat za ekologický pohon.



Vodík využívají dva typy pohonů. Jednodušší způsob v podobě vodíku jako paliva ve spalovacím motoru, nebo pokrokovější a smysluplnější využití vodíku v palivových článcích, kde na základě chemické reakce vzniká elektrický náboj, který je dále využíván.

## **2.1 Získávání vodíku**

Vodík se nejčastěji získává třemi způsoby. Podle energetické náročnosti, udržitelnosti, nebo ceny rozlišujeme vodík šedý, modrý a zelený. Šedý vodík získáváme chemickým štěpením zemního plynu. Při tomto procesu ale vzniká velké množství oxidu uhličitého, až 5 kg na jeden kilogram vyrobeného vodíku. Modrý vodík vzniká stejným způsobem, ale při výrobě je navíc zachytáván a ukládán oxid uhličitý. Zelený vodík je nejekologičtější způsob získávání vodíku. Jeho výroba se provádí elektrolýzou vody. Tato výroba je ale velice energeticky náročná. Aby byl tento způsob ekologický, je nutné využít pro tento proces elektřinu z obnovitelných zdrojů, a ještě navíc v době přebytku výroby elektřiny. (16)

### **Šedý vodík**

V současnosti získáváme 96 % vodíku chemickým štěpením (parním reformingem) zemního plynu. Při parním reformingu se přivádí vodní pára o teplotě 750–950 °C k metanu, kdy reaguje směs metanu a vodní páry za vzniku vodíku, CO a CO<sub>2</sub>. Poté znovu reaguje oxid uhelnatý s horkou vodní párou a vzniká vodík a oxid uhličitý. Tento proces je velice účinný (80 %) a levný, ale při výrobě vzniká velké množství oxidu uhličitého. Na 1 kg vodíku připadá 5,5 kg oxidu uhličitého, některé zdroje ovšem uvádějí 9-12 kg oxidu uhličitého.(14)(17)

### **Modrý vodík**

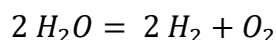
Téměř identický způsob získávání vodíku je technologie modrého vodíku. Proces probíhá naprosto shodně s výše zmíněným procesem s tím rozdílem, že vznikající oxid uhličitý je zachytáván. Technologie se nazývá carbon capture storage (CCS) nebo také carbon capture utilization (CCU). Proces je až o 95 % ekologičtější než výroba šedého vodíku. (14)

### **Zelený vodík**

Pod pojmem zelený vodík se skrývá vodík získaný elektrolýzou vody s použitím elektřiny z obnovitelných zdrojů. Tímto způsobem je celosvětově získáno asi 4 % z celkové produkce vodíku. Bohužel je ale většina z těchto 4 % získána jako vedlejší produkt výroby chloru. Chlor se získává elektrolýzou solanky (roztok chloridu draselného nebo chloridu sodného). Takto získaný vodík nazýváme bílý vodík.(14)

Elektrolýza vody je proces, při kterém vzniká na elektrodách ponořených do vody vodík a kyslík. Elektrodami musí procházet stejnosměrné elektrické napětí.

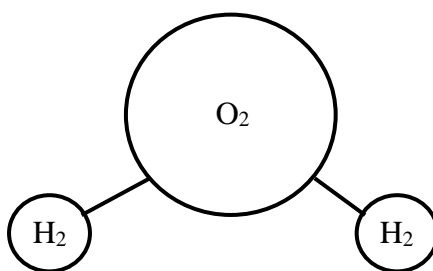
Voda je na začátku procesu filtrována od pevných částic. Filtrování musí zajistit, aby ve vodě zůstaly přítomné minerály, které zajistí, aby voda zůstala elektricky vodivá. Voda bez takových minerálů (např. destilovaná voda) se nazývá v souvislosti s elektrolýzou jako voda mrtvá či hladová. (18)



### Rovnice 1 Elektrolytická reakce vody

Zdroj: (19)

Při elektrolýze vody vzniká na kladně nabitě elektrodě (katodě) vodík a na záporně nabitě elektrodě (anodě) kyslík, z podstaty molekuly vody je produkce plynů v poměru 2:1 – v molekule vody jsou dva atomy vodíku a jeden atom kyslíku (viz rovnice 1, obrázek 20).



Obrázek 20 Molekula vody

Zdroj: autor

V současnosti je produkce vodíku elektrolýzou vody velmi nákladná, ale do budoucna se očekává navýšení produkce elektrolýzou a tím i zlevnění zeleného vodíku.

## 2.2 Vodík ve spalovacím motoru

Spalovací vodíkový motor koncepčně vychází ze zážehového motoru, proto většina takových motorů dokáže pracovat jak s benzinem, tak i na vodík.

Vodík jako palivo do spalovacího motoru zkoušejí využít všichni světoví výrobci motorů. První takové využití bylo ve 20. letech minulého století ve vzducholodních motorech. Takový motor může pracovat s velmi chudou směsí vodíku a kyslíku, což vede ke snížení spotřeby při nižších zatíženích motoru. (20)

Jelikož motor spalující vodík pracuje s přebytkem vzduchu, slouží přebytečný vzduch jako chladivo a snižuje se tím teplota směsi pod mez, při které by mohlo dojít k samovolnému vznícení připravené směsi a tím neklidného chodu motoru. Spalování vodíku při nízké teplotě nedovoluje vzniku oxidům dusíku ( $\text{NO}_x$ ). Spalovací vodíkový motor proto pracuje až o 99,9 % ekologičtěji než zážehový motor. (21)

Ve spalovacích motorech není využití vodíku příliš perspektivní. Spalovací pístový motor obsahuje velké množství pohyblivých částí, které vytvářejí odpor. Vyšší odpor z vnitřního tření snižuje účinnost motoru. Také práce vykonaná vodíkem při hoření se koná pouze při jediném taktu – expanzi, což je pouze  $\frac{1}{4}$  celého cyklu čtyřdobého motoru. Vodík v palivovém článku vykonává práci kontinuálně po celou dobu chodu palivového článku.

### **2.3 Vodík v palivovém článku**

Palivový článek je elektrochemické zařízení, které mění energii vzniklou při chemické reakci na elektrické napětí. Nejčastěji se využívá palivový článek využívající reakci vodíku a kyslíku. Vodík musíme získat, následně uložit do palivové nádrže, odkud je využíván dále. Kyslík pro reakci v palivovém článku postačuje z okolního vzduchu. Proces tvorby elektrické energie v palivovém článku je v podstatě proces inverzní k elektrolýze vody.

První zmínka o palivovém článku je z roku 1889, kdy se Charles Langer a Ludwig Mond pokusili vyvinout palivový článek napájený svítíplynem, vývoj byl ale příliš drahý. První zmínku o jevu palivového článku datujeme ale již dříve, do roku 1802, kdy Sir Davy Humphrey prováděl elektrolýzu vody a při odpojení zdroje elektrické energie naměřil na elektrodách slabý náboj. Nicméně tento jev nedokázal popsat, nelze proto hovořit o palivovém článku. (38)

#### **Základní části palivového článku**

Palivový článek nevyžaduje velké množství součástí. Žádná ze součástí není mechanicky pohyblivá, což vede k nulovému opotřebování tohoto zařízení. Části palivového článku jsou:

- anoda,
- katoda,
- elektrolyt.

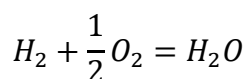
Anoda a katoda jsou elektrody vyrobené z porézního a elektricky vodivého materiálu. Elektrody jsou potaženy slabou vrstvou katalyzátoru (nejčastěji platina). Katalyzátor je látka

umožňující urychlení, či započítí chemické reakce. Elektrolyt je látka umožňující přesun pouze kladně nabitých částic.

### **Obecný princip činnosti palivového článku**

Obecný princip činnosti je pro všechny známé typy palivových článků stejný. Palivové články se liší použitým materiálem elektrod, typem elektrolytu a pracovní teplotou. (20)

Na anodu je přiváděno palivo (vodík), které je nuceno reagovat s okysličovadlem (kyslík) na druhé straně článku, na katodě. Elektrolyt umožňuje prostup pouze kladně nabitým částicím, proto je anoda potažena slabou vrstvou katalyzátoru. Katalyzátor dokáže z atomu vodíku odloučit elektron. Nyní se vodík stává kladně nabitou částicí (protonem) a může prostoupit elektrolytem. Samostatný elektron nyní již jako elektrické napětí nemá jinou možnost než pokračovat vodivými částmi článku, tj anodou a dále obyčejnými vodiči konat elektrickou práci na připojeném spotřebiči. Poté, co elektron vykoná elektrickou práci, pokračuje obvodem dále na katodu. Kladně nabitý atom vodíku se na katodě opět setkává se svým elektronem a utvoří stabilní atom vodíku. Vodík se na této straně palivového článku setkává s okysličovadlem (kyslík). Protože je vodík velmi reaktivní prvek, utvoří zde s kyslíkem molekulu vody.



**Rovnice 2** Reakce probíhající v palivovém článku

Zdroj: (20)(21)

Palivový článek je velmi stabilní zařízení, které se vůbec neopotřebovává, může proto pracovat s přísunem paliva do nekonečna. Palivový článek má účinnost 50 %, tzn. že 50 % energie dodané vodíkem je využito na elektrické napětí a zbylých 50 % energie produkuje teplo. Výkon palivového článku je neměnný od chvíle, kdy článek dosáhne provozní teploty. Palivový článek neumí během svého pracovního procesu dynamicky měnit výkon, proto je nutné v dopravních prostředcích instalovat lithiový akumulátor, který dokáže vykryt výkonnostní požadavky pro rozjezd vozidla.

## **2.4 Využití vodíku v dopravě**

V roce 1807 zkonstruoval Švýcar Francois Isaac de Rivaz první vozidlo poháněné vodíkem. Nejednalo se však o palivový článek, ten byl poprvé sestrojen až v roce 1889 (viz

kapitolu 2.3). Vozidlo bylo poháněné pístovým spalovacím motorem, který spaloval vodík. Taková technologie se neuchytila, neboť byla na vzestupu levnější fosilní paliva.

První vozidlo (traktor) poháněné vodíkovým palivovým článkem bylo vyrobeno v roce 1959. O šest let později byla vyrobena první dodávka s palivovým článkem (GM electrovan). Dlouho se vodíková mobilita příliš nerozvíjela, vzestup přišel na přelomu tisíciletí. Kolem roku 2005 ovšem opět padl zájem rozvíjet vodíkovou mobilitu a začalo se pracovat na elektrickém pohonu. V současnosti jsou volně k prodeji tři modely osobních automobilů poháněných vodíkovým palivovým článkem, Hyundai Nexo, Toyota Mirai a Honda FCV.(22)

První český autobus na vodíkový pohon byl postaven v roce 2009. Na jeho výstavbě se podílel Ústav jaderného výzkumu Řež, Škoda electric a mnichovská společnost Proton Motor. Autobus byl nazván TriHyBus (triple hybrid hydrogen bus). Autobus totiž využívá tři zdroje energie – palivový článek, akumulátor a výkonné kondenzátory (ultrakapacitory). Autobus byl provozován v Neratovicích mezi lety 2009–2014. Z důvodu příliš drahého vodíku nebyl využíván pravidelně. (23)

Osobní vlak poháněný vodíkovým palivovým článkem představil jako první na světě výrobce Alstom na výstavě InnoTrans Berlin v roce 2016. O dva roky později již tyto vlaky zahájily provoz v Německu. Vlak nese název Coradia iLint. (24)

### **Coradia iLint**



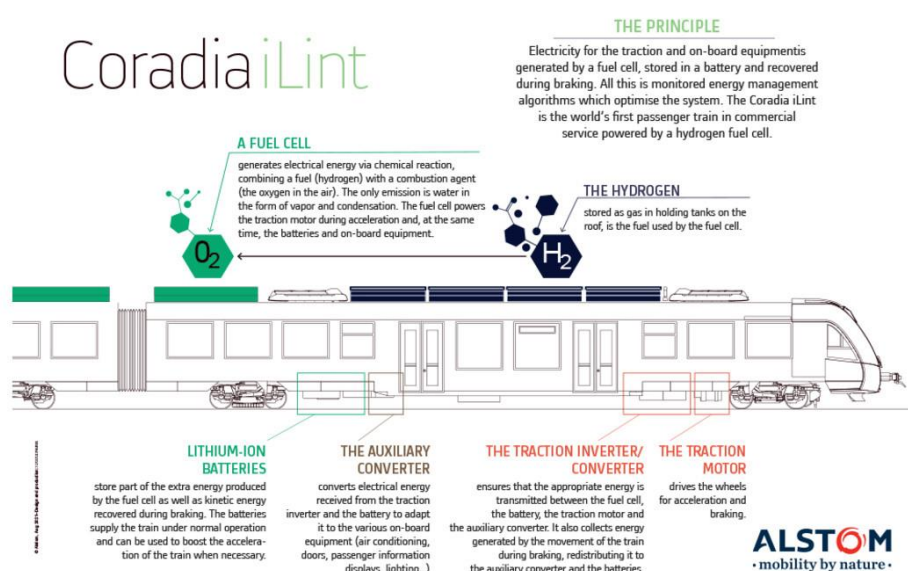
**Obrázek 21** Alstom Coradia iLint

Zdroj: (25)

Alstom Coradia iLint je železniční kolejové vozidlo určené pro vozbu regionálních vlaků, případně méně vytižených rychlíkových linek. Vstup do vozidla je nízkopodlažní, nad podvozky je podlaha výš. Dvouvozová varianta pojme až 150 sedících cestujících a 150 stojících cestujících. Maximální rychlost vozidla je 140 km/h. Palivové nádrže vozidla Coradia iLint pojmu 188 kg vodíku, což je 6316 kWh energie, vozidlo dokáže natankovat za 15 minut (26). V současnosti je v provozu 14 vozidel Coradia iLint v Dolním Sasku. Dalších 98 vozidel je objednáno do Dolního Saska, Bavorska a Hesenska.(27)

Coradia iLint vychází z vozidla Coradia Lint. Výrobce vyměnil stávající pohon na spalovací motor za zařízení pro provoz na vodík. Na místo palivové nádrže a spalovacího motoru, který byl umístěn pod podlahou vozu, výrobce umístil akumulátory, silnoproudá zařízení pro směřování napětí akumulátor -> trakční motor nebo trakční motor -> akumulátor. Lehčí vodíkovou výzbroj (nádrže na vodík a palivový článek) Alstom umístil na střechu (viz obrázek 22). Tato zařízení jsou na střeše i z bezpečnostních důvodů v případě úniku nebo vzplanutí vodíku.

V České republice bylo vodíkové vozidlo poprvé představeno v rámci akce Coradia iLint Railshow 2022. Výrobce Alstom uspořádal prezentační akci pro veřejnost. Během osmi dní se konaly promo jízdy po celé České republice. Cestující se mohli tímto vozidlem svézt a představit si možnou budoucnost drážní dopravy.



**Obrázek 22** Coradia iLint schéma trakční výzbroje

Zdroj: (24)

## Flirt H<sub>2</sub>

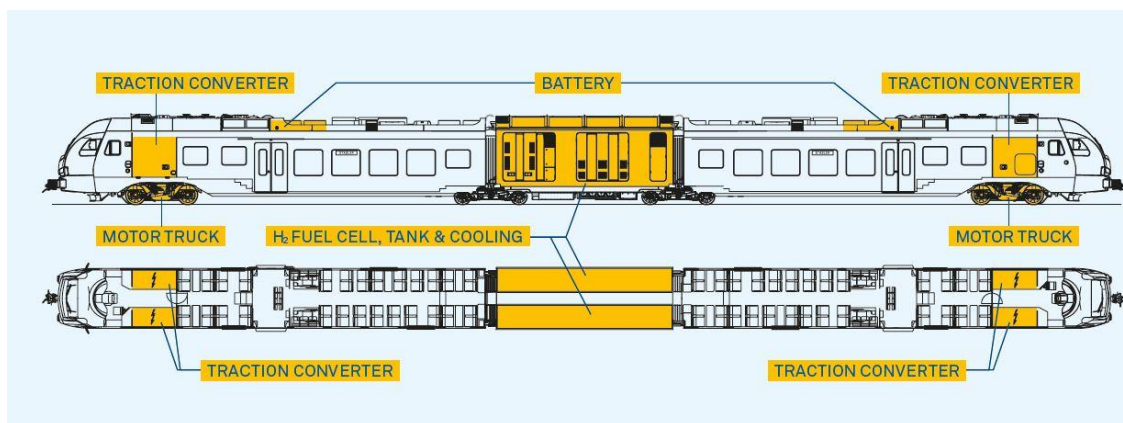


**Obrázek 23** Stadler Flirt H<sub>2</sub>

Zdroj: (28)

Vodíková jednotka Flirt H<sub>2</sub> od švýcarského výrobce Stadler Rail AG byla veřejnosti představena na světové výstavě Inno Trans Berlin v roce 2022. Vozidlo je vyráběno ve dvou variantách čtyřčlánkové a dvoučlánkové. Každá varianta se skládá z vozů pro cestující a jedním nebo dvěma články s nádržemi na vodík palivovým článkem a chladícím systémem. Akumulátory jsou umístěny na střeše vozidla, v čelních vozech za stanovišti strojvedoucího je umístěna trakční výzbroj. Hnací podvozky jsou umístěny pod trakční výzbrojí na čelních vozech (viz obrázek 24). Vozidlo může být vybaveno i pantografem pro jízdu pod liniově elektrifikovanými tratěmi. První vozidlo bude uvedené do provozu v roce 2024 v USA ve státě California. Společnost San Bernardino County Transportation Authority, California USA objednala 4 vozidla. Plánuje ovšem objednat dalších až 25 vozidel Flirt H<sub>2</sub>. Objednaná vozidla disponují kapacitou 116 sedících cestujících, maximální rychlostí 127 km/h, dojezdem 460 km a maximálním výkonem 700 kW. Plnění vodíkem trvá méně než 30 minut. (29) (30) (31)





**Obrázek 24** Stadler Flirt H<sub>2</sub> – rozložení interiéru

Zdroj: (31)

## Mireo plus H



**Obrázek 25** Siemens Mireo plus H

Zdroj: (32)

Vozidlo Mireo Plus H od německého výrobce Siemens Mobility AG bylo veřejnosti představeno na výstavě Inno Trans Berlin v roce 2022. Mireo bude k dispozici ve dvou variantách, dvoučlánkové a tříčlánkové. Vozidlo má akumulátory umístěné pod podlahou čelního vozu (na obrázku 26 označeno [5]), pod podlahou druhého čelního vozu je umístěna trakční výzbroj [1]. Na střeše vozidla jsou umístěny nádrže na vodík [3] a palivový článěk [2]. Na střeše je také umístěno zařízení technologie SiC [4], která šetří energii, zvyšuje účinnost a snižuje hluk. V roce 2022 podepsal německý dopravce Bayerische Regioalbahn leasingovou smlouvu na dvoučlánková vozidla Mireo Plus H. Jednalo se o pilotní projekt na 30 měsíců. Testovací provoz by měl začít v roce 2023 a v roce 2024 by vlaky měly začít vozit cestující.



Německé dráhy – DB spolupracují se Siemens Mobility na komplexním řešení provozu vodíkových vlaků. Projekt „H2goesRail“ má za cíl vymyslet vodíkovou plnicí stanici, která zvládne naplnit vodíkové nádrže vozidla za stejnou dobu jako zvládne běžná čerpací stanice naplnit nádrže na naftu. Mireo Plus H může jet rychlostí až 160 km/h, výkon vozidla je 1 700 kW, výsledkem je zrychlení až  $1,1 \text{ m/s}^2$ . Tříčlanková verze má dojezd 800 – 1 000 km, zatímco dvoučlanková verze ujede na jedno naplnění nádrží 600 km. Plnění vodíkem trvá 15 minut. (33) (34)



**Obrázek 26** Siemens Mireo Plus H – schéma

Zdroj: (35)

V České republice je na místě řešit uplatnění vozidel s alternativními pohony na linkách, na kterých není v plánu vybudovat liniové trakční vedení. Jedná se o linky R21, R22, R24, R25, R26 a R27. Využití bateriové, nebo vodíkové technologie bude záviset na délce úseku bez liniové elektrifikace. (36) Moravskoslezský kraj uvažuje o provozu vodíkových vozidel na Bruntálsku. V Ústeckém kraji se jeví využití vodíku jako nejvhodnější, protože je zde velké množství podniků, které vytvářejí vodík jako odpadní produkt. Norská společnost SINTEF zpracuje projekt, ve kterém bude provedeno ekonomické a technické zhodnocení provozu vodíkových vlaků na trati z Ústí nad Labem přes Děčín a Českou Lípou do Liberce. (37)

## 2.5 Shrnutí

Ve druhé kapitole je popsán pohon vodíkovým palivovým článkem. Je zmíněna základní charakteristika vodíku, počátky využívání vodíku v průmyslu. Dále jsou popsány možnosti získávání a výroby vodíku. Autor také zmiňuje, jakým způsobem lze vodík využít pro pohon vozidel – ve spalovacím motoru, nebo v palivovém článku. V kapitole jsou popsány základní části palivového článku, princip činnosti palivového článku a také samotné využití vodíku v dopravě. Je popsáno i využití vodíku v silničních vozidlech. Dále jsou popsána v současnosti nabízená železniční vozidla poháněná vodíkovým palivovým článkem.

### 3 NÁVRH PROVOZU NA VYBRANÉ TRATI

Do roku 2050 musí být Česká republika uhlíkově neutrální. Tento závazek se týká i provozu osobních vlaků na trati Lochovice – Zadní Třebaň. Autor navrhuje, aby současné vozidlo poháněné naftovým spalovacím motorem bylo nahrazeno vozidlem poháněným vodíkovým palivovým článkem.

Na základě simulací provedených Univerzitou v Birminghamu na trati Birmingham Moor street – Stratford upon Avon vědci zjistili, že použití vozidla na vodíkový pohon ušetří 55 % energie oproti naftovému pohonu. Vozidlo navíc dokázalo během této trasy rekuperovat celkem 138 kWh energie zpět do akumulátorů. V simulaci bylo uvažováno, že vodík vyrobený pro provoz vozidla by pocházel z parního reformingu zemního plynu. I přes to bylo na trase vyprodukováno o 72 % méně oxidu uhličitého, než vyprodukovalo vozidlo se spalovacím naftovým motorem. (40)

Vozidlo poháněné vodíkovým palivovým článkem má vysoký dojezd na jedno naplnění zásobníků. Takové plnění trvá maximálně 30 minut. Zbrojení vodíkem by se provádělo ve stanici Beroun, protože se očekává větší flotila vozidel s vodíkovým článkem. Beroun je vhodná stanice pro zbrojení, neboť zde velké množství osobních vlaků končí, například linka S6 (Praha Smíchov – Beroun), S60 (Beroun – Protivín) a S75 (Beroun – Rakovník). Pro přehled viz obrázek 27.



Obrázek 27 Schéma linek S v Berouně

Zdroj: autor, (8)

### **3.1 Jízdní řád**

Středočeský kraj uvažuje ve střednědobém i dlouhodobém výhledu zachovat koncept jízdního řádu s intervalem 60/120 min s posilováním ve špičkách v úseku Zadní Třebaň – Liteň. Taktový model kraj uvažuje ponechat v X:30 v Zadní Třebani, ve Všeradicích v X:00 a v Lochovicích s návazností na vlaky linky R26 a S60 ve směru Příbram. (10) Autor s takovým konceptem souhlasí a považuje za dostačující současnou podobu jízdního řádu popsanou v kapitole 1.

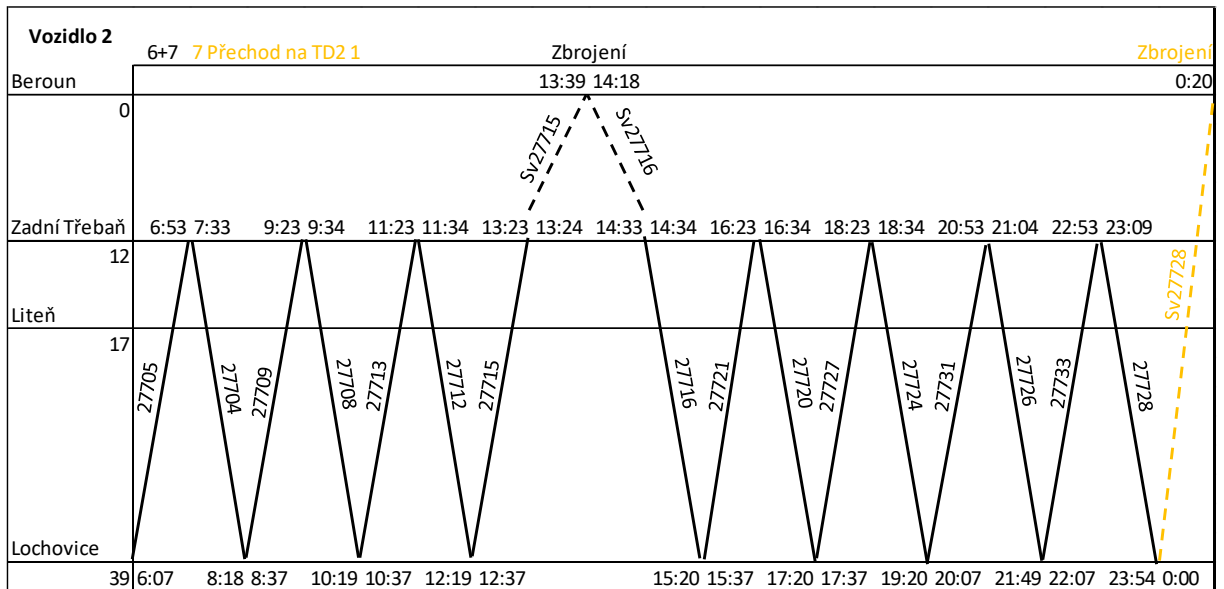
Spoje by nadále byly směřovány na hlavní přestupní vazbu do Zadní Třebaně na linku S7. První spoj by vyjížděl z Lochovic kolem čtvrté hodiny ranní. Tím by bylo zajištěno spojení do Prahy na šestou hodinu ráno. Následující ranní spoje by sloužily především pro žáky a studenty, kteří dojíždějí do Prahy a Berouna na 8. hodinu. Pozdější spoje by byly doplňkové pro nepracující občany, jako jsou důchodci nebo osoby na mateřské dovolené. Odpolední spoje využívají především cestující, kteří se vrací ze školy a z práce. Autor neočekává výraznou změnu v chování cestujících. Dřívější odpolední spoje by využívali žáci a studenti pro cestu domů ze škol. Spoje po 15. hodině už by využívali spíše pracující osoby na cestě domů z práce. Večerní spoje by sloužily pro cesty za zábavou a kulturním vyžitím do měst. Poslední spoj ze Zadní Třebaně v 23:00 je vyhovující. Pozdější spoje by byly málo využívané a nevyplatilo by se jejich financování.

### **3.2 Oběhy vozidel**

Oběhy vozidel jsou v současnosti naplánované tak, aby se všechna vozidla dostala do Lochovic, kde je zbrojící zařízení. Autor ale navrhuje provádět zbrojení v Berouně z důvodu vysokých nákladů na vybudování vodíkové plnicí stanice. Současné oběhy jsou i přesto naplánovány tak, aby se vozidla dostala do Berouna. Vozidla jsou v Berouně pouze odstavena a je zde dostatek času na zbrojení vodíkem.



Víkendový oběh je v současnosti uzpůsoben jízdě soupravy 810+(010+)810. V případě navrhovaného provozu dvoučlánkovým vodíkovým vozidlem by nebylo potřeba posilovat víkendové spoje dalším vozidlem. Sedadlová kapacita dvoučlánkového vozidla je dostatečná i pro víkendový provoz. Proto by během víkendu mohlo být druhé vozidlo, které je jinak využíváno pro posilové spoje do Litně, využito na jiných tratích v okolí Berouna.



**Obrázek 30** Oběh TD2 6+7

Zdroj: autor

O víkendu by vozidlo začínalo oběh ráno v Lochovicích a celý den by obsluhovalo linku v celé trase (viz obrázek 30). Po vlaku 27715 by vozidlo odjelo do Berouna na zbrojení. Jízda ze Zadní Třebeň do Berouna trvá 15 minut, následně je počítáno s 5 minutami posunu v Berouně k plniče. Samotné plnění je plánováno na 30 minut, následuje 5 minut posunu a nakonec 15 minut jízdy do Zadní Třebeň. Detailní rozpis zbrojení je znázorněn na obrázku 31.

úkon	doba trvání	Ganttův diagram zbrojení vodíkem															
jízda ZTR - BE	15 min	[Bar chart showing 15-minute travel from ZTR to BE]															
posun	5 min	[Bar chart showing 5-minute stop]															
zbrojení	30 min	[Bar chart showing 30-minute refueling]															
posun	5 min	[Bar chart showing 5-minute stop]															
Jízda BE - ZTR	15 min	[Bar chart showing 15-minute travel from BE to ZTR]															
<b>celkem</b>	<b>70 min</b>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	70

**Obrázek 31** Ganttův diagram zbrojení vodíkem

Zdroj: autor

### 3.3 Výběr vhodného vozidla

Vybraná trať je v současnosti obsluhována nízkokapacitními vozidly řady 810. Vozidlo řady 810 disponuje 55 místy k sezení. Výrobci drážních vozidel v současnosti nenabízejí alternativní typ vozidla s podobně nízkou obsaditelností.

V současnosti jsou vyráběna tři vozidla poháněná vodíkovým palivovým článkem. Výrobce Alstom nabízí vozidlo Coradia iLint (150 sedících cestujících). Výrobce Siemens vyrábí vozidlo Mireo Plus H a švýcarský výrobce Stadler má ve flotile model Flirt H<sub>2</sub> (116 sedících cestujících). Všechna zmíněná vozidla jsou dvoučlánkového provedení. Dvoučlánkové provedení je vhodné uspořádání, pokud by vozidla byla využita pro balíček tratí. Kdyby vozidla obsluhovala linky S6, S60, S75 a S76, bude nabízené uspořádání vyhovující a lze taková dvoučlánková vozidla využít i na méně vytížené trati Lochovice – Zadní Třebaň. Obsazenost současného vozidla v nejvytíženějším úseku průměrně nepřesahuje 40 %.

Vozidla při takto naplánovaných obězích ujedou průměrně 471 km mezi zbrojeními. S takovou průměrnou hodnotou by dojezd současně nabízených vozidel znemožnil využití vozidla Stadler Flirt H<sub>2</sub>, protože má dojezd jen 460 km. Nicméně při detailním rozpočítáním nájezdu mezi konkrétními turnusovými dny vychází nájezd mezi zbrojeními ze čtvrtka na pátek na 648 km (viz tabulku 6). Tato hodnota už představuje další omezení při výběru vozidla. Vozidlo Siemens Mireo Plus H nelze použít pro takový nájezd. Vozidlo Siemens Mireo Plus H má dojezd 600 km. Takto nastavené oběhy umožňují využít pouze vozidlo Alstom Coradia iLint s dojezdem 1000 km. Doba pro zbrojení nepředstavuje parametr, který by omezoval výběr vozidla. V obězích je počítáno se zbrojením 30 minut. Žádné z nabízených vozidel tuto dobu nepřekračuje Coradia iLint–15 min, Siemens Mireo plus H–15 min, Stadler Flirt–30 min.

**Tabulka 6** Vzdálenost mezi doplňováním paliva

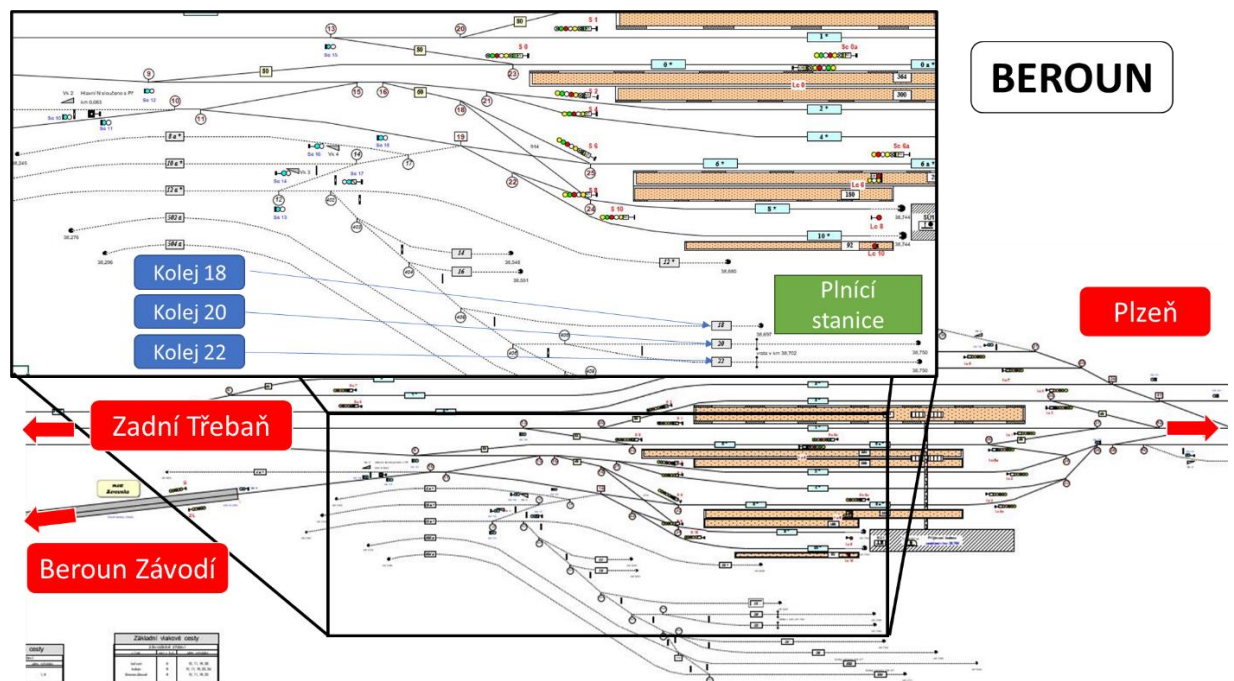
Vzdálenost mezi doplňováním paliva	
Pondělí	401 km
Úterý–čtvrtek	594 km
Čtvrtek -> pátek	<b>648 km</b>
Pátek -> sobota	456 km
Sobota -> neděle	456 km
Neděle	273 km
<b>průměr</b>	<b>471 km</b>

Zdroj: autor



### 3.4 Plnicí stanice

Umístění plnicí stanice autor navrhuje na manipulačních kolejích ŽST Beroun. Některé manipulační koleje jsou v současnosti využívány pro odstavení vozidel. Manipulačních kolejí je v Berouně dostatek. Autor navrhuje vybudovat plnicí stanici v blízkosti kolejí 18; 20 a 22. V okolí těchto kolejí je dostatek místa pro vybudování plnicí stanice. Plnicí stanici by bylo vhodné vybudovat tak, aby byla dostupná ze dvou kolejí a mohla se současně plnit dvě vozidla. Pro detail viz obrázek 32.

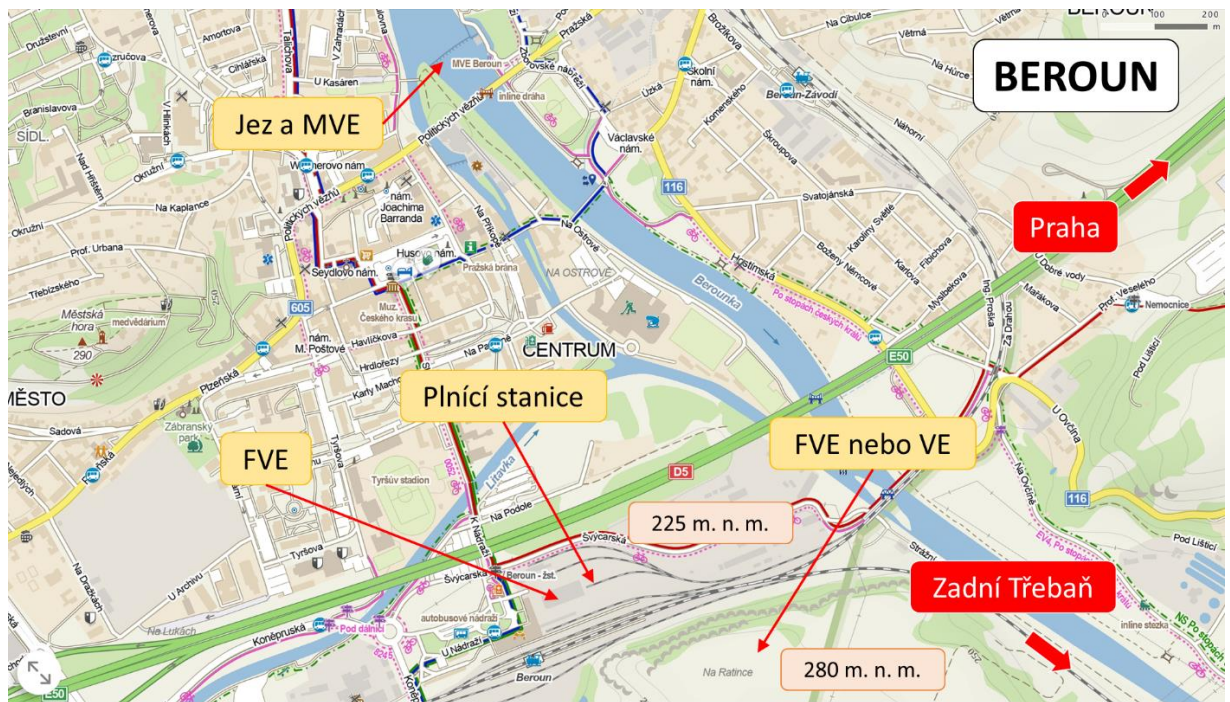


Obrázek 32 Umístění plnicí stanice

Zdroj: autor, (10)

Zásobování plnicí stanice vodíkem by bylo zajištěno elektrolytickým zařízením, které by bylo zásobované vodou z řeky Berounky. Voda by před využitím v elektrolyzáru byla mechanicky filtrována od pevných částic. Plnicí stanice by byla zásobována energií z obnovitelných zdrojů. Nabízí se všechny známé obnovitelné zdroje energie. V blízkosti stanice Beroun je krajina vysoko nad okolním terénem, lze proto do této výšky umístit větrnou elektrárnu. Berounem protéká řeka Berounka a ve městě je vybudovaný jez, u kterého stojí malá vodní elektrárna. Fotovoltaické panely lze vybudovat na střeše výpravní budovy nebo kterékoliv jiné budově v okolí. Nabízí se také možnost umístit panely na kopec, kde by mohla stát i zmíněná větrná elektrárna. Dle autorových úvah by bylo nejvýhodnější vybudovat fotovoltaické panely na kopci u ŽST Beroun. Současně lze ale využívat energii z vodní

elektrárny pro pokrytí období, kdy by nedostačovala výroba z fotovoltaických panelů. Detailní rozmístění součástí plnicí stanice je znázorněno na obrázku 33.



**Obrázek 33** Umístění plnicí stanice

Zdroj: autor, (8)

V současnosti jsou vozidla zbrojena v ŽST Lochovice. Je zde umístěno malé depo kolejových vozidel a středisko vlakových a lokomotivních čt. Středisko a DKV v Lochovicích by zůstalo zachované. Zbrojící stanice v Lochovicích by se zrušila, protože by neměla využití a nevyplatilo by se na jejím místě budovat novou vodíkovou plnicí stanici. Vozidla by v Lochovicích byla pouze deponována. Autor navrhuje, aby se stávající depo zrekonstruovalo, aby se v něm mohla deponovat dvě vozidla. Opravy vozidel by se nadále prováděly v Rakovníku. Pro jednodušší plánování oběhů a širšího využití vozidel by všechny vlaky zajižďující do Berouna byly vedeny vozidly stejné řady.

### 3.5 Ušetřené emise

Vozidla při navrhovaných obězích ujedou v TD1 za týden 2811 vozkm, v TD2 1459 vozkm za týden. Celkem za jeden rok při počtu 52 týdnů za rok vozidla ujedou 222 040 vozkm. Spotřeba vozidla řady 810 závisí na provozních podmínkách. Autor z různých zdrojů, které uvádějí spotřebu tohoto vozidla, vypočítal průměrnou spotřebu na 39,06 l/100 km. Zároveň je v jednom litru nafty akumulováno 9,78 kWh tepelné energie. (39). Výrobce motoru



uvádí, že motor Tedom TD 152 AH TX 01, který je podle výrobce použit v nejnovějších rekonstrukcích vozidel řady 810, vyprodukuje emise podle tabulky 7.

**Tabulka 7** Emise motoru TD 152

Emisní látka	Množství	
NO <sub>x</sub>	8,00 g/kWh	6 785 228,88 g/rok
CO	4,50 g/kWh	3 816 691,24 g/rok
PT	0,36 g/kWh	305 335,30 g/rok
HC	1,10 g/kWh	932 968,97 g/rok

Zdroj: autor, (41)

Při uvedené spotřebě a ročním nájezdu vozidel spotřebují vozidla celkem 86 723,27 litrů nafty za rok. Tolik litrů nafty představuje 848 153,61 kWh tepelné energie spálené v motoru. Při přepočítání spálené energie na uváděné emise zjistíme, že v případě zastavení provozu vozidly řady 810 a nahrazením vozidly s vodíkovým palivovým článkem na vybrané trati by bylo ušetřeno 6,8 tun oxidů dusíku, 3,8 tun oxidu uhelnatého, 305 kg pevných částic a 933 kg uhlovodíků za rok.

Vozidlo Alstom Coradia iLint má nádrže na vodík s kapacitou 188 kg vodíku. Na jedno naplnění vozidlo ujede 1000 km. V jednom kilogramu vodíku je 33 kWh chemické energie (14). Spotřeba takového vozidla je tedy 6,2 kWh/km. Ročně by tedy byla potřeba pro provoz na trati Lochovice – Zadní Třebaň 41,7 tun vodíku. Na výrobu jednoho kilogramu vodíku je při elektrolýze vody potřeba 8,92 litrů vody (14). Ročně by tedy pro navrhovaný provoz bylo potřeba 372 352,20 litrů vody.

### 3.6 Alternativní varianta

Správce infrastruktury plánuje elektrifikovat trať 200 Zdice – Protivín. Byl by využit napájecí systém 25 kV 50 Hz. Stanice Zadní Třebaň je napájena systémem 3 kV ss. V takovém případě se jeví jako výhodnější vozidlo trolej – akumulátor. Bateriová vozidla nemají vysoký dojezd, ale trať Lochovice – Zadní Třebaň je dlouhá jen 26,5 km. Tuto vzdálenost bateriové vozidlo ujede na jedno nabití minimálně třikrát. Při stání v koncové stanici by se vozidlo nabíjelo z trakčního vedení. BEMU vozidlo je schopné se nabíjet na střídavém systému

o polovinu rychleji než na stejnosměrném napětí. Pokud by vozidlo stálo alespoň 10 minut v každé koncové stanici, nabilo by se v Lochovicích až na 80 % kapacity akumulátorů a v Zadní Třebani cca na 40 %. Při dojezdu 120 km by takové časy na nabíjení bez problému stačily.

### **3.7 Shrnutí**

Ve třetí kapitole autor navrhuje provoz vodíkovými vozidly na trati Lochovice – Zadní Třeboň. Nejdříve je popsán návrh samotného jízdního řádu a přepravní chování cestujících. Provoz se neobejde bez oběhů vozidel. Autor navrhuje oběhy s průměrným denním proběhem 402 km pro turnusový den 1 a 292 km pro druhý turnusový den. V obězích je počítáno se zbrojením v ŽST Beroun. Na zbrojení je vyhrazeno minimálně 70 minut včetně jízdy do Berouna a posunu. Výběr vhodného vozidla spočíval v porovnání parametrů nabízených vozidel s parametry provozu stanovenými oběhy. Rozhodujícím parametrem byl dojezd na jedno naplnění nádrží vodíkem. Omezující je vzdálenost mezi doplněním paliva ze čtvrťka na pátek–648 km. Na základě tohoto parametru bylo vybráno vozidlo Alstom Coradia iLint. Umístění plnicí stanice autor navrhl do ŽST Beroun. Plnicí stanice by si sama vyráběla energii z obnovitelných zdrojů a vodu pro elektrolýzu by čerpala z řeky Berounky. Autor v návrhové kapitole vypočítal na základě výrobcem motoru uváděných emisí ušetřené emise škodlivých látek.

## ZÁVĚR

Autorův záměr posoudit provoz osobních vlaků na trati Lochovice – Zadní Třebaň byl naplněn. Autor nejdříve analyzoval současný stav energetické bilance České republiky, na jehož základě je provoz vodíkovými vozidly navrhován. Následně bylo nutné analyzovat možnosti alternativních pohonů železničních vozidel. Protože se návrh vztahuje na konkrétní železniční trať, bylo potřeba provést analýzu stavu infrastruktury na trati Lochovice – Zadní Třebaň. Následovala analýza současného stavu dopravy na lince S76. V této kapitole je také zmíněn současný stav nákladní dopravy na této trati. Autor také popsal přepravní vytížení linky. Kapitola slouží k porovnání potřebných kapacit vozidel, která by mohla linku obsluhovat.

Ve druhé kapitole autor analyzuje alternativní palivo vodík a jeho využití. Zprvu práce popisuje základní vlastnosti a charakteristiky vodíku. Vodík je potřeba vyrobit. Nelze jej jednoduše odebrat např. z atmosféry. Vodík je nutné odloučit ze sloučenin, ve kterých se vyskytuje. Nejčastěji zemní plyn nebo voda. Kapitola o získávání vodíku rozebírá tři způsoby jeho výroby modrý vodík, šedý vodík a zelený vodík. Vodík lze využívat ve dvou podobách pro pohon vozidel ve spalovacím motoru nebo v palivovém článku. Kapitola analyzuje možnosti takových využití. Později se kapitola dostává k využívání vodíku v dopravě. rozebírá počátky využívání palivových článků a dostává se k současnému využití v železniční dopravě nejen v Evropě, ale i v České republice.

V návrhové kapitole autor vytvořil vlastní koncept provozu vodíkovými vozidly na trati Lochovice – Zadní Třebaň. Zmínil důvody takového využití a naznačil širší koncept využití nejen na navrhované trati. Návrh provozu začíná vytvořením jízdního řádu a jeho popsáním. Součástí kapitoly o jízdním řádu je naznačení přepravního chování cestujících na vybrané trati. Z jízdního řádu vycházejí oběhy vozidel. Autor oběhy navrhnul s průměrným denním proběhem 402 km v jedné turnusové skupině a 292 km v druhé skupině. V obězích je zahrnuto zbrojení vodíkem v ŽST Beroun. Pro jedno zbrojení je potřeba minimálně 70 minut včetně jízdy do Berouna a posunu. Po těchto základních parametrech navrhovaného provozu přichází na řadu výběr vhodného vozidla. Autor zhodnotil parametry nabízených vozidel s nutnými parametry vzhledem k navrženému provozu jako je doba plnění nádrží nebo dojezd na jedno naplnění. Rozhodujícím parametrem se stal dojezd. Oběhy byly naplánované se vzdáleností mezi zbrojeními průměrně 471 km, ale mezi jednotlivými turnusovými dny je nejvyšší vzdálenost 648 km. Tato vzdálenost omezuje výběr na jediné z nabízených vozidel – Alstom Coradia iLint. V poslední části kapitoly autor navrhuje umístění plnicí stanice na vodík. Autor

také navrhuje, kde umístit zdroje energie a odkud čerpat energii pro provoz stanice a elektrolyzéry pro samotnou výrobu vodíku. Umístění autor navrhuje v těsné blízkosti ŽST Beroun. K dispozici jsou všechny obnovitelné zdroje energie. Voda v řece Berounce a elektrárna u jezu, vítr na kopci nad ŽST Beroun i všudypřítomné sluneční paprsky. Nahrazení provozu vozidel se spalovacím motorem vozidly s vodíkovým palivovým článkem by ušetřilo 6,7 tun oxidů dusíku a 3,8 tun oxidu uhelnatého. Pro provoz vodíkových vozidel by bylo potřeba 41,7 tun vodíku. Na konci kapitoly je naznačen alternativní návrh provozu. Správa železnic plánuje elektrifikovat trať ze Zdic do Písku. Tímto by stanice Lochovice získala trakční napájení a otevřely by se tím možnosti pro návrh provozu bateriovými vozidly.

## POUŽITÁ LITERATURA

- (1) MINISTERSTVO Ž. P. Čistá mobilita. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2008–2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/cista\\_mobilita\\_seminar](https://www.mzp.cz/cz/cista_mobilita_seminar)
- (2) POHL, Jiří. *Role železnice v bezemisní udržitelné multimodální mobilitě* [online]. 20.5.2022 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/files/loucen22/3\\_1\\_Jiri\\_Pohl\\_Siemens\\_Mobility-20220525.pdf](https://www.mzp.cz/files/loucen22/3_1_Jiri_Pohl_Siemens_Mobility-20220525.pdf)
- (3) SLÁDEK, František. *Posouzení vhodnosti provozu elektrických hybridních vlaků na vybraných linkách v ČR* [online]. Pardubice, 2021 [cit. 2023-04-07]. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- (4) Průmysl a energetika: energetika – metodika B. *Český statistický úřad* [online]. 2023, 20.12.2014 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/10n1-05-\\_2005-energetika\\_\\_metodika\\_b](https://www.czso.cz/csu/czso/10n1-05-_2005-energetika__metodika_b)
- (5) Úspora energie: Jak chce EU snížit energetickou spotřebu? *Zpravodajství: Evropský parlament* [online]. 2023, 12.1.2022 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20221128STO58002/uspora-energie-jak-chce-eu-snizit-energetickou-spotrebu>
- (6) SPRÁVA ŽELEZNIC. *Prováděcí nařízení pro trať řízenou dle předpisu SŽ D3 Liteň – Lochovice*. Praha: Správa Železnic, 2022.
- (7) ŠNÁBL, Radim a Martin ŽABKA. *Místní dráha Zadní Třeboň – Lochovice: Z historie podbrdské železnice a jejího okolí*. 2. Velké Popovice: Nakladatelství Krokodýl, 2021. ISBN 978-80-907744-4-5.
- (8) *Mapy.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, 2023 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.mapy.cz/>
- (9) SPRÁVA ŽELEZNIC. *Knižní jízdní řád k172. Portál provozování dráhy* [online]. Praha, 2023, 11.12.2022 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.provoz.spravazeleznic.cz>

- (10) SPRÁVA ŽELEZNIC. Plánek ŽST Beroun. *Portál provozování dráhy* [online]. 2008–2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.provoz.spravazeleznic.cz>
- (11) *Plán dopravní obslužnosti Středočeského kraje pro období 2021–2025* [online]. Prosinec 2020 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.kr-stredocesky.cz/web/doprava/dopravni-plan>
- (12) ŠARMAN, Martin. 810.570, Skuhrov pod Brdy – Nesvačily. In: *Lokomotivy.net* [online]. 2023, 16. října 2021 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.lokomotivy.net/zobraz2.php?rada=r810&loko=57003>
- (13) Nákrešný jízdní řád L715-4 (00-24). *Portál provozování dráhy* [online]. Praha, 2023, 11.12.2022 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.provoz.spravazeleznic.cz>
- (14) Základní informace o vodíku. *Česká vodíková technologická platforma* [online]. 2023 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/o-vodiku/ve-zkratce>
- (15) PAVELKOVÁ, Jana. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Pardubice, 2013. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Marie Sejkorová.
- (16) Šedý, modrý, zelený aneb není vodík jako vodík. *EnviWeb* [online]. 2023, 30.5.2020 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.enviweb.cz/119182>
- (17) Výroba vodíku. *Devinn* [online]. 2022, 26.1.2023 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/vyroba-vodiku>
- (18) Jak probíhá elektrolýza vody? *FITVODA* [online]. 2021 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://www.fitvoda.cz/jak-probiha-elektrolyzy-vody>
- (19) DROBNÝ, Josef. Výroba vodíku elektrolýzou vody. *HydroRACE4School* [online]. 19.11.2019 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://hydro-race.eu/V%C3%BDroba-vod%C3%ADku-elektrol%C3%BDzou-vody>
- (20) HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory: a alternativní pohony*. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-445-1.
- (21) VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2004. ISBN 80-239-1602-5.

- (22) BĚHAL, Robin. Vodíková vozidla existují víc než 200 let. Přitom je jejich vývoj stále na začátku. *Autosalon.tv* [online]. FTV Prima, 2023, 11.01.2023 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.autosalon.tv/novinky/bonusy-k-tv-poradu/vodikova-auta>
- (23) NOVOTNÝ, Samuel. První vodíkový autobus v ČR? TriHyBus vyjel do ulic před 12 lety. *Elektrickévozy.cz* [online]. 2023, 1.5.2021 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/prvni-vodikovy-autobus-v-cr-trihybus-vyjel-do-ulic-pred-12-lety>
- (24) Alstom Coradia iLint. *Alstom: mobility by nature* [online]. 2023 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/solutions/rolling-stock/alstom-coradia-ilint-worlds-1st-hydrogen-powered-train>
- (25) ČERVÍN, Jiří. Ve Velimi otestovali ekologický vodíkový vlak budoucnosti, jeho jedinými „emisemi“ jsou voda a pára. *Rádio Patriot* [online]. 25.5.2020 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://radiopatriot.cz/ve-velimi-otestovali-ekologicky-vodikovy-vlak-budoucnosti-jeho-jedinymi-emisemi-jsou-voda-a-para/>
- (26) FREI, Martin. Vodíkový vlak ukázal, o kolik je technologie dál než česká infrastruktura. *Aktuálně.cz* [online]. 2023, 31.5.2022 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/komentar-vodikovy-vlak-ukazal-o-kolik-je-technologie-dal-nez/r~8d3711d8dc0411ec8980ac1f6b220ee8/>
- (27) Coradia iLint Regional Train. *Railway technology* [online]. 2023, 24.12.2020 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.railway-technology.com/projects/coradia-ilint-regional-train/>
- (28) FENDER, Keith. Stadler unveils first hydrogen train for U.S., announces order for up to 29 more. *Trains.com* [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.trains.com/trn/news-reviews/news-wire/stadler-unveils-first-hydrogen-train-for-u-s-announces-order-for-up-to-29-more/>
- (29) Flirt H2. *Stadler* [online]. 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.stadlerrail.com/en/flirt-h2/details/>
- (30) Stadler začal testovat svůj první vodíkový vlak, cestující sveze příští rok v USA. *ZDopravy.cz* [online]. 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z:

<https://zdopravy.cz/stadler-zacal-testovat-svuj-prvni-vodikovy-vlak-cestujici-sveze-pristi-rok-v-usa-146992/>

- (31) Flirt H2. *Stadler* [online]. 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.stadlerrail.com/media/pdf/fh2sbcta0922e.pdf>
- (32) Siemens and Deutsche Bahn conduct Mireo Plus H hydrogen train trial. *Railway Technology* [online]. Verdict media limited, 2023, 12.9.2022 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.railway-technology.com/news/siemens-deutsche-bahn-hydrogen-train/>
- (33) Siemens Mireo Plus H Hydrogen-Powered Trains, Germany. *Railway Technology* [online]. 2023, 25.7.2022 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.railway-technology.com/projects/siemens-mireo-plus-h/>
- (34) Mireo Plus H – The next generation of hydrogen trains. *Siemens Mobility* [online]. 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/rolling-stock/commuter-and-regional-trains/mireo/mireo-plus-h.html>
- (35) How a hydrogen drive works – the innovative components of Mireo Plus H. *Siemens Mobility* [online]. 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/stories/hydrogen-drive-how-it-works.html>
- (36) MINISTERSTVO DOPRAVY. Plán dopravní obsluhy území vlaky celostátní dopravy: zásady objednávky dálkové dopravy pro období 2022–2026. *Ministerstvo dopravy* [online]. 2023 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Verejna-doprava/Financni-ucast-statu/Plan-dopravni-obsluhy-uzemi-vlak-y-celostatni-dopra>
- (37) BÁRTOVÁ, Markéta. Odborníci analyzují možnosti využití vodíku pro pohon vlaků v ČR. *EnergoŽrouti.cz* [online]. 2023, 2.2.2022 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://energozrouti.cz/clanek/novy-projekt-analyzuje-moznosti-vyuziti-vodik-u-pro-pohon-vlak-u-v-cr>



- (38) SVATOŠ, Radovan. *Vozítka poháněné vodíkovým palivovým článkem*. Pardubice, 2013. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Ladislav Štěpánek.
- (39) Čas elektromobilů ještě nepřišel. *Autorevue.cz* [online]. 2023, 21.10.2010 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: [https://www.autorevue.cz/cas-elektromobilu-jeste-neprisel\\_1](https://www.autorevue.cz/cas-elektromobilu-jeste-neprisel_1)
- (40) HOFFRICHTER, A., S. HILLMANSEN AND C. ROBERTS, 2016. Conceptual propulsion system design for a hydrogen-powered regional train. *Iet Electrical Systems in Transportation*.
- (41) TEDOM, A.S. Technická specifikace motoru TD 152 AH TX 01. Jablonec nad Nisou.

## SEZNAM TABULEK

<b>Tabulka 1</b>	Konečná spotřeba energie v ČR 2019.....	10
<b>Tabulka 2</b>	Primární spotřeba energie v ČR 2019 .....	11
<b>Tabulka 3</b>	Nástupiště.....	17
<b>Tabulka 4</b>	Omezení provozu osobních vlaků.....	27
<b>Tabulka 5</b>	Autobusové zastávky v okolí trati.....	30
<b>Tabulka 6</b>	Vzdálenost mezi doplňováním paliva .....	46
<b>Tabulka 7</b>	Emise motoru TD 152.....	49

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 1</b>	Podíl energií v dopravě .....	11
<b>Obrázek 2</b>	Energetická bilance dopravy .....	12
<b>Obrázek 3</b>	Vlastnosti hybridních pohonů vozidel .....	14
<b>Obrázek 4</b>	Podélný profil dráhy.....	16
<b>Obrázek 5</b>	Časová dostupnost Zadní Třeboň.....	18
<b>Obrázek 6</b>	Plánek Zadní Třeboň .....	19
<b>Obrázek 7</b>	Časová dostupnost Liteň .....	20
<b>Obrázek 8</b>	Plánek Liteň .....	20
<b>Obrázek 9</b>	Časová dostupnost Všeradice.....	21
<b>Obrázek 10</b>	Plánek Všeradice.....	22
<b>Obrázek 11</b>	Časová dostupnost Hostomice .....	23
<b>Obrázek 12</b>	Plánek Hostomice .....	24
<b>Obrázek 13</b>	Časová dostupnost Lochovice.....	25
<b>Obrázek 14</b>	Plánek Lochovice .....	26
<b>Obrázek 15</b>	Knižní jízdní řád linky S76 sudý směr.....	26
<b>Obrázek 16</b>	Knižní jízdní řád linky S76 lichý směr .....	27
<b>Obrázek 17</b>	Motorové vozy řady 810 a přívěsný vůz 010.....	28
<b>Obrázek 18</b>	Výstřižek z NJŘ .....	29
<b>Obrázek 19</b>	Průměrné denní vytížení linky S76.....	31
<b>Obrázek 20</b>	Molekula vody .....	34
<b>Obrázek 21</b>	Alstom Coradia iLint .....	37
<b>Obrázek 22</b>	Coradia iLint schéma trakční výzbroje .....	38
<b>Obrázek 23</b>	Stadler Flirt H <sub>2</sub> .....	39
<b>Obrázek 24</b>	Stadler Flirt H <sub>2</sub> – rozložení interiéru.....	40
<b>Obrázek 25</b>	Siemens Mireo plus H.....	40
<b>Obrázek 26</b>	Siemens Mireo Plus H - schéma .....	41
<b>Obrázek 27</b>	Schéma linek S v Berouně .....	42
<b>Obrázek 28</b>	Oběh TD1.....	44
<b>Obrázek 29</b>	Oběh TD2 1-5 .....	44
<b>Obrázek 30</b>	Oběh TD2 6+7 .....	45

<b>Obrázek 31</b> Ganttův diagram zbrojení vodíkem.....	45
<b>Obrázek 32</b> Umístění plnicí stanice.....	47
<b>Obrázek 33</b> Umístění plnicí stanice.....	48

## SEZNAM ROVNIC

<b>Rovnice 1</b>	Elektrolytická reakce vody.....	34
<b>Rovnice 2</b>	Reakce probíhající v palivovém článku.....	36