

Vysoká škola logistiky o.p.s.

**Alternativní zdroje pohonu u hnacích
kolejových vozidel**

(Diplomová práce)

Přerov 2022

Bc. Jolana Klevetová



**Vysoká škola
logistiky**
o.p.s.

Zadání diplomové práce

studentka

Bc. Jolana Klevetová

studijní program

Logistika

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

Název tématu: **Alternativní zdroje pohonu u hnacích kolejových vozidel**

Cíl práce:

Na základě provedení a zhodnocení analýzy využití alternativních pohonů hnacích kolejových vozidel v jednotlivých zemích EU poukázat na výhody a nevýhody. Získané poznatky vyhodnotit.

Zásady pro vypracování:

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

Diplomovou práci zpracujte v těchto bodech:

Úvod

1. Teoretická východiska alternativních pohonů
2. Analýza využití alternativních pohonů v provozu
3. Výhody a nevýhody těchto pohonů
4. Zhodnocení získaných poznatků

Závěr

Rozsah práce: 55 – 70 normostran textu

Seznam odborné literatury:

DRDLA, Pavel. Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu. Vydání: 2. upravené. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2018. ISBN 978-80-7560-189-6.

ZELENÝ, Lubomír. Osobní přeprava. Praha: ASPI, 2007. ISBN 978-80-7357-266-2.

ZELENÝ, Lubomír. Osobní doprava. Praha: C.H. Beck, 2017. ISBN 978-80-7400-681-4.

Vedoucí diplomové práce:

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

Datum zadání diplomové práce:

31. 10. 2021

Datum odevzdání diplomové práce:

12. 5. 2022

Přerov 31. 10. 2021



Ing. Blanka Kalupová, Ph.D.
vedoucí katedry



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

Čestné prohlášení

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

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

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

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

V Přerově, dne 12. 05. 2022

.....

podpis

Poděkování

Upřímné poděkování patří vedoucímu práce, p. prof. Ing. Václavovi Cempírkovi Ph.D., DBA za trpělivé vedení práce, p. doc. Dr. Ing. Romanovi Štěrbovi MBA, za poskytnutí podkladů a konzultace, drážním kolegům a nejbližší rodině za pevné nervy.

Anotace

V rámci naplňování cílů evropské úmluvy Green Deal budou řešeny alternativní pohony hnacích vozidel. Budou posouzeny přístupy jednotlivých zemí v jejich zavádění v EU. Důraz bude kladen na zavádění vodíkových systémů pohonu. Na základě zhodnocení jednotlivých přístupů k alternativním pohonům budou vyhodnoceny jejich pozitiva a negativa.

Klíčová slova

Green Deal, alternativní pohony, kolejová vozidla, vodíkové pohony

Annotation

As part of the fulfillment of the objectives of the European Green Deal, alternative propulsion systems of vehicles will be addressed. The approaches of individual countries in their implementation within the EU will be assessed. Emphasis will be placed on the implementation of hydrogen propulsion systems. Based on the evaluation of individual approaches to alternative propulsion systems, their positives and negatives will be evaluated.

Keywords

Green Deal, alternative propulsion, rail vehicles, hydrogen propulsion

Obsah

Úvod.....	9
1 Teoretická východiska alternativních pohonů.....	10
1.1 Fosilní paliva.....	12
1.1.1 Benzín.....	13
1.1.2 Motorová nafta.....	13
1.2 Emisní normy.....	14
2 Analýza využití alternativních pohonů v provozu.....	17
2.1 Elektrická energie.....	17
2.1.1 Akumulátory.....	17
2.1.2 Elektrická trakce.....	19
2.2 Propan Butan (LPG).....	20
2.3 Metan (CNG).....	21
2.4 Biopaliva.....	21
3 Výhody a nevýhody těchto pohonů.....	23
3.1 Hybridní lokomotivy.....	25
3.2 Vodík jako zdroj pohonu.....	27
3.2.1 Fyzikální a chemické vlastnosti vodíku.....	28
3.2.2 Výhody a nevýhody.....	28
3.3 Výroba vodíku.....	29
3.4 Proces výroby vodíku z obnovitelných zdrojů.....	30
3.4.1 Obnovitelné zdroje.....	31
3.4.2 Elektrolýza.....	31
3.4.3 Jaderná elektrárna.....	32
3.4.4 Pyrolýza odpadu.....	34
3.5 Palivový článek.....	34
3.6 Doprava a skladování vodíku.....	35

3.7	Srovnání jednotlivých druhů pohonů	37
4	Zhodnocení získaných poznatků	43
4.1	EMU, BEMU, HMU	48
4.2	Výrobci kolejových vozidel	49
4.3	Hnací motorové jednotky a jejich parametry	55
4.4	Pokrytí státní železniční sítě.....	59
4.5	Analýza možností zavádění alternativních pohonů na území ČR.....	60
4.5.1	Analýza elektrifikovaných tratí	62
4.5.2	Analýza tratí s realizací elektrifikace (plánovaná elektrifikace)	67
4.5.3	Analýza tratí vhodných pro zavedení vodíku	73
4.6	Zhodnocení jednotlivých přístupů k alternativním pohonům	76
	Závěr	78
	Seznam zdrojů.....	79
	Seznam grafických objektů.....	93
	Seznam zkratk	96
	Seznam příloh	98

Úvod

V současnosti dochází čím dál více k dezinformaci obyvatelstva ať už z klimatického hlediska, inovativního hlediska či finančního. Negativní dopady životních cyklů mají vzestupnou tendenci, a proto je zapotřebí ji zavčas eliminovat. Možným řešením by bylo uvědomění a rapidní zásah do smýšlení populace ve vztahu k životnímu prostředí, avšak pokud tento zásah nebude globálního charakteru, je naprosto zbytečný.

Jedině inovace, které mají tu schopnost zajistit svojí lukrativností a rentabilitou spokojenost, požadovanou životní úroveň populace a mají udržitelnou budoucnost, představují alternativní zdroje paliva. Alternativních pohonů či procesů, jak je vyrobit je spousta, jen je potřeba zvážit jejich efektivitu a oblast využití.

Do popředí zájmu se stále více dostává vodík, jakožto ekologický zdroj energie. Byť nejen z počátečních investičních ale i výrobních nákladů velice nákladný, ale z dlouhodobého hlediska udržitelný a rentabilní.

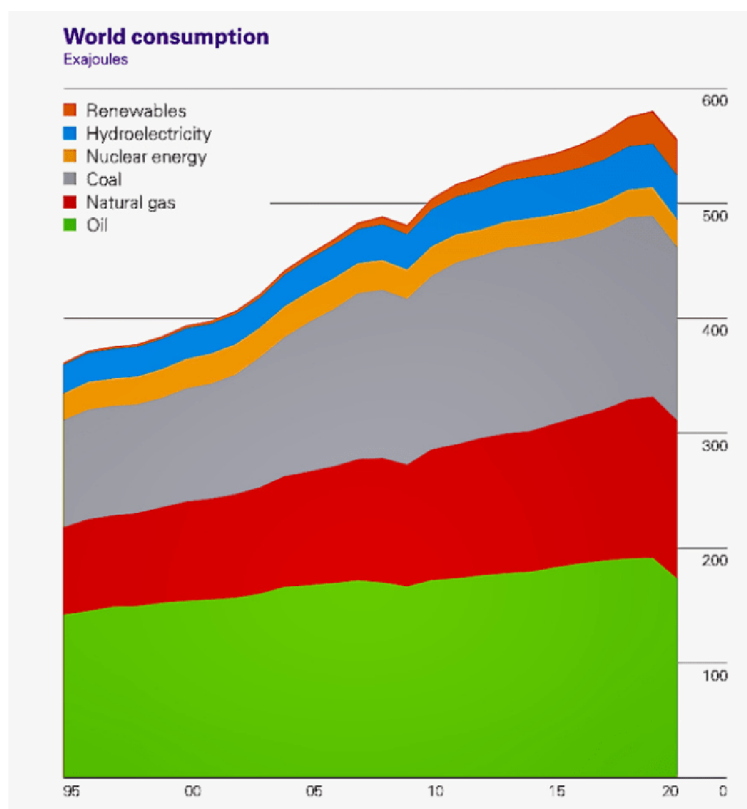
Tato práce se proto bude zabývat nejenom dosavadními pohony a jejich cenovým portfoliem, ale i kalkulací alternativních pohonů které dokazují, že právě přechod na tento druh energie je ten správný, ačkoliv v současnosti velmi nákladný.

1 Teoretická východiska alternativních pohonů

Na pojem konvenční zdroje pohonu je nutno nahlížet jako na komoditu, od které je potřeba se kvůli rostoucím hodnotám skleníkových plynů a emisím oprostít a přecházet k obnovitelným zdrojům energie, které tak nezatěžují Naši planetu. Faktem i přesto zůstává skutečnost, že se s aktuální světovou spotřebou přibližuje okamžik vyčerpání fosilních paliv, což je jedním z dalších důvodů, proč je nutné přecházet k obnovitelným zdrojům energie.

Jedná se tedy o využívání fosilních paliv jakožto zdroje pohonu a energie, mezi které v pevném skupenství spadá uhlí, v kapalném ropa a v plynném zemní plyn. Převážná část celosvětově vytvořené energie pochází právě z neobnovitelných zdrojů.

Graf 1.1 Světová produkce energie



Zdroj: [1].

Jak je zřejmé z Grafu 1.1, využívání fosilních paliv jako zdroje energie má po desetiletí rostoucí tendenci až do r. 2019, kdy u všech zdrojů dochází k poklesu, což u primárního zdroje představuje celých 4,5 %. Pozitivním faktem však zůstává viditelná změna od r. 2009, kdy se pomalu zvětšuje zastoupení obnovitelných zdrojů na celkové produkci

energie, tedy na celých 9,7 %. Největšími spotřebiteli energií však i nadále zůstávají Čína a Indie s 61% podílem, přičemž tato hodnota každoročně stoupá. [2]

Dle Drdly (2014) je každý dopravní prostředek specifický svými parametry, a proto je ohraničen omezujícími podmínkami, a to kapacitou vozidel, rychlostí apod. Vybrané parametry orientačních hodnot jsou pro lepší přehlednost uvedeny v tabulce níže. Zvýrazněná část vztahující se k železnici dokládá nepřekonatelnou kapacitní výhodu oproti jiným dopravním prostředkům. [3]

Tabulka 1.1 Orientační hodnoty vybraných parametrů

Druh dopravního prostředku	Kapacita vozidla (os.)	Měrný výkon (kW. t ⁻¹)	Ø hmotnost na cestujícího (kg. osoba ⁻¹)	Rychlost (km. h ⁻¹)
Motocykl	1 - 2	30 - 70	~100	~100
Osobní automobil	4	30 - 50	~250	~100
Autobus	40 - 60	10 - 30	60 - 110	~90
Tramvaj	80 - 120	5 - 12	90 - 130	60
Rychlodráha	400 - 1 000	10 - 15	100 - 150	80
Železnice příměstská	600 - 1 000	5 - 15	200 - 300	100
Železnice dálková	600 - 1 200	5 - 15	500 - 1 000	150
Železnice VR	250 - 800	15 - 25	800 - 1 000	~270
Vznášedlo	20 - 400	100 - 10 tis.	150 - 750	120
Transoceánská loď	~1 000	~1	~20 000	~30
Helikoptéra	~15	~350	200 - 300	~200
Letadlo malé/střední/velké	5/30/200	~200/400/500	~250/400/300	~300/600/900
Magnetická dráha - město/ dálková	4 - 20/50- 200	~40/80	~200/300	~100/500

Zdroj: vlastní zpracování dle [3].

I přes to, že je železniční doprava zařazena mezi tzv. staré dopravní obory, v současnosti spadá mezi nejvýznamnější dopravní obory. Je neodmyslitelná v populačně hustých regionech a těží především z toho, že místně provozované dopravní prostředky balancují na kapacitní hranici, za kterou dopravní náklady rostou, rychlost a bezpečnost se snižuje a negativní dopad na ŽP zvyšuje. [4]

1.1 Fosilní paliva

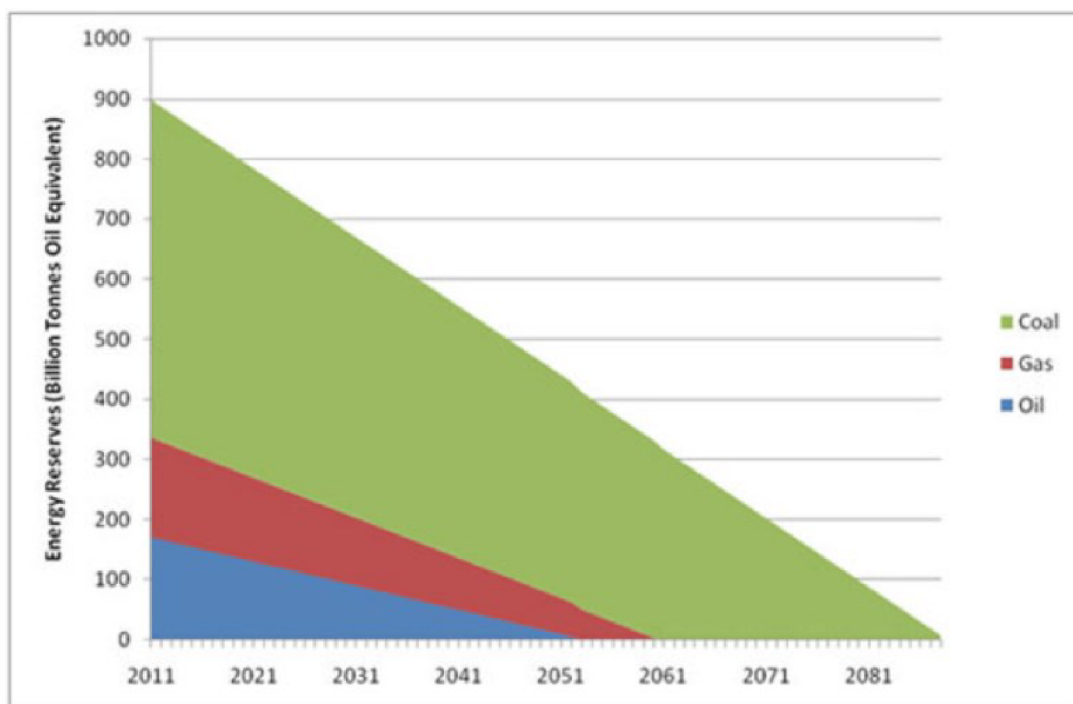
Fosilní palivo nebo také kaustobiolit [5] je nerostnou surovinou, která uvolňuje energii jejím spalováním. Vznikla před miliony let anaerobním rozkladem organických látek v zemské kůře. Rozhodující zde byly klimatické a tlakové podmínky, světlo aj., které měly přímý vliv na přetvoření skupenství neobnovitelných zdrojů.

Proces tvorby fosilních paliv i když spadá mezi neobnovitelné zdroje se v současnosti stále uskutečňuje, ovšem tato tvorba bude trvat další miliony let ku spotřebě, která je oproti tomuto procesu v současnosti nadproporciální.[6].

Limit fosilních paliv

Celosvětově se poptávka po energii rok od roku zvyšuje. V roce 2017 došlo ke zvýšení o 2,1 % na 72 % jen u fosilních paliv, 25 % u obnovitelných zdrojů a zbytek v jaderné energii, což představuje historické maximum produkce 33,1 giga tuny CO₂. S rostoucí poptávkou samozřejmě vznikají i propočty dat vyčerpatelnosti, které udávají následující: ropa bude vyčerpána v roce 2052, plyn v roce 2060 a uhlí až v roce 2090, viz Energetické rezervy v grafu níže. [7]

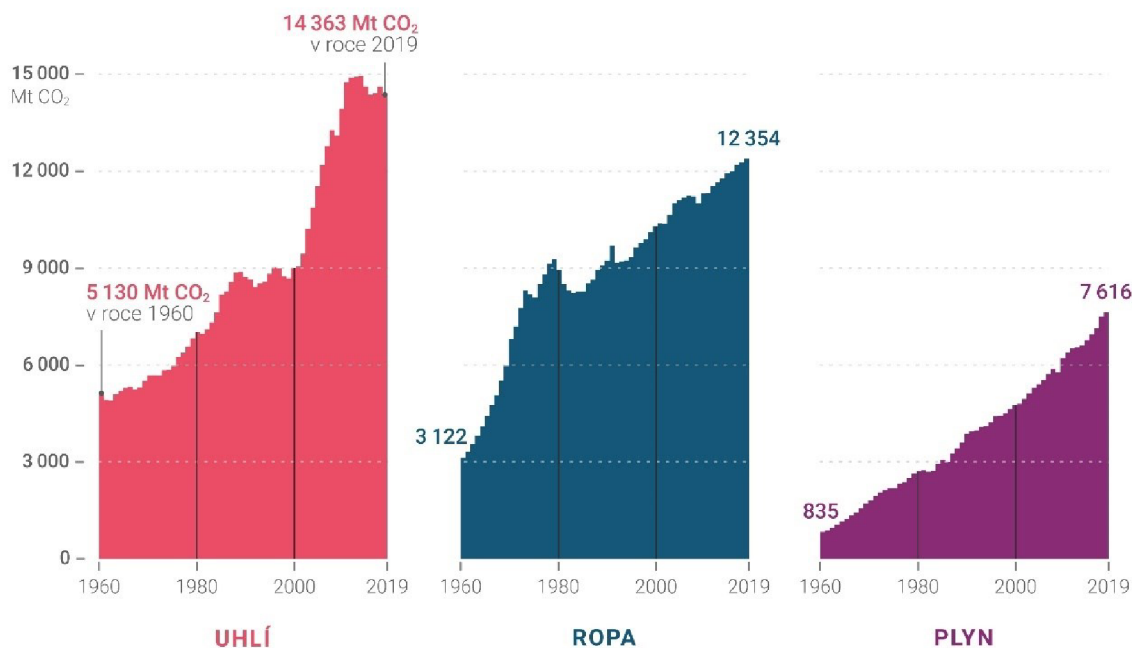
Graf 1.2 Energetické rezervy fosilních paliv



Zdroj: [7].

Spotřebu fosilních paliv je třeba omezit především kvůli alarmujícím hodnotám oxidu uhličitého (CO₂), kterého se v r. 2019 vyprodukovalo 4x více než v r. 1960, viz grafické znázornění níže. [8]

Graf 1.3 Světové emise CO₂ z fosilních paliv



Zdroj: [8].

1.1.1 Benzín

Benzín se získává frakční destilací neboli atmosférickou rektifikací [9] z ropy v ropných rafinériích a využívá se jako palivo především pro zážehové spalovací motory. Výsledná kapalina však nesplňuje požadavky moderních motorů kvůli obsahu směsí parafinů, naftenů, olefinů a mnoha jiných. Kontaminanty, především disulfidy a thiofeny musí být odstraňovány, protože způsobují korozi motorů. Kvůli existenci těchto složek se kapalina používá jen jako součást výsledného benzínu, který nabízejí benzínové pumpy. Poměr obsažených směsí a nároky na oktanové číslo jsou pro jednotlivé země ošetřeny předpisy. Oktanové číslo vyjadřuje odolnost paliva před samovznícením či předčasnou detonací.

1.1.2 Motorová nafta

Nafta se získává obdobně jako benzín destilací a rafinací z ropy. Využití nalezne především jako palivo vznětových motorů. Motorová nafta má větší hustotu než benzín, a i více energie v přepočtu na jednotku objemu. Zvláštností nafty oproti benzínu je její

schopnost krystalizace. Z toho důvodu existuje více druhů nafty pro zvýšení její odolnosti vůči nižším teplotám. Letní nafta je použitelná do 0 °C, přechodová do -10 °C, zimní do -20 °C a arktická od -20 °C do -44 °C.

Kvalita nafty je vyjadřována cetanovým číslem, které určuje státní norma. [10] Cetanové číslo vyjadřuje kvalitativní prohoření paliva a označuje, jak rychle dojde u vznětového motoru ke samovznícení. Čím nižší cetanové číslo, tím větší odolností proti samovznícení palivo disponuje.

1.2 Emisní normy

Normy jsou stanovené Evropskou unií a představují hodnoty škodlivin exhalovaných plynů zvláště pro zážehové a vznětové motory. První zmínky o emisních normách sahají až do r. 1968, kde byly poprvé platné v americké Kalifornii, avšak evropské normy počínaje Euro 0 vešly v platnost až v r. 1990.

Jedná se o poměr hmotnosti škodlivin ku ujeté vzdálenosti v přepočtu na jeden kilometr. Jak je zřejmé z tabulky níže, emisní normy jsou postupně zpřísněny, což má mimo jiné zamezit řidičům používání starých, neekologických vozidel. Ovšem primárně se tyto limity vztahují na vozidla nově uváděná na trh. Normy pro osobní a lehká užitková vozidla jsou číslovány arabskými číslicemi, oproti tomu nákladní automobily a autobusy římskými číslicemi. [11]

Tab. 1.1 Tabulka emisních tříd

Tabulka emisních tříd benzínových motorů					Tabulka emisních tříd naftových motorů				
Rok	Norma	CO g. km ⁻¹	NO _x g. km ⁻¹	PM g. km ⁻¹	Rok	Norma	CO g. km ⁻¹	NO _x g. km ⁻¹	PM g. km ⁻¹
1993	Euro 1	2,72			1993	Euro 1	2,72		0,14
1997	Euro 2	2,2			1997	Euro 2	1		0,08
2001	Euro 3	2,3	0,15		2001	Euro 3	0,66	0,5	0,05
2006	Euro 4	1	0,08		2006	Euro 4	0,5	0,25	0,025
2011	Euro 5a	1	0,06	0,005	2011	Euro 5a	0,5	0,18	0,005
2013	Euro 5b	1	0,06	0,0045	2013	Euro 5b	0,5	0,18	0,0045
2015	Euro 6b	1	0,06	0,0045	2015	Euro 6b	0,5	0,08	0,0045
2018	Euro 6c	1	0,06	0,0045	2018	Euro 6c	0,5	0,08	0,0045
2019	Euro 6d TEMP	1	0,06	0,0045	2019	Euro 6d TEMP	0,5	0,08	0,0045
2021	Euro 6d	1	0,06	0,0045	2021	Euro 6d	0,5	0,08	0,0045

Zdroj: vlastní zpracování dle [11].

Emisní normy stanovují limity pro produkovaný oxid uhelnatý (CO), oxid dusíku (NO_x), uhlovodík (HC) a pevné částice (PM) v přepočtu na g. km⁻¹. Rozdíly mezi zážehovými a vznětovými motory nejsou nijak markantní. Striktněji přistupuje norma k naftovým motorům, co se týká produkce oxidu uhelnatého, ale je naopak nepatrně benevolentnější k produkci oxidu dusíku.

Normy Euro 6b, Euro 6d - TEMP a Euro 6d jsou naprosto srovnatelné a i přesto se v tabulce opakují. Důvodem je změna testovací metodiky, do které se začaly zahrnovat i testy z reálného provozu. Nově byla povolena i určitá tolerance ve velikosti rozdílu mezi laboratorními testy a zkouškou z reálného provozu. Ku příkladu u Euro 6d - TEMP byla tolerance 110 % oproti Euro 6d, která povoluje jen 43% odchylku. [11]

Ovšem jak zdůraznil Trnka (2021), na planetě je daleko více škodlivých plynů než jen oxid uhličitý, na jehož snižování se zakládají normy, ale jedná se např. o oxid dusný či metan. Právě metan má dle GWP (Global Warming Potential) potenciál k podpoře globálního oteplování celých 28 - 36 kg CO₂.

Je důležité směřovat pozornost především na emise vytvořené dopravou, protože se podílí na 2/3 produkce emisí v EU v následující bilanci:

- silniční doprava (73,2 %)
- letecká doprava (13,4 %)
- vodní doprava (12,9 %)
- železniční doprava (0,5 %).

Nejvyšší hodnoty dle očekávání má silniční doprava, ovšem dle Evropské agentury pro životní prostředí, které uvádí majoritní 73% zastoupení v produkci skleníkových plynů pouze osobními automobily vyplývá, že nákladní doprava se svými zbylými 27 % není až takovým problémem jako osobní automobily. [12]

V současnosti se často diskutuje o normě Euro 7, která by po schválení měla být platná od r. 2025. Doposud se neví, jaké normy stanoví limitní hodnoty pro emise, ale očekává se, že budou pro spalovací motory až likvidační. „V Bruselu totiž bohužel nesedí technici, ale úředníci, na které má obří vliv zelená lobby. Mluví se dokonce o tom, že úroveň vypouštěných pevných částic bude tak přísná, že bude pod úrovní, kterou současné přístroje dokáží naměřit“. [11]

Snižování emisí u konvenčních zdrojů pohonnů

Jedná se o zařízení, která mají za cíl snižovat emise exhalovaných plynů přímo ve vozidlech. K tomu je, počínaje normou Euro 4 využíváno tzv. aftertreatmentu, čili dodatečná úprava výfukových plynů. K tomu jsou využívány technologie SCR a EGR. Vozidla Euro 4 jsou zpravidla vybavena oběma technologiemi k dosažení předepsaných limitů. Jen vozidla Scania a Iveco tyto normy splňují i jen s SCR technologií.

SCR (Selective Catalytic Reduction) je selektivní katalytická redukce. Zjednodušeně řečeno se jedná o vstřikování AdBlue (syntetická močovina) do výfuku, což vede ke snížení spalovaných nebezpečných plynů. Vozidlo s touto technologií může být v nouzi provozováno i bez AdBlue, ovšem zařadí jej to o min. jednu emisní třídu níže společně se snížením výkonu motoru.

EGR (Exhaust Gas Recirculation) je recirkulace výfukových plynů, kdy je část výfukových plynů nasávána zpět do motoru a tam se podílí na dalším spalování.

Mezi další faktory s cílem snížení emisí spadá např. eco - driving, tedy správný servis a údržba, či řešení problematiky valivých a vzdušných odporů za pomoci pneumatik s nižším valivým odporem nebo deflektory a spojlerý. [12]

2 Analýza využití alternativních pohonů v provozu

Alternativní zdroje pohonu se vyznačují svojí obnovitelností oproti fosilním palivům. V alternativních palivech je budoucnost energetických pohonů nejenom z pohledu enviromentální šetrnosti, ale jsou i známkou toho, že jdou vývojové technologie kupředu. Zásoby neobnovitelných zdrojů budou jednoho dne vyčerpány, proto jestli má být doprava, životní standardy a úrovně lidí zachovány i pro budoucí generace, je nutností přejít na obnovitelné zdroje. Mezi nejdůležitější alternativní zdroje energie spadají plyny, elektrická energie, vodík a hybrid, coby kombinace více druhů pohonů. Mezi uvažované alternativy spadají i pohony sluneční a větrné energie, ovšem zde bude ještě třeba vyřešit otázky výkonu, dojezdů, nákladů apod.

Ku příkladu nákladní vozidla o dvou a třech nápravách dokonce ani nemusí splňovat maximální hmotnostní limit, nýbrž tento je navýšen o jednu tunu kvůli potřebě zástavby alternativního pohonu. Navýšená tuna je přepočet bateriového zdroje nákladního vozidla oproti dieslovému. Díky této skutečnosti se nemusí ekologičtí dopravci obávat toho, že by přechodem na alternativní pohon ztratili jednu tunu z kapacity ložného prostoru. [12]

Obnovitelné zdroje v současnosti pokrývají $\frac{1}{4}$ světové poptávky po energiích a v roce 2017 se zvýšila o 6,3 %. EU a Čína přispívají k 50% nárůstu v závěsu s USA, Indií a Japonskem. Pro rok 2017 se jedná o ropný ekvivalent za cca 75 mil. tun (Mtoe). [13]

2.1 Elektrická energie

Elektrická energie se získává přeměnou jiného druhu energie. V elektrárnách se k výrobě elektřiny využívá energie získávaná z generátoru, který může být poháněn párou vzniklou ohřevem vody spalováním uhlí či štěpnou reakcí uranu nebo energií větru či vody. Světelná energie je transformována fotovoltaickou cestou skrze solární panely. [14]

2.1.1 Akumulátory

Akumulátor je baterie, která za pomoci soustavy nabíjecích článků akumuluje přiváděnou elektrickou energii, čímž se spustí chemický proces. Akumulátory se

vyznačují svým opětovným použitím, kdy jej po nabití lze využívat jako zdroj energie. Akumulátorové články mohou být různé konstrukce.

Typy akumulátorů:

- olověné,
- niklové (metalhydridové, niklkadmiové),
- lithiové (iontové, polymerové, manganové). [15]

Dosavadním zásadním problémem akumulátoru je jeho poměrně krátká životnost, která má negativní dopad na životní prostředí z pohledu velké produkce nebezpečného odpadu. Toto tvrzení však začíná vyvracet výrobce Tesla, který garantuje degradaci baterie pouhých 10 % po více než 320 000 ujetých km. [16]. Dalším problémem je velká hmotnost a dlouhá dobíjecí doba, ovšem i tato problematika je stále řešena a zdokonalována.

Faktor, který přímo ovlivňuje efektivitu elektromobility je samotný původ elektrické energie. Ačkoliv jsou vozidla poháněná elektromotorem v podstatě bezemisní, nelze o ekologičnosti uvažovat, pokud je elektrická energie odebírána díky spalování fosilních paliv z elektráren. Některé technologie však už nabízí možnost dobíjení akumulátoru během jízdy. Další pozitivní vlastností je tzv. regenerativní brzdění, tedy rekuperace, což znamená zpětné využití energie vzniklé brzděním.

Elektromobily BEV a FCEV

Elektromobil BEV (Battery Electric Vehicle) je čistě elektrické vozidlo, které se vyznačuje minimální hlučností a dojezdem mezi 100 - 300 km. Uváděná účinnost motoru je přes 90 %. Oproti začátkům se výrazně zlepšila životnost baterie z pohledu dobíjecích cyklů, ovšem právě akumulátor je ta položka, která zvyšuje pořizovací cenu nového vozidla a problémem také zůstává samotná koupě akumulátoru do ojetého vozidla, u kterého se může částka vyšplhat na 900 000Kč i více. S potřebou větších dojezdů je i u osobních vozidel legislativně ošetřeno navýšení povolené hmotnosti vozidla o jednu tunu.

Elektromobil FCEV (Fuel - cell Electric Vehicle) využívá k výrobě elektrické energie vodík v palivových článcích. Ten je skladovaný ve stlačené či kapalně podobě ve

speciální nádrži ve vozidle a tankuje se obdobně jako jiné pohonné hmoty. Oproti BEV je tedy zásadní rozdíl v dobíjení, kdy není potřeba externího zdroje.

Zásadním rozdílem oproti elektromobilu BEV je neomezenost v kapacitě akumulátoru ale ve velikosti nádrže vodíku. Výrobci např. Hyundai či Mercedes - Benz vychází z předpokladu, že vozidla typu FCEV budou mít dojezd až 1 000 km. Toho chtějí dosáhnout kapalným skupenstvím vodíku, který má vyšší energetickou hustotu, tudíž dojezd bude větší při stejné velikosti nádrže. [12]

2.1.2 Elektrická trakce

Patří mezi historicky nejstarší druh pohonu. První elektrický provoz se datuje již v 19. století. Elektrická trakce je definována jako pohon hnacího kolejového vozidla za pomoci trakčního motoru. Specifická je zde přeměna elektrické energie na kinetickou a naopak. Trakční napájecí soustavy se dělí na stejnosměrné a střídavé.

Dělení hnacích kolejových vozidel dle přívádění energie do vozidla:

Nezávislá a polo - závislá trakce-nezávislost kolejového vozidla na elektrické trakci z důvodu existence zdroje energie přímo ve vozidle. Jako zdroj energie může být využit vznětový motor, turbína, setrvačnický či akumulátor. Tyto zásobníky jsou ovšem značně omezeny svojí zásobou energie.

Závislá trakce - kolejové vozidlo je přímo závislé na odběru z elektrické trakce za pomoci sběračů umístěných na střeše vozidel.

Dělení trakce hnacích kolejových vozidel dle jízdní dráhy:

Konvenční dráha - kolejová dráha.

Nekonvenční dráha - lanové, sedlové, visuté kolejové, na magnetickém či vzdušném polštáři.

Z historického hlediska se trakční motory vyvíjely následovně:

1. Stejnosměrný sériový trakční motor

Proud motoru byl regulován za pomoci postupného vyřazování odporů s trakčními motory zapojenými v sérii. Vyřazením odporů přešlo vozidlo do hospodárného stupně regulace, ve kterém tzv. šentování (odbuzování budícího vinutí odporem připojeným paralelně) docházelo ke zvýšení rychlosti.

2. Stejnoseměrný cize buzený trakční motor

Ideální zdroj regulace točivého momentu. Motor tohoto typu má tzv. tvrdou otáčkovou charakteristiku, což znamená, že i malé změny v napětí motoru způsobí velké změny procházejícího proudu.

3. Asynchronní trakční motor

„Asynchronní motor se stal nejrozšířenějším druhem pohonu u nově konstruovaných i rekonstruovaných vozidel. U moderních vozidel jsou trakční motory napájeny z čtyř kvadrantových napěťových měničů, umožňujících plné řízení trakčního motoru v motorickém i generátorickém režimu“. [17]

4. Synchronní trakční motor

Obdoba asynchronního trakčního motoru. Disponuje velmi dobrou točivým momentem. Tento způsob pohonu je využíván především u lehké kolejové dopravy, např. u tramvají typu 15T. V železniční dopravě se tento typ motorů využívá spíše v zahraničí, např. TGV Atlantique. V České republice tyto typy motoru nejsou aplikovány. [17]

2.2 Propan Butan (LPG)

Název pochází z anglického Liquefied Petroleum Gas. Jedná se o bezbarvý, zkapalněný, ropný plyn, jehož zvláštností je schopnost rychlé změny skupenství. Při teplotě 0 °C a atmosférickém tlaku 101,3 kPa je v plynném skupenství, ale již při malém zvýšení tlaku bez změny teploty zkapalní. Výhřevnost má odhadem 3x větší než zemní plyn. Nejedná se o jedovatý plyn, ovšem při smísení se vzduchem je vysoce výbušný. [18] Propan Butan nalezne využití nejenom jako palivo pro zážehové motory ale také v domácnostech na vaření, svícení a vytápění. Agresivně reaguje při kontaktu s přírodní pryží, proto musí být součástí tlakových lahví které se jím plní utěsněna syntetickými látkami. [19]

LPG získalo přívlastek „*ekologicky čisté palivo*“ [20] díky nízkým emisím, které vznikají při spalování. Z tohoto důvodu, ale i z důvodu jeho nízké ceny a nezcizitelnosti se těší čím dál větší oblibě a v reálu je provozováno mnoho plynových vozidel přímo od výrobce, ale i benzínových aut s přestavěnými motory na LPG či kombinaci benzínu a LPG.

2.3 Metan (CNG)

Z anglického Compressed Natural Gas, dříve nazýván jen jako Metan díky 90% obsahu v zemním plynu. Jedná se o stlačený zemní plyn o tlaku 200 barů. Oproti LPG je čistší a tím pádem i ekologičtější a spadá do koncepce ministerstva dopravy ČR na podporu ekologických paliv. Jeho výroba není závislá na ropě, a proto je tato forma plynu upřednostňovanější. Oproti LPG se motory na CNG představují z diesellových motorů. V České republice je vozový park autobusů MHD zpravidla uzpůsoben pro tento pohon, ovšem i produkce osobních vozidel každoročně stoupá. CNG má měrnou jednotku 1 kg, což odpovídá cca 1,4 l benzínu a cca 1,3 l motorové nafty. [21] Nejenom že CNG patří mezi nejlevnější paliva díky nižší spotřební dani, ale také jsou vozidla s tímto druhem pohonu osvobozeny od silniční daně. [22]

2.4 Biopaliva

Jedná se o palivo, které se vyrábí z biomasy. Biomasa je kombinace složek organického původu. [23] Mezi nejběžnější typy biopaliv patří bionafta a bioethanol.

Bionafta - vyrábí se z olejů či tuků tzv. transesterifikací a je zařazena mezi nejrozšířenější paliva v Evropě. [24] Transesterifikace je reakce tuků a olejů s alkoholem, ze které vznikají estery vyšších mastných kyselin (bionafta) a glycerol. [25] Do vozidel může být tankována v čisté formě pod zkratkou B100, ale standardně se mísí s naftou pro snížení PM a CO.

Bioethanol - koncový produkt z kvašení škrobnatých nebo cukrových plodin v podobě alkoholu. Ethanol může být vyroben také z celulóзовé biomasy např. z trávy a stromů. Bioethanol může být tankován v čisté podobě pod zkratkou E100, ale obvykle se mísí s benzínem pro zvýšení oktanového čísla a snížení emisí. Popularitě se těší především v USA a v Brazílii. [24] Mezinárodní energetická agentura (IEA) by do roku 2050 ráda biopalivy pokryla více jak čtvrtinu světové poptávky po PHM v dopravě. Tento cíl je však stále vzdálený za předpokladu, že pro jeho naplnění by musela celosvětová produkce každoročně vzrůst o 10 %, což je s dosavadními 3 % za posledních 5 let skutečně nereálné. [26]

Vývoj biopaliv

Myšlenka biopaliv jakožto substitutu fosilních paliv má počátky již v roce 1989, kdy se 22 zemědělských společností rozhodlo spolupracovat s nově založeným Sdružením pro bionaftu. Ovšem až v roce 2007 se norma na snižování spotřeby ropy stala v České republice závaznou.

Postupné návrhy na substituty fosilních paliv jsou rozděleny na následující generace:

První generace

Do této generace spadají biopaliva vyráběné z obilí, řepky, kukuřice a cukrové třtiny. Velké úskalí se naskytá nejenom s nárůstem populace, ku které není možná udržitelnost v těchto plodinách, ale i velký zábor půdy, který může mít za vinu úhyn zvěře. Dalším faktorem je zábor půdy jedno druhovou plodinou, což vede k její devastaci. Dle výzkumu nejenom že mohou biopaliva snižovat výkonnost některých motorů, ale mohou vést až k jeho nenávratnému poškození. Hodnoty CO₂ do roku 2020 klesly o 394 mil. tun především díky výhodnější produkci při čerpání dotací, to ale nic nemění na faktu, že na výrobu 1 litru biopaliva je spotřebovááno cca 2 500 l vody.

Druhá generace

Oproti první generaci se nejedná o potravinářské plodiny. Myšlenka tkví ve využití odpadů např. ze zemědělství, farmaření, dřevoprůmyslu a komunálního organického odpadu. Ovšem i zde se naráží na skutečnost omezenosti tohoto druhu komodity, protože je před ní již proces recyklace.

Třetí generace

Možnou alternativou budoucnosti mohou být řasy, které lze vypěstovat např. v rybnících, ale i uměle. I zde se ovšem naráží na enormní spotřebu vody při jejich zpracování, nehledě na potřebu hnojení fosforem a dusíkem. Společnost ExxonMobil kvůli tomuto plánu proinvestovala 600 mil. dolarů a v roce 2013 došla k závěru, že min. dalších 25 let se nemůže jednat o rentabilní byznys. [7]

3 Výhody a nevýhody těchto pohonů

Prvopočátky hybridních pohonů sahají až do let 1665 - 1680, kdy vlámský jezuita a astronom F. Verbiesta vytvořil plány na samohybný vůz pro čínského císaře, který měl být pohánět párou a koňským spřežením. Nemůže se však s jistotou říct, že byl tento stroj skutečně sestrojen. Proto považujeme za prvopočátek rok 1889, kdy W. H. Patton vynalezl podobu nynějšího hybridu, tedy kombinaci spalovacího a elektrického motoru s využitelným zaměřením u kolejových vozidel a později u lodí. [27]

Hybridní pohony se v současnosti stávají stále větším trendem. Jedná se o pohon, jehož energie je vytvářena více než jedním zdrojem, resp. kombinací více pohonů, která má za cíl především menší spotřebu paliva, maximální efektivitu vozidla a nižší hodnoty exhalovaných plynů CO₂. Z pohledu hybridních automobilů se nabízejí jejich provozovatelům různé výhody, např. snížení či dokonce odpuštění různých poplatků, vjezd do měst s emisním omezením apod.

Vozidla typu PHEV (Plugin Hybrid Electric Vehicle) garantují ujetí 30 - 60 km čistě z akumulované energie, což je vhodné využít právě v městských zastavěných oblastech. Je jen otázkou času, kdy budou mít dieselová vozidla do center velkých měst zákaz vjezdu a povolení budou mít jen elektromobily či hybridní pohony. Ku příkladu nákladní vozidlo DAF CF Hybrid disponuje kapacitou 85 kWh, tedy odhadem na 30 - 50 km elektropohonu. Oproti tomu vozidla Scania 25L a 25P, které disponují kapacitou 60 kWh by měly zajistit dojezd až 60 km, přičemž na 80% nabití by mělo stačit odhadem 35 min. [12]

Hybridní pohony lze rozdělit následovně:

podle uspořádání hnacího ústrojí:

Sériový hybrid - k pohonu využívá pouze elektrický pohon a spalovací motor zajišťuje jen dobíjení baterií, proto je tento systém nejvýhodnější pro městský provoz.

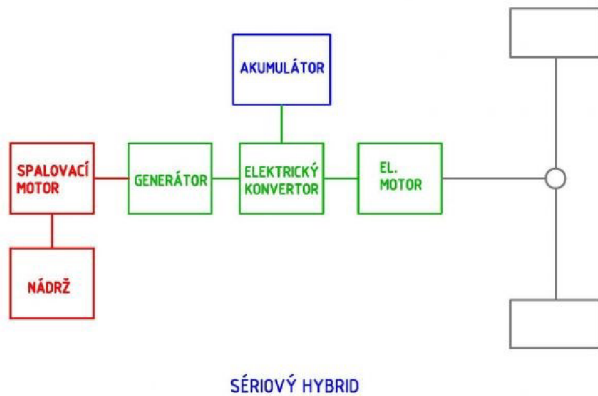


Schéma 3.1 Sériový hybrid

Zdroj: [28].

Paralelní hybrid - kombinace elektrického a spalovacího motoru, přičemž každý může být zdrojem pohonu samostatně. Jeho výhodou je především možnost spojení pohonů, čímž se dosáhne větší efektivity při vyšších rychlostech.

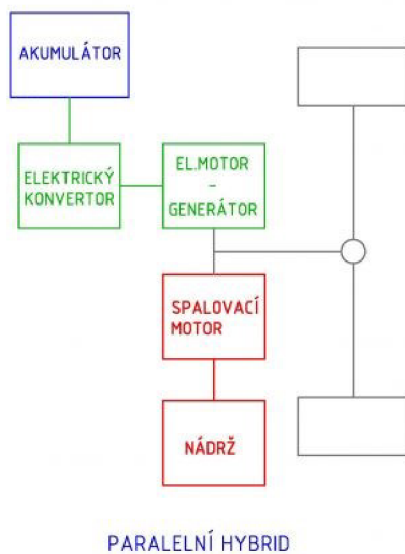


Schéma 3.2 Paralelní hybrid

Zdroj: [28].

Kombinovaný hybrid - je kombinací dvou obou předchozích hybridů. Může mezi nimi jen přepínat, nebo využívat potenciál obou pohonů zároveň.

podle stupně hybridizace:

Micro hybrid - nejedná se hybridní vozidlo jako takové, spíše o vozidlo, které je vybaveno systémem START/STOP a rekuperaci brzdové energie, což byť minimálně, dělá vozidlo ekologičtějším díky možnosti zhasínání motoru a jeho následného startování v kombinaci se zpětným využitím energie vzniklé brzděním.

Mild hybrid - součástí pohonu je elektromotor, který slouží jen jako podpora ke spalovacímu motoru např. při zrychlování či rozjezdech do stoupání.

Full hybrid - jedná se o plně hybridní vozidlo, které je schopno jezdit jen na elektrický pohon. Baterie je dobíjena buď rekuperační energií nebo energií spalovacího motoru.

Plug - in hybrid - oproti full - hybridu má možnost dobíjet baterii i ze zásuvky či dobíjecí stanice a jeho provoz produkuje ty nejnižší možné hodnoty CO₂. [29]

3.1 Hybridní lokomotivy

S narůstajícím tlakem ať už z pohledu environmentální šetrnosti ale i z pohledu finančních úspor jsou výrobci nuceni vyrábět vozidla splňující tyto požadavky, což se díky výkonnějším trakčním bateriím stává stále reálnější.

Kombinace a alternativní způsoby výroby elektrické energie budou popsány v následujících kapitolách. Již samotným přechodem z dieselu na elektřinu se získá spousta benefitů, zejména tedy snížení hodnot emisí. Pozornost je proto od dieselových pohonů odváděna na samotné způsoby získávání elektřiny, a to za pomoci alternativních zdrojů nežli touto přímou formou podpory produkce elektráren. Zjednodušeně se dá ovšem říct, že hybridní lokomotivy využívají jen dva druhy kombinací pohonů, a to:

- diesel - baterie hybrid (DBH),
- trakce - baterie hybrid (TBH).

Obojí kombinace má velkou výhodu ve zpětném využití energie vzniklé při rekuperaci, která je později využita při rozjezdech hnacího vozidla.

Rekuperace je zajištěna elektrodynamickou brzdou (EDB) za pomoci elektromotoru, který plní funkci generátoru a vyrábí tak elektřinu. Výhodou je možnost uschovávat vzniklou energii pro další využití v baterii, čímž se nejenom snižují energetické ztráty,

spotřeba paliva ale i opotřebovávání dvojkolí a brzdových zdrží. V opačném případě totiž dochází k neužitečnému odvodu energie v podobě tepla do okolního prostředí.

DBH

Už jen zainteresování baterií mezi dieselové pohony dokáže ušetřit až 50 % paliva. Výkonnější je elektrický pohon, který je proto využíván i při potřebě rázového výkonu při rozjezdech. Dieselový pohon zde pak plní funkci nezávislostního článku na vnějších zdrojích energie. V současnosti dochází v ČR nejenom k výrobě nových již hybridních lokomotiv (CZ LOKO) ale i k modernizaci starých elektrických lokomotiv.

TBH

Modernizace starých lokomotiv představuje velký zásah do podvozku, výměnu či renovaci elektronických součástek a přidání kapacitní baterie s dojezdem od 20 km výše. Takto zrenovovaným, předtím účetně odepsaným vozidlům je prodloužena životnost o 30 let, díky čemuž mohou železniční dopravci znatelně ušetřit investiční i provozní náklady. Na renovacích tohoto typu pracuje společnost DI - ELCOM.

Nabíjení samotné baterie probíhá vždy, když je vozidlo pod trolejí, díky čemuž nevznikají žádné prostoje.

Oproti zahraničí, kde začínají být konkrétně v Německu hojně využívány hybridní motory např. od společnosti Stadler v kombinaci elektrického pohonu přijímaného z troleje či baterie pro osobní přepravu tak kombinaci diesel - bateriových pohonů na vlečkách, Česká republika zaostává. Hybridní pohony jsou využívány především při posunech ve stanicích, a to primárně kvůli ekologickým aspektům, protože jsou místa soustředěvaných posunů orientovány v zastavených oblastech městských aglomerací. S nástupem hybridních pohonů kromě investičních aspektů je ovšem důležité zmínit větší variabilitu hnacích vozidel v současnosti využívaných v depech či při trvalých posunech, ve kterých jsou schopny zajistit veškerou manipulaci. Nabízí se tedy otázka, proč nemohou být hybridní lokomotivy zařazeny do osobní dopravy i v ČR.

Odpověď je jednoduchá. Nedostatečná infrastruktura z pohledu elektrifikovaných tratí, kterých je odhadem jen slabá třetina, a to nejen z důvodu prozatímního nepokrytí těchto oblastí, ale i kvůli např. prostorovým, bezpečnostním či ekonomickým důvodům (nákladiště, depa, myčky apod.) [30]

3.2 Vodík jako zdroj pohonu

Vodík jakožto chemický prvek není v přírodě v podstatě volně získatelný. Dosažitelný je jedině v okolí sopek. Plynný vodík je však obsažen ve všech organických sloučeninách.

Musel být proto využit způsob, který umí oddělit vodík od kyslíku, a to nelze jinak než chemickou cestou. Budoucnost dopravy kvůli snižujícím se zásobám neobnovitelných zdrojů směřuje k alternativním pohonům, proto je rozhodně na místě věnovat pozornost právě vodíku a najít peněžně a zároveň enviromentálně neschůdnější cestu k jeho výrobě.

První a nejrozšířenější metodou získávání vodíku je z fosilních paliv, přesněji výrobou ze zemního plynu. Zde je ovšem problém ve velké produkci emisí CO₂, které vznikají jeho výrobou. Druhou možností je parciální oxidace uhlovodíků, které vznikají při zpracování ropy a třetí je zplynování uhlí. [12] Tyto metody budou přesněji definovány v následujících podkapitolách.

Vodíkové pohony jsou aktivně řešeny MPO ČR, a proto ve svém vodíkovém strategickém dokumentu uvádí předpoklady nejen prediktivních pohybů ceny vodíku ale i jeho implementaci do dopravy.

Graf 3.1 Cena nízkouhlíkového vodíku a jeho zavádění v dopravě



Zdroj: [31].

Dotace na provoz vodíkových vozidel jsou k dispozici odhadem mezi léty 2020 - 2024. Od stejného roku se očekává cenová srovnatelnost vodíku s naftou. Následuje možnost

dotací plnicích stanic odhadem do roku 2027 s následnou roční dotací pro nákladní vozidla a autobusy při snížené ceně vodíku.

V následné fázi je předpoklad zavedení vodíkového provozu na komerční bázi, a to odhadem od roku 2033. [31]

3.2.1 Fyzikální a chemické vlastnosti vodíku

Vodík je za normálních podmínek (273,15 K a 101 325 Pa) hořlavý plyn bez chuti a zápachu, který je odhadem 14,5x lehčí než vzduch. Kvůli své nízké molekulové hmotnosti je těžko stlačitelný a při kontaktu se vzduchem výbušný.

Tab. 3.1 Základní fyzikálně - chemické vlastnosti

Teplota tání	14,025 K (-259,13 °C)
Teplota varu	20,268 K (252,88 °C)
Měrná tepelná kapacita	14 304 J
Spalné teplo	72 kJ/mol
Výhřevnost	59,775 kJ/mol

Zdroj: vlastní zpracování dle [32].

Ve sloučeninách je vodík schopen tzv. vodíkové vazby; je schopen vazby s chemicky jinými látkami. Vodíková vazba je silně spjata s atomy kyslíku, což je vysvětlením pro abnormální vlastnosti vodíku např. teplotu tání a teplotu varu. [32]

3.2.2 Výhody a nevýhody

Největší výhodou je samozřejmě enviromentální šetrnost, protože se vodíková vozidla provozují v podstatě bezemisně a tiše, což nejenom pozitivně přispívá k omezení produkce skleníkových plynů ale i snížení hluku především v zastavěných oblastech. Dále slouží i jako zdroj pohonu pro letadla a pro dobíjení kosmických lodí.

Mezi hlavní výhody patří jeho udržitelnost, kdy je zdroj získatelný z vody, nebo může být jako zdroj energie k pyrolýze použita solární, vodní, větrná a přílivová energie.

Účinnost vodíkového pohonu je vyšší než u jiných zdrojů, protože např. oproti benzínovému motoru ujede větší vzdálenost při stejném množství paliva. [33]

Jedná se o obnovitelný zdroj, pokud se neuvažuje o výrobě ze zemního plynu, což je s rostoucí spotřebou fosilních paliv podstatné.

Pro uživatele vodíkových vozidel je lákavá především rychlost nabíjení, kdy je konkrétně Hyundai Nexo natankován za pouhých 5 minut s dojezdem 666 km. [34]

Mezi největší nevýhodu lze zařadit samotný nákladný způsob produkce vodíku. Aby byl, pokud možno nejčistší, musí být vyráběn elektrolýzou. Z celkových 100 % energie vyrobené z obnovitelných zdrojů je získán vodík se 70 % původní energie. Energeticky náročné je i následné stlačení či zkapalnění vodíku, jeho distribuce a plnění palivového článku. Celková účinnost je jen 30 % a to není zohledňováno skladování vodíku, které je samozřejmě společně s distribucí také nákladné.

Nevýhoda tkví v samotné nebezpečnosti vodíku ve vozidle, kde by mohl potenciálně vybuchnout, z důvodu skladování v tlakové nádrži pod tlakem cca 700 atm. [35]

Energetická hustota je 142MJ/kg, což je cca 3x více než kilogram benzínu. Kilogram benzínu představuje cca 1,3 l, zatímco kilogram vodíku představuje 11 000 l. Z tohoto důvodu je potřeba komprese v nádrži na cca 700 atm. [36]

V neposlední řadě je velkou nevýhodou samotná cena palivových článků, protože jsou vyráběny z platiny. [35]

Cena je ale důležitým faktorem i z pohledu spotřeby. Pokud nebude pro normálního provozovatele finančně dostupná, nemůže docházet k rozvoji vodíkových pohonů. Zde se naráží na úskalí v omezenosti čerpacích stanic uzpůsobených pro vodík.

V současnosti je ovšem hlavní nevýhodou samotné čerpání fosilních paliv pro výrobu vodíku.

3.3 Výroba vodíku

Jak bylo zmíněno v kapitole 3, k získání vodíku se využívají různé technologie s největším výrobním zastoupením ze zemního plynu a ropy.

Výroba z fosilních paliv

Mezi nejrozšířenější způsoby patří tzv. parní reformování. Jedná se o endotermní a exotermní reakce. Zemní plyn je nejprve ohříván na teplotu 750 - 800 °C a poté při ochlazení na teplotu více než 500 °C dochází k reakci oxidu uhelnatého s vodní párou.

Parciální oxidace uhlovodíku je druhou nejrozšířenější metodou získávání vodíku. Jako zdroje lze využít plynné i kapalné skupenství látky z primárního i sekundárního procesu zpracování ropy. Dochází ke zplyňování uhlovodíku vodní párou a kyslíkem při 1 300 - 1 500 °C při vzniku vodíku. Velkou nevýhodou této metody je vysoká produkce oxidu uhličitého, uhelnatého a sazí.

Zplyňování uhlí patří mezi nejstarší metody získávání vodíku. Jedná se o obdobu parciální oxidace, ovšem zde je zdrojem uhlí, které je zplyňováno vodní párou a kyslíkem při teplotě 1 300 °C. Výsledný plyn však kromě vodíku obsahuje i oxid uhličitý a uhelnatý a nečistoty z uhlí, proto je ještě horký ochlazován a očištěn od oxidu uhličitého, čímž je získán čistý vodík. [37]

Detailnější přehled vyčerpávaných zdrojů viz Graf níže.

Graf 3.2 Podíl zdrojů na výrobě vodíku



Zdroj: vlastní zpracování dle [38].

3.4 Proces výroby vodíku z obnovitelných zdrojů

Do popředí se stále více dostává zhodnocování biomasy k výrobě vodíku, tzv. zelený vodík, a vody. Proces výroby lze rozdělit do dvou skupin, a to parní reformování a biotechnologický proces.

Parní reformování je vhodné využít u dřevnatých a potravinářských odpadů a u zemědělské biomasy. V případě vlhké biomasy procesy probíhají buď za světla (fotofermentace, biofotolýza) nebo za tmy (vodíková fermentace). [37]

Velkou výhodou je využití biomasy produkované v zemědělství, ale i potravinářské či komunální odpady. Ovšem i zde se naráží na problém vysokých teplot při zpracování což má opět za následek emise. Nabízí se i varianta výroby vodíku za pomoci elektrolýzy vody s účinností až 90 %. Ovšem i u ní se naráží na velkou energetickou náročnost společně s vysokými investičními náklady. Efektivita by však mohla tkvět v tzv. vysokoteplotní elektrolýze. [12]

3.4.1 Obnovitelné zdroje

Elektrolýza může probíhat i za pomoci energie získané z obnovitelných zdrojů, nejčastěji solární. Mezi nové druhy štěpení za účelem zvýšení účinnosti při výrobě vodíku patří vysokoteplotní elektrolýza a termochemické cykly. Vysokoteplotní elektrolýza probíhá za vysokých teplot v parném prostředí. Čím teplotně vyšší parné prostředí, tím větší je účinnost celého procesu. U termochemických cyklů dochází k rozkladu vazeb vody za pomoci sérií chemických reakcí přívodem tepla nebo elektrické energie. [37]

3.4.2 Elektrolýza

Při výrobě vodíku elektrolýzou nedochází k ohřevu paliv jako u předchozích metod ale k přeměně elektrické energie na chemickou. Dochází k chemickému štěpení molekul vody za pomoci přiváděného stejnosměrného proudu o napětí 1,21 V, tlaku 0,1 MPa a teplotě 25 °C. Výsledkem je vznik iontů H^+ a OH^- , které jsou následně přitahovány k opačně nabitým elektrodám. Ionty OH^- jsou přitahovány na anodu kde zoxidují a vodíkové protony H^+ jsou naopak přitahovány ke katodě, kde se redukují. Zjednodušeně se tedy dá říct, že proces elektrolýzy má za úkol rozložení vody za pomoci elektrického proudu na plynný vodík a plynný kyslík. [37]

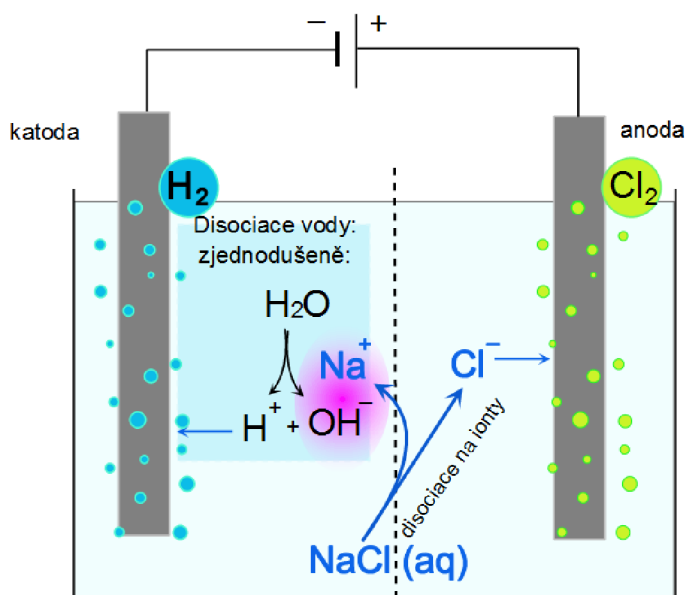


Schéma 3.3 Průběh elektrolýzy

Zdroj: [39].

3.4.3 Jaderná elektrárna

Výroba energie jaderným štěpením patří mezi jediný alternativní proces, který je schopen dodávat elektrickou energii 24 hodin denně. [7] Využitelnost jaderné energie byla objevena již v roce 1895 ale první funkční jaderný reaktor byl spuštěn až v roce 1942 v americkém Chicagu. Po něm byla v roce 1954 spuštěna první elektrárna svého druhu v ruském Obninsku, která dodávala proud do veřejné sítě. [40]

Uran se těží v rudných ložiscích buď z povrchových lomů (např. v Namibii), hlubinných dolů (např. Rožná, Jáchymov, Příbram) nebo chemickým loužením (Stráž pod Ralskem). [42] Mezi největší světové producenty uranu patří Kazachstán se 41% podílem, následuje Austrálie s 13 % a Kanadou s 8 %. Metody těžby uranu se neustále mění. Prvopočátky produkce byly z hlubinných dolů, ty ovšem postupně nahrazují jednodušší procesy loužením. Loužení je chemický proces, při kterém je do rudonosné vrstvy vtlačován chemický roztok, který je schopný rudu rozpustit a následně je takto obohacená kapalina vyčerpána na povrch a požadovaná složka je vhodně izolována.

Tab. 3.2 Podíl na celkové produkci uranu

Metoda	U t	%
Loužení	26,402	55
Povrchové a hlubinné doly	18,017	38
Vedlejší produkt	3312	7

Zdroj: vlastní zpracování dle [41].

Vhodnějším substitutem Uranu - 235 je v současnosti Thorium - 232 (Th - 232). Výhodou Thoria je jeho četnější výskyt v přírodě než uranu. Jako palivo se dá využít v kombinaci s recyklovaným plutoniem. Ze sumarizace světových zdrojů thoria je zřejmý obrovský potenciál, který skrývá jeho těžba se sestupně seřazenými zeměmi dle kvantitativního podílu, viz níže.

Tab. 3.3 Odhadované světové zdroje thoria

Země	T	Země	t
Indie	846,000	Jihoafrická republika	148,000
Brazílie	632,000	Čína	100,000
Austrálie	595,000	Norsko	87,000
USA	595,000	Grónsko	86,000
Egypt	380,000	Finsko	60,000
Turecko	374,000	Švédsko	50,000
Venezuela	300,000	Kazachstán	50,000
Kanada	172,000	Ostatní země	1,725,000
Rusko	155,000	Světový součet	6,355,000 t

Zdroj: vlastní zpracování dle [43].

Thorium samotné není schopné štěpení, je však schopné absorbovat neutrony, čímž se v jaderném reaktoru přemění na Uran - 233. Nevýhodou tohoto druhu paliva je tedy nutnost jeho přepracování na čistý uran. Výzkumné práce největšího ložiska thoria probíhají v Indii. [44]

3.4.4 Pyrolýza odpadu

Pyrolýza představuje zajímavý přístup k nakládání s odpadem. Je to postup, při kterém je odpad bez přístupu kyslíku či jiných zplyňovacích látek tepelně zpracován. Zjednodušeně se jedná o termický rozklad v atmosféře, ve které díky neexistenci kyslíku nedochází ke spalování ani při vysokých teplotách. Dochází k ohřevu rotační pece nejčastěji zemním plynem nebo elektrickou energií. Kvůli dekarbonizaci se však dá očekávat, že začne být upřednostňována právě ona. Běžná topná tělesa jsou schopna vyvinout teplotu 1 350 °C, specializovaná dokonce 2 000 °C. Ovšem teplotu ovlivňuje i samotná skladba směsi. Při 500 °C je pro paralyzu vhodnější pyrolýzní olej nebo pyoil. Při 700 °C začíná být produkován metan, až při teplotě 900 °C a vyšší dochází ke vzniku pygasu, neboli vodíku.

Variantou pro zefektivnění pyrolýzy je série dvou pecí za sebou. První pec o 500 °C by vyráběla pyrolýzní koks a plyn. Tato pec by byla napojena na druhou o teplotě 900 °C, ze které by odebírala koks. Výsledkem by potom byl plyn bohatý na vodík. Série pecí by tím přispěla k energetickému zefektivnění pyrolýzy, které není možno dosáhnout v jedné peci o konstantní teplotě. Následuje čištění vzniklého plynu podle potřeb využití vodíku za pomoci nízkotlakého čištění, které je schopné dosáhnout extrémně vysoké čistoty, která je vyžadována u palivových článků. Se stále více rostoucím odbytem vodíku se nabízí i využití odpadových produktů, které naleznou široké využití ve své pevné, kapalné i plynné formě. Ku příkladu polokoks je možné přetvořit na aktivní uhlí, které se využívá k filtraci vody nebo dýchacích systémů. [45]

3.5 Palivový článek

Palivový článek pracuje na principu elektrolýzy vody (viz 3.4.2 Elektrolýza). Jedná se o chemickou reakci vodíku s kyslíkem, která má za výsledek vytvoření elektrické energie viz schéma níže. [46] Skládá se ze dvou pórových elektrod, které jsou odděleny elektrolytem nebo membránou. V pórech pak vzniká rozhraní mezi elektrodou, elektrolytem a reaktanty vzniklé okysličovadly a oxidací paliva. Obě elektrody představují funkci katalyzátoru a během činnosti článku se v podstatě neopotřebovávají, což činí palivový článek nevybitelným. [37]

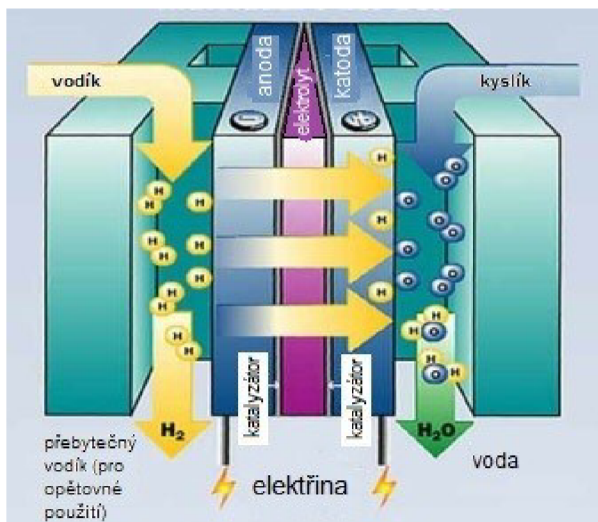


Schéma 3.4 Princip palivového článku

Zdroj: [47].

3.6 Doprava a skladování vodíku

Vodík může být přepravován a skladován ve formě stlačeného plynu nebo jako kapalina. Bezpečné zacházení musí být u vodíku samozřejmostí. Veškerá vodíková infrastruktura musí splňovat přísné standardy a eliminovat možnost úniku.

Samotná distribuce vodíku probíhá skrze potrubí, speciální tankery nebo cisterny ve kterých musí být zajištěna maximální čistota a minimalizace možnosti úniku vodíku. V případě distribuce potrubím, může být s drobnými úpravami využito i potrubí určené pro zemní plyn.

Ve své podstatě existují tři způsoby, v jakých formách skladovat vodík, a to stlačený, zkapalněný nebo vázaný v hydridech. [46]

Mezi konvenční způsoby skladování patří skladování stlačeného vodíku nejčastěji v tlakových nádobách. Ve vozidlech se jedná o hliníkovou tenkostěnnou nádobu, která je obalena uhlíkovými vlákny. Standardní provozní tlak je mezi 350 - 700 bary dle typu vozidla. Pro trvalé skladování jsou využívány velkoobjemové ocelové tlakové nádoby, ve kterých je vodík při teplotě -253 °C v kapalné formě. [48]

Kapalný vodík se uskládá ve vícevrstvých nádobách s dobrou izolací a přetlakem 5 barů, které jsou opatřeny přetlakovým mechanismem pro regulaci maximálního

přípustného tlaku. Denní ztráty jsou až 3 % z obsahu nádrže. Zkapalňování ale i stlačování vodíku je energeticky velmi náročné.

Mezi alternativní způsoby skladování vodíku patří:

- systémy na bázi hydridů,
- komplexní hydridy,
- vodík absorbovaný na nanostrukturách,
- vodík chemicky vázaný ve sloučeninách,
- vodík ve skleněných mikrokuličkách.

Ke skladování vodíku se používají tzv. hydridy, které slouží k absorbování vodíku do kovových materiálu. Jde o exotermní reakci, kdy je při absorpci vyvíjeno teplo. Desorpce, tedy opačným dějem je naopak za dávek tepla vodík uvolňován z materiálu. Nanostruktura je tvořena vysokoporézním grafitem a uhlíkatou nanotrubicí. A právě přítomný uhlík absorbuje vodík, přičemž hodnoty hmotnostní kapacity se dle různých studií pohybují mezi 0,4 - 7 % hm. Hmotnostní kapacita představuje poměr hmotnosti vodíku ku hmotnosti celého skladovacího systému. Vodík může být rovněž také skladován ve formě sloučeniny bohaté na vodík. Zajímavostí je, že jeden litr vody obsahuje více atomů vodíku než jeden litr kapalného vodíku. Proto je vhodné využívat uhlovodíkové sloučeniny, které lze skladovat jednoduše v tlakových nádobách v kapalném stavu a za obvyklých teplot, např. zemní plyn a butan. Ovšem i benzín a nafta spadají mezi uhlovodíkové sloučeniny vhodné k výrobě vodíku. Výhodou je nenáročnost skladování na teplotu a tlaky. Prakticky je ale ke spotřebě potřeba čistý vodík, proto by bylo potřeba nainstalovat reformer paliva mezi nádrž a palivový článek. Skladování ve skleněných mikrokuličkách je realizováno naplněním dutiny kuličky plynným vodíkem s přetlakem až do 100 MPa. Samotné plnění probíhá při teplotě cca 200 °C a vysokých tlacích difúzí molekul vodíku přes stěnu kuličky. Hmotnostní kapacita je maximálně 15 % hm. Následné odčerpání z kuliček je možné do nádrží obdobně jako u tekutin. Prázdné kuličky je možné opětovně používat. [49]

3.7 Srovnání jednotlivých druhů pohonů

Fosilní paliva

V současnosti stále nejvyužívanější ale z pohledu budoucnosti je nutné od nich upouštět, proto nebudou ve srovnávání zohledňována vyjma cenové kalkulace.

Akumulátory (elektrická energie) - Výhody:

- Provoz elektromobilů se vyznačuje nulovými emisemi.
- Výhodou je jednoduchost nabíjení u dobíjecích stanic nebo v domácnostech za využití zásuvky na 230 V. Díky vlastní palubní nabíječe elektromobilu je střídavý proud transformován na stejnosměrný a odhadem je poměr 1 hodina nabíjení= zvýšení dojezdu o cca 14 km. Jedná se o tzv. pomalé nabíjení AC, kdy je podstatné, jaký výkon má samotná nabíječka, resp. kolik proudu jí může protékat. Při použití třífázové 16 A zásuvky není potřeba proud transformovat, a proto je dojezd již po hodinovém nabíjení navýšen cca o 55 km. Tuto rozdílnost nabíjení je ovšem možné vyřešit pouhým pořízením adaptéru. [50]
- Různé daňové úlevy, povolení vjezdu do měst s omezeními.
- Aktuálně odhadované náklady na provoz zpravidla nepřekročí 1 Kč/km.
- Možnost využít rychlonabíjecí DC u dobíjecích stanic. Max. nabití je poté reálné v řádu desítek minut.

Nevýhody:

- Přímá podpora produkce uhelných elektráren.
- Ekologicky velká těžební a výrobní zátěž společně s likvidací vzácných materiálů potřebných pro výrobu baterií.
- Vysoké pořizovací náklady.
- Stále ještě nedostatečné pokrytí sítě dobíjecími stanicemi.
- Baterii nelze výhodně nabít až na 100 %; max. kapacita 80 % přičemž posledních 20 % se s nadsázkou nabíjí stejnou dobu jako 80 %.

LPG - Výhody:

- Z neobnovitelných zdrojů patří mezi ty nejlevnější.
- Dostatek odběrných míst po celém světě.
- Možnost relativně levné přestavby standardního motoru na LPG nebo kombinaci benzínu a LPG.
- Vyznačuje se menší hlučností než spalovací motory.
- Nižší produkce exhalovaných plynů.
- Zvýhodněná sazba daně.

Nevýhody:

- Povinná roční revize palivového systému.
- Omezení z pohledu vjezdů do garáží.
- Existence možných obav z tlakové nádoby umístěné ve vozidle.
- Nerostná závislost na politicky nestabilních státech.

CNG - Výhody:

- Nižší produkce exhalovaných plynů než u vznětových motorů.
- Nižší hlučnost.
- Možnost vyššího výkonu díky lepšímu směšování se vzduchem což vede k lepšímu spalování.
- Oproti benzínovým motorům úspora paliva až o 50 %.
- Zvýhodněná spotřební daň= nižší cena a osvobození od silniční daně.

Nevýhody:

- Zatím stále nedostatečně pokrytá síť čerpacích stanic.
- Existence omezení při vjezdech do podzemních garáží.
- Pravidelná revize těsnosti systému a zkouška tlakové nádoby.
- Pořizovací cena vyšší než u benzínových vozidel.
- Obdobně jako u LPG nerostná závislost na politicky nestabilních státech.

Biopaliva - Výhody:

- Obnovitelný zdroj energie.
- Možnost čerpání dotací=nižší cena než u standardních PHM.

- Některé druhy biopaliv produkují méně emisí.

Nevýhody:

- Zábor půdy = nežádoucí dopad na zemědělství; zvyšování cen základních potravin.
- Na výrobu 1 litru biopaliva se spotřebovává enormních 2 500 l vody.
- Spalování biomasy z určité plochy je až 50x méně efektivní nežli energie získaná ze solárních panelů na totožné ploše.
- Větší průměrná spotřeba než při spalování fosilních paliv.

Hybrid - Výhody:

- Díky kombinaci s elektřinou nižší emise.
- Cca o 15 - 35 % nižší spotřeba znatelná především v městském provozu.
- Ekologičnost - vozidla budoucnosti.
- Vyznačují se velmi tichým provozem.

Nevýhody:

- Kvůli kombinaci pohonů technologicky složitější=vyšší hmotnost.
- Některá hybridní vozidla s vysokou pořizovací cenou.
- Přímá podpora produkce uhelných elektráren.

Vodík - Výhody:

- Téměř nulové emise.
- Vyčerpatelnost je spíše vzdálená budoucnost (ačkoliv se řadí mezi obnovitelné zdroje).
- Snadné směšování vodíku se vzduchem.

Nevýhody:

- Vodíkové pohony zatím nejsou schopny prosadit se v sériové výrobě.
- Neexistuje žádná čerpací síť.
- Komplikovaná distribuce - při teplotě -253°C .
- Riziko předčasného vznícení.
- Nízká hustota vodíku=potřeba objemných nádrží. [51]
- Vysoká cena za 1 kg.

Tab. 3.4 Srovnání jednotlivých druhů pohonů

Pohon	Délka tankování	Cena PHM (k 10.2.2022)		Ø náklady (300 km dojezd) při spotřebě 6 l/100 km
Diesel	Dle obsahu nádrže (několik min.)	33,9 Kč/l		610 Kč
Benzín	Dle obsahu nádrže (několik min.)	34,50 Kč/l		621 Kč
Aku	Délka nabíjení	Elektromobilita (3,6Kč/kWh)	Akumulace 8 (3,7 Kč/kWh)	Ø náklady (300 km dojezd) Elektromobilita/ Akumulace 8
230 V	21 h (100 %)	3,6 Kč/kWh	3,7 Kč/kWh	75,60/77,7 Kč
16 A	6 h (100 %)	3,6 Kč/kWh	3,7 Kč/kWh	21,60/22,2 Kč
	Délka tankování	Cena PHM (k 10.2.2022)		Ø náklady (300 km dojezd) při spotřebě 9 l/100 km
LPG	Dle obsahu nádrže (několik min.)	16,90 Kč/l		456 Kč
				Ø náklady (300 km dojezd) při spotřebě 6 l/100 km
CNG	Dle obsahu nádrže (několik min.)	34,90 Kč/ kg		628 Kč
				Ø náklady (300 km dojezd) při spotřebě 10 l/100 km
Biopaliva	Dle obsahu nádrže (několik min.)	26,50 Kč/l		795 Kč
	Délka tankování	Cena vodíku aktuální k 10.2.2022		Ø náklady (300 km dojezd) při spotřebě 1 kg/100 km
Vodík	Dle obsahu nádrže (několik min.)	250 Kč/kg		750 Kč
	Dle kombinace			Ø náklady (300 km dojezd) kombinace cenového průměru elektriny a LPG
Hybrid	Několik min.			37,8+228=265,80 Kč

Zdroj: vlastní zpracování dle [52], [53].

Tabulka výše představuje komplexní cenové srovnání druhů pohonů.

Jedná se orientační, průměrné hodnoty, při kterých bylo srovnání uskutečněno z průměrné kapacity standardní baterie elektromobilu s dojezdem 300 km.

Benzín a diesel se umístily překvapivě ve střední cenové hladině oproti v současnosti do popředí dostávajících se alternativních pohonů. To ovšem nic nemění na faktu jejich blízkého se vyčerpání, proto je potřeba volit jiné varianty.

Náklady na nabíjení elektromobilu byly vypočítány z ceníku smlouvy na dobu neurčitou při sazbě vysokého tarifu. Nízký tarif není zohledňován, ale cenové rozdíly by nebyly nijak markantní. Zmíněny jsou tarify jak pro domácnost, tak pro elektromobilitu od společnosti ČEZ pro ukázkou toho, že rozdíly nejsou nijak zásadní, i když si řidič zřídí přímo tarif Elektro - mobilita. Velký cenový rozdíl při nabíjení v domácnostech tkví jen v použitém druhu zásuvky, díky které je nabíjení nejenom rychlejší ale i úspornější. Za předpokladu použití zásuvky 16 A je baterie plně nabita za pouhých 21,60 Kč, což potvrzuje předchozí tvrzení o nákladech menších než 1 Kč za ujetý km. Na tyto náklady se ovšem dostane i ta domácnost, která nabíjí vozidlo ze zásuvky 230 V. Dobíjecí stanice mají dvojitou sazbu. Zvýhodněnou pro registrované zákazníky, tedy cca do 9 Kč/kWh a pro neregistrované od 9 Kč/kWh výše, podle poskytovatele.

LPG také patří mezi výhodné alternativní zdroje pohonu, především díky snížené spotřební dani. Díky této skutečnosti je možné ujet 300 km za částku 456 Kč. Ovšem taktéž alternativní CNG již není tak výhodné, byť má také sníženou spotřební daň. Zde se jedná o částku 628 Kč při stejné vzdálenosti především kvůli měřitelně vyšší spotřebě paliva.

Stále větší apel v mobilitě směřuje k využívání biopaliv či vodíku, ovšem v celkovém srovnání dopadly nejhůře. Možné příčiny mohou být v prozatím raném zavádění, které je i přes dotace stále nákladné a infrastruktura tohoto charakteru nedostatečná. Za těchto okolností bez zohledňování nákladů na vodu při zpracovávání biopaliv nepatří tyto pohony budoucnosti v současnosti mezi nejlevnější varianty.

Tab. 3.5 Seřazení pohonů

1. Elektromobil	22 Kč/300 km
2. Hybrid	266 Kč/300 km
3. LPG	456 Kč/300 km
4. Diesel	610 Kč/300 km
5. Benzín	621 Kč/300 km
6. CNG	628 Kč/300 km
7. Vodík	750 Kč/300 km
8. Biopaliva	795 Kč/300 km

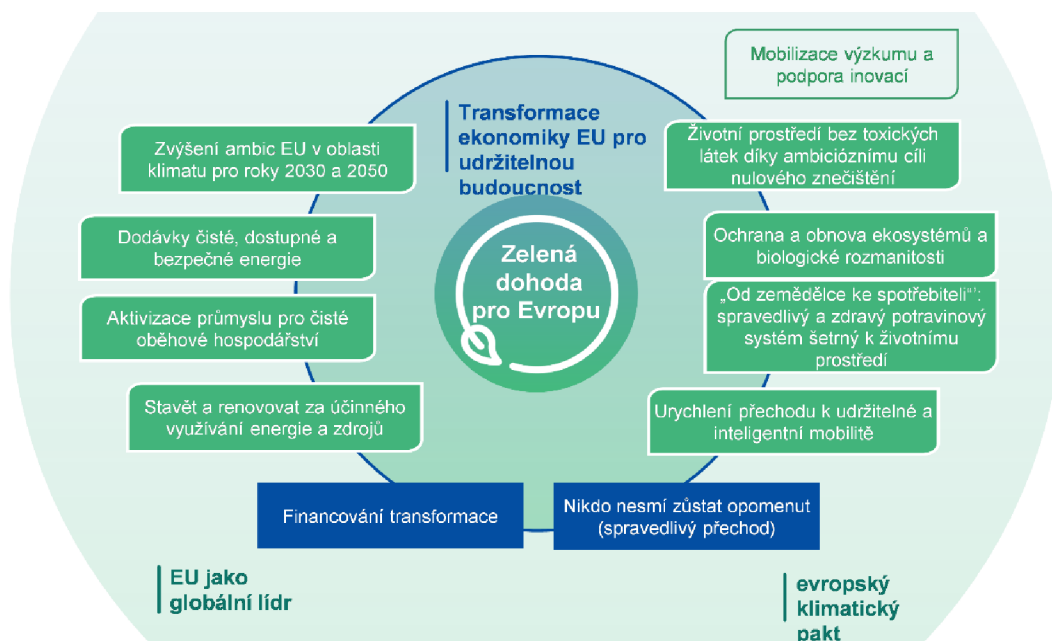
Zdroj: vlastní zpracování dle Tab. 3.4.

Nepřekonatelně nejlépe v celém srovnání dopadly elektromobily, jejichž provoz je zajištěn za neuvěřitelných 0,20 Kč/1 km. Jako druhý, ačkoliv s 12x vyšší cenou se umístil hybridní pohon, a to především díky možnosti kombinace paliv, která značně sníží náklady na provoz. Pro účely výpočtu se jednalo o kombinaci elektřiny a LPG. S větším cenovým rozdílem následují LPG, diesel a benzín, které nákladově předběhly ekologičtější paliva jako jsou CNG, vodík a biopaliva.

4 Zhodnocení získaných poznatků

Tzv. Zelená dohoda pro Evropu. Je evropský soubor iniciativních návrhů Evropské komise, kterými lze dosáhnout klimatické neutrálnosti v roce 2050 zaměřené na splnění „Agendy OSN pro udržitelný rozvoj 2030 a jejich cílů udržitelného rozvoje“. [54] Jedná se mimo jiné o simulační plán možných klimatických dopadů s cílem snížení produkce skleníkových plynů o 55 % do roku 2030 v porovnání s rokem 1990. Dohoda byla představena v roce 2019 s množstvím návrhů na zlepšení emisních hodnot, včetně investic do výzkumu a inovací a ochranu ŽP. Mezi další cíle patří udržitelnost ekonomiky, jejíž růst by neměl být vykoupen využíváním neobnovitelných zdrojů, úsilí o zachování přírody v EU a chránění zdraví a blahobytu obyvatelstva enviromentálními hrozbami. Všechny tyto cíle ovšem nikdy nemohou být dosaženy jen na území EU. Klimatický problém je globálního charakteru, a proto je potřebné, aby podobně smýšlel i zbytek světa. EU nabízí možnost využití svého postavení k dosažení plánovaných cílů se svými sousedy, což je ale potřeba obezřetně aby nedošlo k narušení bezpečnosti vlastních dodávek a konkurenceschopnosti. Zmiňované cíle jsou graficky znázorněny níže.

Graf 4.1 Cíle Zelené dohody



Zdroj: [54].

Samotná opatření by byla zbytečná, kdyby Komise nespolupracovala s členskými státy EU. Je třeba, aby byl vytvořen legislativní rámec přijatelný Zelenou dohodou který by byl vynucován a efektivně prováděn. Předpokládá se, že k dosažení cílů dohody do roku 2030 bude potřeba vynaložit roční investice ve výši 260 mld. eur což odhadem odpovídá 1,5 % HDP. V roce 2019 byla uhlíková neutralita přijata Evropskou radou ve smyslu dosažení klimaticky neutrální EU do roku 2050.

EU již zahájila opatření pro dosažení klimatické neutrality při ekonomickém růstu. Mezi roky 1990 - 2018 se snížily emise skleníkových plynů o 23 % a ekonomika naopak vzrostla o 61 %. S tímto tempem ale není reálné, aby bylo do roku 2050 dosaženo neutrality. Odhadované snížení emisí skleníkových plynů bude max. o 60 %.

Snížování skleníkových plynů by mohlo být dosaženo přes systém obchodování s emisemi vč. jeho rozšíření na nové sektory v Evropě. To by mělo napomoci k zajištění stanovení ceny uhlíku pro celou ekonomiku. Tento fakt by měl mít za následek změnu chování spotřebitelů, kteří by energie hledali spíše v obnovitelných zdrojích.

Kvůli rozdílným ambicím mezinárodních partnerů hrozí velké riziko odlivu výroby uhlíku mimo EU, kde nejsou až tolik řešeny emise, nebo budou tyto komodity nahrazeny importními a uhlíkově náročnějšími komoditami.

Mezi klimatické cíle spadá také dekarbonizace energetických systémů. Všechny sektory se podílejí na produkci skleníkových plynů ve výši 75 %, proto je potřeba směřovat sektory na získávání energie z obnovitelných zdrojů.

Zelená dohoda bodově obsahuje sektory, ve kterých je třeba učinit změny:

- srovnatelné ambice v klimatické oblasti,
- udržitelná a inteligentní mobilita,
- udržitelnost a ochrana ŽP a zajištění netoxického, nulového znečištění,
- optimální zajištění bezpečné energie,
- apel na průmysl v přechodu na energie z obnovitelných zdrojů,
- účinné energetické využití při výstavbách a renovacích,
- tzv. strategie „od zemědělce ke spotřebiteli“, tedy zajištění ekologičtějšího potravinového systému. [54]

Dekarbonizace železniční dopravy

Dekarbonizace představuje snižování uhlíkové stopy vzniklé dopravou. Z pohledu osobní železniční dopravy se nabízí technické řešení, které by k dekarbonizaci dopravy napomohlo. Je ovšem zapotřebí součinnost všech zúčastněných entit a to objednavatele (stát, tedy kraje), provozovatel dráhy (SŽ) a dopravce (ČD, Arriva, RegioJet...), kteří by našli synergický efekt mezi délkou sjednaných smluv a životností nejen vozidel ale i infrastruktury. Dopravní politika ČR pro roky 2021 - 2027 s výhledem do roku 2050 představuje stěžejní záměry v elektrizaci, konverzi a vozidla s kombinací trolej - akumulátor. Evropskou stěžejní iniciativou je vybudování 500 vodíkových stanic do roku 2025, které budou zapotřebí do roku 2030.

Mezi možná technická řešení spadají následující kombinace pohonů:

- liniová elektrizace + EMU,
- kombinace liniové a bodové elektrizace + BEMU,
- vodíkové plnicí stanice + HMU.

V této strategii se ovšem naráží na mnohá úskalí, a to především v podmíněných investicích z pohledu pevných energetických zařízení a trakčních vozidel.

Ekonomická životnost energetických zařízení a trakčních vozidel je cca 30 let, avšak délka smluvních vztahů mezi objednatelem a dopravcem je kratší, obdobně jako délka poskytovaných úvěrů bankami.

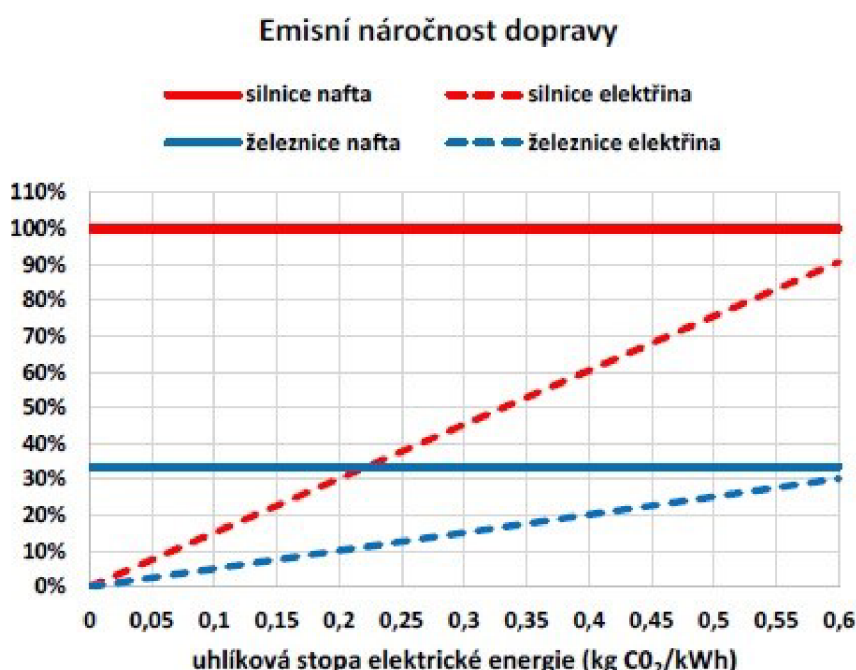
Zapotřebí je i vzájemná kompatibilita pohonů vozidel. Vozidla BEMU - bateriová elektrická železniční jednotka, lze s úpravou i bez úprav (ponechání či odebrání akumulátoru) provozovat v režimu EMU - elektrický vůz, což znamená že investice do vozidel BEMU neovlivní investice do liniové elektrifikace tratí. Ovšem investice do vozidel DMU - dieselová jednotka a HMU - vodíková jednotka, které nelze bez přestaveb provozovat v režimu EMU, by pozdější investice do liniové elektrifikace tratí ovlivnily.

Budování nových energetických zařízení by mělo smysl jedině za předpokladu jejího využití všemi druhy železniční dopravy od regionální osobní, dálkové osobní až po nákladní, napříč všemi dopravci a objednavateli. [55]

Soulad je samozřejmě zapotřebí i v zavádění bezemisní vozby v kombinaci se systémem ETCS (European Train Control System) na tratích i ve vozidlech.

Implementace systému ETCS byla schválena Bezpečnostní komisí MD ČR v prosinci 2020. Podmínkou správné a funkční činnosti vlakového zabezpečovače ETCS je implementace palubních jednotek do vozidel. Systémem ETCS má být do roku 2030 zajišťován provoz všech vlaků, který je ovšem podmíněn právě elektrizací tratě. Do současných diesellových vozidel by nebylo perspektivní ani nákladově výhodné aplikovat palubní jednotky, proto zde dochází k inovativní bariéře. [56]

Graf 4.2 Emisní náročnost dopravy



Zdroj: [57].

Z grafu výše vyplývá závažnost vlivu jaký má provozování dopravy na životní prostředí. Modré linie představující železniční dopravu jasně dokazují, že právě v ní tkví budoucnost relativně bezemisní dopravy, a proto by se měl dopravní záměr koncentrovat právě na železnici.

Energetických úspor v dopravě lze docílit dvěma způsoby:

Intramodální úspory - stávající dopravní prostředky konkrétního druhu dopravy jsou vhodně inovovány. Tedy např. nahrazení spalovacího motoru za motor s elektrickým trakčním pohonem může zajistit energetickou úsporu až 60 %.

Extramodální úspory - představují převedení přeprav na hospodárnější druh dopravy. Zpravidla se jedná o přechod silniční dopravy na železniční, díky čemuž může dojít až k 87% energetickým úsporám.

Zmiňované úspory představují právě ten nejefektivnější a zároveň bezemisní zdroj energie. [57]

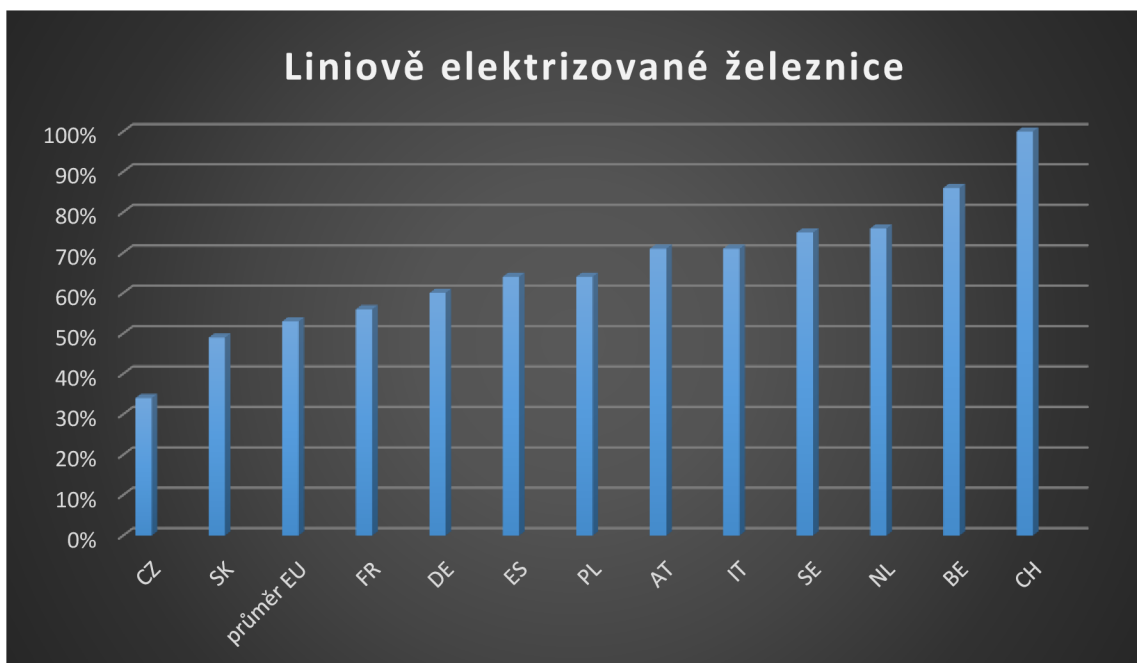
Elektrizace železnice v ČR

Elektrifikovaných tratí je v ČR nedostatek, přičemž v mnohých oblastech není ani možné o elektrifikaci do budoucna uvažovat kvůli místním poměrům ať už z prostorového či finančního hlediska. Nákladový přepočít vychází na 7 mil. Kč/km zelektrifikování tratě vedlejších tratí bez nutnosti výstavby napájecích stanic. [58]

ČR je rozdělena na dva elektrizační systémy. Pro sever 3kV a pro jih 25kV. Kvůli jednotnosti bylo přijato rozhodnutí a mezi léty 2020 - 2040 bude docházet k přechodu na 25kV celorepublikově.

Schváleno je zatím 650 km tratí určených k elektrizaci a do roku 2030 by dle vyhlášeného záměru SŽ měly obdobnou rekonstrukcí projít další tratě. [57]

Graf 4.3 Liniově elektrizované železnice



Zdroj: vlastní zpracování dle [57].

Česká republika patří mezi nejméně elektrizované země z výčtu. Žádoucí by bylo inspirovat se zeměmi jako je Holandsko, Belgie či Chorvatsko, ve kterých je zastoupení železniční dopravy od 76 - 100 %.

4.1 EMU, BEMU, HMU

Předností technicky vyspělých systémů elektrických vozidel je jejich tichý a bezemisní provoz. V porovnání s dieselovými vozidly, u kterých dochází ze 2/3 ke zbytečnému odvodu energie ve formě tepla se vyznačují výrazně nižší spotřebou energie ale i vyšším trakčním výkonem, což umožňuje zrychlení dopravy.

Liniová elektrizace + EMU

Elektrická závislá trakce se pro objednavatele ale i dopravce jeví jako nejvhodnější řešení hned z několika důvodů. Elektrická trakce totiž představuje nejmenší náklady z pohledu pořizovací ceny, nákladů na provoz a údržbu, produkce emisí a nejnižší spotřebu energie ale i nejvyšší energetickou účinnost a neomezený dojezd.

Naopak negativa tkví v nákladné infrastruktuře společně s časovou náročností výstaveb, přičemž samotná výstavba ovlivňuje tvorbu uhlíkové stopy.

Liniová a bodová elektrizace a BEMU

Představuje kombinaci elektrické trakce a lithiových akumulátorů LTO typu HP.

Mezi hlavní výhody akumulátoru patří jeho schopnost nabíjení vysokým výkonem, což představuje jen 15 minut nabíjení pro 100 % baterie (virtuální rychlost nabíjení je cca 400 km. h⁻¹) která má schopnost i vybíjení velkým výkonem, což umožňuje razantní styl jízdy za využití traťových rychlostí. Vysoký výkon kladně ovlivňuje nabíjení při rekuperačním brzdění, díky čemuž není zapotřebí pneumatická třecí brzda k provoznímu brzdění a díky ušetřené energii se zvyšuje dojezd. Díky vysoké účinnosti BEMU se zvyšuje energetická hospodárnost. I při velmi intenzivním a každodenním používání má akumulátor životnost cca 15 let, tedy půlku životnosti vozidla. Při poklesu kapacity baterie je dojezd podle povahy trati a vlaku odhadován na 80 - 120 km.

BEMU se nabízí jako vhodný právě v kombinaci s liniovou elektrizací díky čtenějším příležitostem nabíjení za využití stávající infrastruktury. Na elektrizovaných úsecích se

chová jako plnohodnotné EMU což s postupující elektrizací představuje možnost dynamického nabíjení pro jízdu v navazujících úsecích.

Vodíkové plnicí stanice + HMU

Vzhledem k nedostatečnému pokrytí železniční sítě elektrifikovanými místy, která nejsou schopná pokrýt vozidla BEMU se nabízí jako vhodné řešení vozidla s palivovými články, které umožňují dojezd 600 - 900 km.

Velké úskalí však tkví ve vybudování velmi specifické infrastruktury. Palivové články potřebují velmi čistý vodík (99,97 %), který by musel být chemicky vyráběn v blízkosti plnicí stanice. Kvůli svojí hustotě je však obtížné vodík nejen skladovat ale i dopravovat, přičemž hrozí nebezpečí výbuchu. Vhodným řešením by byla výroba vodíku elektrolýzou z obnovitelných zdrojů.

Vodíková vozidla by byla vhodná v rozsáhlých oblastech bez elektrické trakce např. na trasách Ostrava - Opava - Krnov - Olomouc a Krnov - Jeseník - Šumperk/Zábřeh. [58]

Velkou výhodou by bylo umístění plnicích stanic mimo intravilán, což by umožňovalo plnění i silničním vozidlům. To by představovalo komplexnost využití pro více druhů dopravy. Doplnění paliva o 100 a více kg do kolejového vozidla bohužel netrvá kratší dobu než dobití akumulátoru. [57]

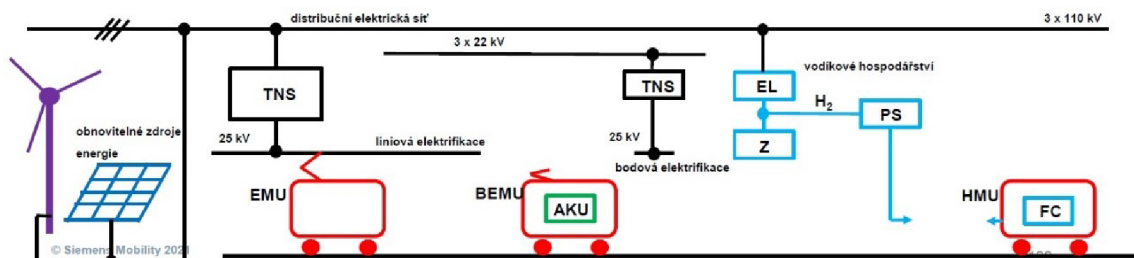


Schéma 4.1 Schéma technických zařízení s uzpůsobenou vzbou

Zdroj: [57].

4.2 Výrobci kolejových vozidel

Výrobců kolejových vozidel je v současnosti mnoho, ovšem inovativními druhy pohonů se zabývají a plánují primárně vývojáři společností: Siemens, Alstom, Stadler a CZ LOKO.

Motorové jednotky jezdící na alternativní paliva byly uvedeny do provozu ve Francii, Velké Británii, USA, Německu, Rakousku, Švýcarsku apod. a zájem o ně projevuje stále více zemí vč. ČR. Všechny nové jednotky jsou již zpravidla připraveny na zavedení systému ETCS což je z pohledu inovativních přístupů v železniční dopravě jediné žádoucí.

Siemens

Společnost Siemens vyvíjí jak bateriové jednotky Mireo určené pro liniovou dopravu, Mireo Plus B s dvou zdrojem trolej - akumulátor ale i Mireo Plus H jako čistě vodíková vozidla s palivovými články, která budou místo zplodin vyrábět vodu.

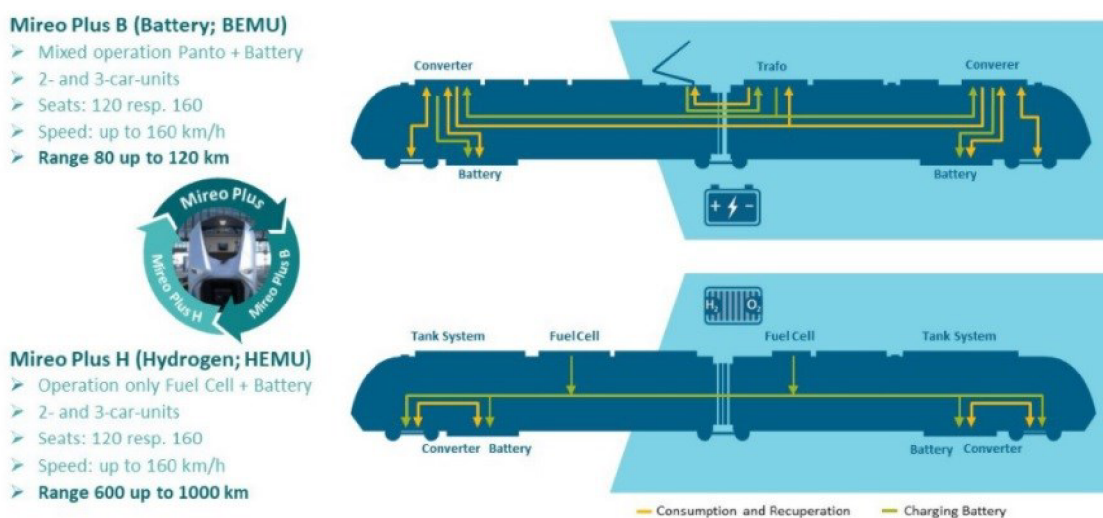


Schéma 4.2 Mireo Plus B a Mireo Plus H

Zdroj: [59].

Z rozhovoru s vedoucím vývojářů Peterem Eckertem a sub projektovým manažerem Nikolaosem Papaiordanidisem vyplývá propracovanost inovačních pohonů jednotek Mireo Plus H. Nepřítomnost kardanu je nahrazena přímým pohonem dvojkolí skrze indukční generátory napájené měničem. Samotné napájení je zajištěno výkonným trakčním akumulátorem určeným i pro rekuperační brzdění. Akumulátor je určen pro akceleraci jednotky, zatímco vodíkový systém nabíjí baterii a podporuje palubní nabíjení při ustálené rychlosti. Provozní režim je přizpůsobený výkonovým charakteristikám vlaku do takové míry, že zajišťuje spolehlivou životnost zásobníku cca 30 000 provozních hodin. Tlakové lahve o různých velikostech se umísťují na střechu jednotky a při jejich srovnání plně vyplňují obrys střechy. [59]

Mireo

Nástupce jednotek DESIRO. Díky hliníkové konstrukci a řídicím systémům je spotřeba nižší o 25 % oproti předchozím jednotkám. Představení proběhlo v r. 2016 a v r. 2018 začalo samotné testování v Německu. Od června 2020 je v provozu na trase Baden - Württemberg. Jednotky jsou z 95 % vyrobeny z recyklovatelných materiálů. Oblibě se těší natolik, že má společnost Siemens v současnosti objednávku na 180 jednotek v různých konfiguracích a v roce 2020 dokonce vyhrála Německou cenu za udržitelný design. [60]

Mireo B

Bateriová jednotka umožňující jízdu jak pod trolejí, tak na baterii. Nabíjení je možné za jízdy i stacionárně a rekuperací brzdné síly. Lithium - iontové baterie jsou umístěny pod vlakem ve dvou kontejnerech. Dle německého výpočtu představuje přechod na bateriový provoz roční úsporu 4,4 mil. l nafty. Jednotky Mireo B se vyznačují velkou akcelerací $1,1 \text{ m.s}^{-1}$. [61]

Mireo Plus H

Použité palivové články garantují životnost 34 000 provozních hodin. Úspora energie oproti elektrickým pohonům je 10 %. Dojezd až 1 000 km, který se ovšem odvíjí od topografie tratě a počtu vozů v jednotce. Tři vozová jednotka má dojezd právě 1 000 km oproti dvou vozové jednotce, která má dojezd jen 600 km.

Testování jednotek započne v půlce r. 2023 v Německu. Siemens a německé DB se dohodli na spolupráci při vývoji a zprostředkování infrastruktury. [62]

Cityjet eco

Ve spolupráci s Rakouskou spolkovou dráhou ÖBB byla jedna z 200 dodaných tří vozových jednotek upravena jako dvou zdrojová s baterií uloženou ve středním voze. V srpnu 2019 byla jednotka schválena k provozu s cestujícími a ve zkušebním provozu byla od září 2019 - prosince 2020.

Alstom

Společnost vyrábí do celého světa a čítá cca 70 tis. zaměstnanců; pro ČR a Slovensko je výroba soustředěna v České Lípě. Společnost má díky svým inovativním přístupům

prvotní postavení na trhu s vodíkovými jednotkami. Zabývá se nejenom jejich výrobou ale i přestavbou jednotek s dieselovými motory.

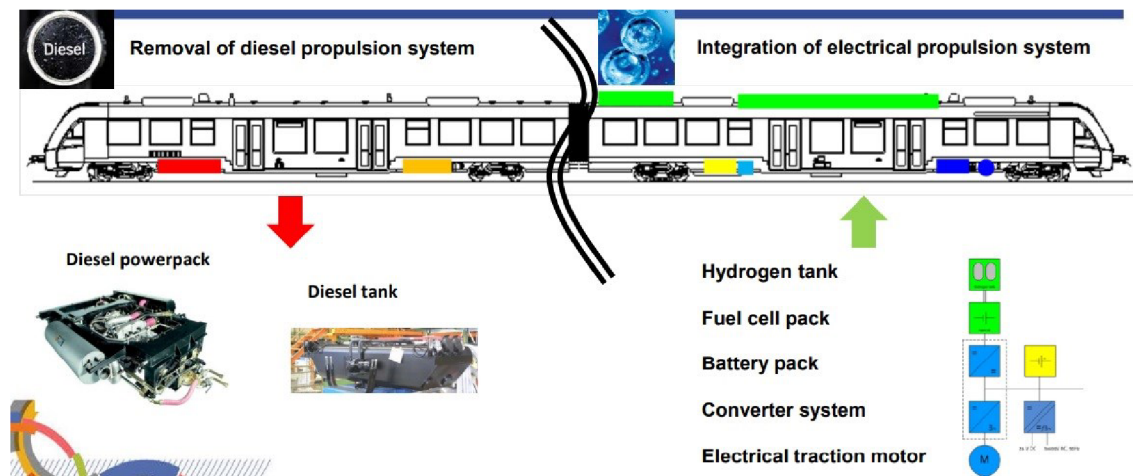


Schéma 4.3 Přestavba dieselového pohonu na vodíkový pohon

Zdroj: [62].

Vodíková vozidla Coradia iLint byla poprvé představena v roce 2016 v Berlíně, přičemž v komerčním využití na území Německa a Rakouska jsou od roku 2018. Od počátku svého provozu do prosince 2021 ujely již cca 200 000 km.

Coradia iLint postačí 15 min. tankování s garantovaným dojezdem 1 000 km.

Díky velkému zájmu o vodíková vozidla jsou některých evropských státech v provozu tyto typy:

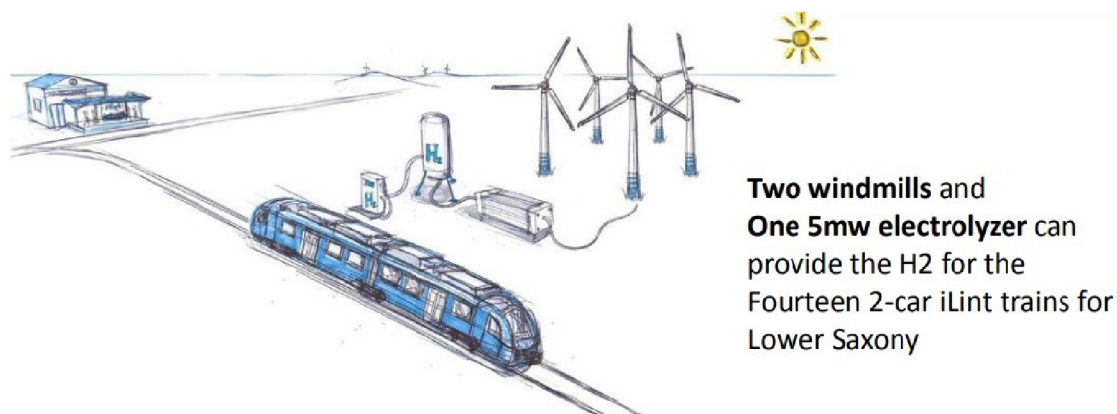
Coradia Polyvalent pro Francii,

Coradia Stream pro Itálii,

Coradia Breeze pro UK. [64]

Výrobce Alstom připravuje na květen 2022 představení jednotky Coradia iLint pro Slovensko a Česko, při kterém umožní projížďku omezenému počtu cestujících. Dle plánu by měla jednotka projíždět trasy na Slovenské straně přes Žilinu a Vrútky do Prievidze, Nitry a Bratislavy a na České straně Ústím nad Labem přes Prahu na Velimský okruh, z Olomouce do Ostravy přes Krnov ale za ideální pro reálný provoz je považována trasa z Liberce do Ústí nad Labem přes Děčín, a to nejenom díky blízkému závodu v České Lípě ale i kvůli samotné trase vedoucí přes Českosaské Švýcarsko unikátní přírodou a pískovcovými útvary. Proto se reálně uvažuje o umístění mobilního

vodíkového zdroje v těchto místech, díky kterému by mohla vodíková doprava na České straně bezprostředně navazovat na vodíkovou se sousedním Saským Švýcarskem. [65]



Obr. 4.1 Využití energie větru

Zdroj: [63].

Plán pro pokrytí spotřeby vodíkově poháněných jednotek pro Dolní Sasko vychází z předpokladu, že činnost dvou větrných mlýnů a jeden 5MW elektrolyzátor může poskytnout vodík až pro čtrnáct dvou vozových vlaků Coradia iLint.

Stadler

Švýcarská společnost se smlouvou o dodání prvních vodíkových vozidel do USA a Ruska. V procesu testování na území EU je až do jara roku 2023.

Ruská Railway Gazette International má v plánu po roce 2025 provozovat jen vozidla jezdící na elektřinu, zemní plyn či jiné alternativní zdroje.

Jednotka Stadler FLIRT je vyráběna ve variantách:

DMU/BMU (hybrid), Akku/Hybrid, H₂ FC/Hybrid a H₂ spalovací motor/Hybrid.

U vozidel s vodíkovým pohonem je nabízen tzv. Power Pack, který představuje:

- zásobník vodíku (modul= 7 lahví; cca 750 kg),
- FC (palivové články),
- DC/DC měnič pro palivové články,
- baterie. [66]

Akku/Hybrid

Jednotka vyrobena v r. 2017 a certifikována v r. 2018. Koncem roku 2022 by měly být jednotky uvedeny do skutečného provozu. Stadler FLIRT vlastní zápis v Guinnessově knize rekordů díky doposud největšímu dojezdu a to 224 km ujetých čistě na baterie. [67]

CZ LOKO

Česká společnost zabývající se modernizací a výrobou kolejových vozidel.

22. listopadu 2021 se uskutečnil technický seminář o zahájení vývoje a studie proveditelnosti, která ukáže, zda stavět plug - in hybridní prototyp lokomotivy HydrogenShunter 1000. Jedná se o modifikaci stávající lokomotivy EffiShunter 1000 se čtyřmi palivovými články a bateriemi s využitím pro posun. [68]

Mezi další rozvíjené inovativní projekty společnosti patří čistě bateriový E - Shunter 300 určený pro lehký posun a DualShunter 2000, který lze provozovat jak pod závislou, tak nezávislou trakcí. Kombinace pohonů spalovacího motoru a napájení z troleje je určeno pro lehké až středně těžké zatížení a posun. Spalovací motor v ekologické variantě by nahradily tři bateriové zdroje, které by byly nabíjeny z troleje nebo externího zdroje. Do provozu by měla být uvedena v Itálii v roce 2023, o dva roky později v ČR a poté do okolních států. [69]

4.3 Hnací motorové jednotky a jejich parametry

Vzhledem k tomu, že je problematika alternativních pohonů stále ještě v plenách a některé výrobci vytvořené prototypy ve stádiu zkoumání, nejsou technické údaje o vozidlech lehké dosažitelné. U vozidel, která jsou alespoň v některých zemích v aktivním provozu je možné představit více technických parametrů, a proto se v následujícím soupisu inovativních hnacích vozidel nenachází vždy všechny údaje.

Siemens

Tab. 4.1 Mireo

Rozchod	1 435 mm
Výkon	2 600 kW
Napětí	15 kV AC
Počet sedadel	214
Délka	50 - 140 m
Max. rychlost	160 km. h ⁻¹
Předpokládaný dojezd	80 - 120 km

Zdroj: [70], [71].



Obr. 4.2 Mireo

Zdroj: [72].

Tab. 4.2 Mireo Plus B

Rozchod	1 435 mm
Výkon	1 700 kW
Napětí	15 kV AC
Počet sedadel	120
Délka	46,56 m
Max. rychlost trolej/akumulátor	160/140 km. h ⁻¹
Předpokládaný dojezd	80 - 120 km

Zdroj: [73].



Photo: Siemens

Obr. 4.3 Mireo Plus B (uvedení do provozu 12/2023)

Zdroj: [74].

Alstom

Tab. 4.3 Coradia iLint

Rozchod	1 435 mm
Výkon	?
Napětí	?
Počet sedadel	150
Délka	?
Max. rychlost	140 km. h ⁻¹
Předpokládaný dojezd	1 000 km

Zdroj: [75].



Obr. 4.4 Coradia iLint

Zdroj: [76].

Stadler

Tab. 4.4 FLIRT

Rozchod	1 435 mm
Výkon	1 000 kW
Napětí	15 kV AC
Počet sedadel	154
Délka	58,6 m
Max. rychlost	140 km. h ⁻¹
Předpokládaný dojezd	80 km
Délka dobíjení	20 min

Zdroj: [77].



Obr. 4.5 Stadler FLIRT

Zdroj: [78].

Tab. 4.5 HydrogenShunter 1 000 (platforma EffiShunter 1 000)

Rozchod	1 435 mm
Výkon	280 - 800 kW
Objem paliva pro verzi 280 kW	58 kg H ₂
Délka	16,4 m
Hmotnost	80 t
Hnací nápravy	4
Max. rychlost	100 km. h ⁻¹

Zdroj: [79], [80], [81].



Obr. 4.6 HydrogenShunter 1000

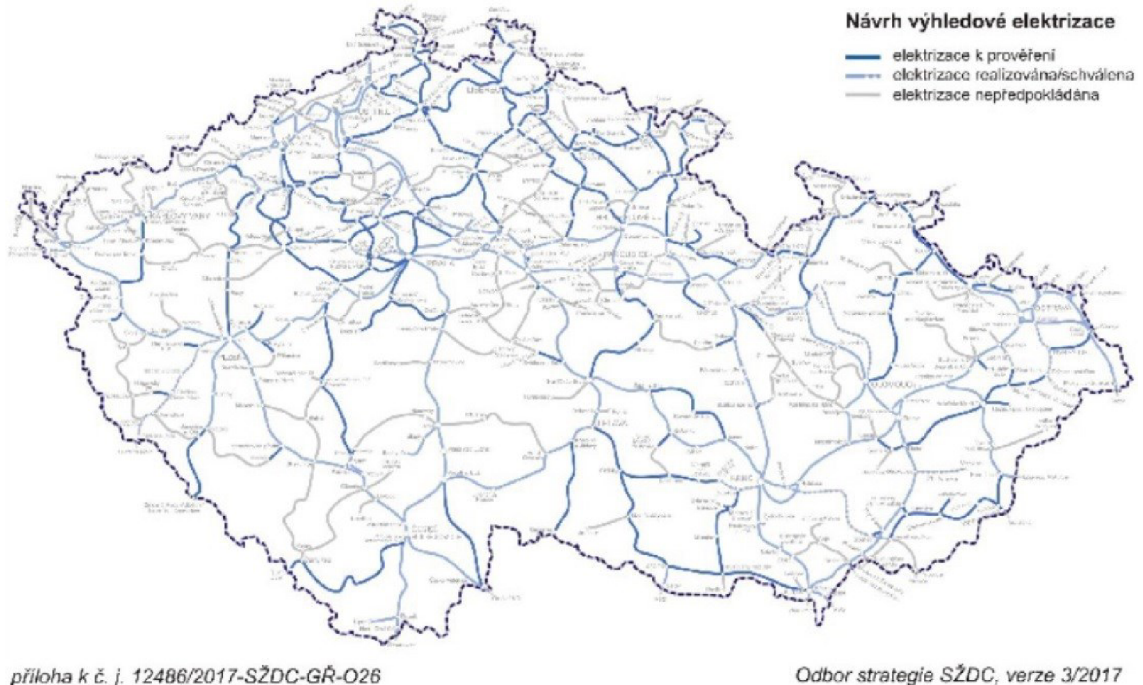
Zdroj: [82].

4.4 Pokrytí státní železniční sítě

Hustota železniční sítě v ČR je velká, avšak s nízkým podílem elektrizace. Z celkových 9 567 km je 6 330 km bez elektrizace. Záměr strategických plánování představuje přechod na alternativní pohony především na vytížených tratích. Taková realizace však není možná na tratích, kde nelze z topografického hlediska elektrifikační výstavbu započít, a proto by se zde nabízelo jako vhodné řešení právě zavedení vodíkových pohonů. Tyto tratě budou řešeny v kapitolách níže.

Plánované pokrytí sítě

Výhledová elektrifikace předpokládá s pokrytím sítě zatím jen v délce 650 km na celkem 33 tratích, viz Příloha A Příloha B.



Obr. 4.8 Návrh výhledové elektrifikace

Zdroj: [57].

4.5 Analýza možností zavádění alternativních pohonů na území ČR

Analýza bude vycházet ze skutečnosti, že jsou na vybraných tratích provozována elektrická, diesel - elektrická a dieselová hnací vozidla. Vybrané tratě jsou buď ve fázi realizace elektrifikace, plánu elektrifikace či už jsou plně elektrifikované. Zohledňovány budou i tratě s úmyslem zavedení vodíkového pohonu kvůli nemožnosti elektrizační výstavby.

Tyto tratě budou analyzovány z pohledu dosavadních nákladů realizovaného provozu ku zavedení alternativního pohonu v podobě vodíku vč. nákladů na jeho výrobu při obvyklé ceně za MWh i při ceně tzv. přebytkové elektrické energie.

Samotná spotřeba hnacích vozidel je tvořena širokou škálou aspektů, od úspor vzniklých rekuperačním brzděním ale i přenosových ztrát, přes sklonové poměry na trati, odpory kol, předtápění až po délku a obsazenost vlaku. Pro potřeby analýzy však budu vycházet z technických příruček jednotlivých lokomotiv doplněných o zkušenosti strojvedoucích řídících tato vozidla.

Spotřeba elektrické energie pro měsíc únor dle počtu fakturujících dopravců byla 105 668 MWh (viz Tab. 4.7), což v průměru představuje 2 348 MWh/dopravce. Při ceně 3 112,99 Kč/MWh a ceně 978 Kč/MWh za distribuci (viz Tab. 4.8) představují průměrné měsíční náklady pro jednoho dopravce 7,3 mil. Kč za elektrickou energii a 9,6 mil. Kč vč. distribuce.

Tab. 4.7 Měsíční statistika

Období	Počet fakturovaných dopravců	Celkové množství fakturovaných MWh	Poměr osobní/nákladní (%)	Poměr měřené/neměřené TEE (%)
2/2022	45	105 668	63/37	49/51

Zdroj: [83].

Od 1.1.2019 je zúčtování spotřeby trakční elektrické energie (TEE) zajišťováno Správou železnic, s. o. (SŽ) Spotřeba je nově určována za pomoci implementace systému EMS - měření spotřeby trakční elektřiny do elektrických hnacích vozidel a elektrických jednotek (EHV/EJ). Díky tomuto systému je možné spotřebu přepočítat pro jednotlivé druhy vlaků, která by měla odrážet skutečný odběr sběračů i vč. rozlišení druhu trakce. Tato spotřeba je dále upravována řadou koeficientů, které zohledňují např. technické ztráty, roční období apod. [83]

Tab. 4.8 Ceny za elektrickou energii

Období	Silová trakční elektřina (Kč/MWh)	Distribuce trakční elektrické energie (Kč/MWh)
2022	3 112,99 Kč	978 Kč

Zdroj: vlastní zpracování dle [84].

Vodíkové stanice

Dle agentury CzechInvest a Ministerstva Průmyslu a Obchodu se předpokládá výstavba 80 vodíkových stanic na území ČR do roku 2030. V současnosti je zřízena jen jedna a

dalších devět se buduje; výhled výstavby do roku 2030 je proto skeptický. Diskuze o síti vodíkových stanic představuje pokrytí na každých 150 nebo 300 km TEN - T.

Výstavba devíti vodíkových stanic byla MD podpořena částkou 354 mil. Kč, z čehož se dá soudit, že výstavba jedné vodíkové stanice vychází na cca 39 mil. Kč.

Stanice by měly vznikat v Praze, Brně, Ostravě, Plzni, Ústí nad Labem a Litvínově. [85] Z tohoto geografického rozmístění lze soudit, že na níže analyzovaných tratích by bylo reálné z výhledového hlediska zajištění přeprav právě za pomoci vodíku, když bude opominut nedostatečný vozový park uzpůsobený pro vodíkový pohon. Tuto domněnku lze doložit výpočty vztahující se k možné četnosti projetí konkrétní tratě na jednu nádrž (tlakové nádoby). Díky množství rozmístěných stanic ve výstavbě mohou být opomíjeny náklady na distribuci vodíku, a proto lze uvažovat o reálnosti výsledných hodnot. Ovšem za předpokladu nezahrnutí aspektů majících vliv na spotřebu vodíku, uvažujeme tyto hodnoty pouze jako orientační. Kdyby byly po vzoru Německa vodíkové stanice poháněny např. větrnou elektrárnou, byly by náklady na výrobu čistého vodíku ještě nižší.

4.5.1 Analýza elektrifikovaných tratí

Výpočty, které se vztahují k nákladům na provoz na konkrétních tratích kromě jiných nezahrnují sklonové poměry, avšak pro teoretickou ukázkou variability nákladů budou tyto přepočteny procentuálně výkonem v 60, 80 a 100 %.

Trat' 178 Plzeň - Cheb

Na této trati je nejčastěji využívána elektrická lokomotiva řady 362 s technickými parametry uvedenými níže.

Tab. 4.9 Technické údaje lokomotivy řady 362

Napájecí systémy	3 kV DC/25 kV, 50 Hz
Trvalý výkon v systému 3 kV DC	3 480 kW
Hmotnost/délka	88 t/16 800 mm
Maximální rychlost	140 km. h ⁻¹

Zdroj: vlastní zpracování dle [86].

Tab. 4.10 Náklady na provoz

Výkon	60 %	80 %	100 %
Spotřeba el. energie Kč/ h provozu	8 590 Kč	11 454 Kč	14 318 Kč

Zdroj: vlastní zpracování dle [86].

Při výkonu lokomotivy 3 480 kW a sazbě 4 090,99 Kč/MWh stojí hodina plného výkonu (100 %) 14 318 Kč, 80 % 11 454 Kč a 60% výkon 8 590 Kč.

Tab. 4.11 Trať 178

Délka tratě	106 km		
Spotřeba H ₂	26,5 kg (cena do r. 2030 ~ 36,54 Kč/kg)		
Spotřeba vody/cena	954 l/94 Kč		
Výkon	5,830 MWh		
	N na výrobu H ₂ (ceník ČEZ ESCO) /vč. distribuce+ voda	N na výrobu H ₂ z přebytkové energie (ČEZ ESCO)	N při ceně ~ 36,54 Kč/ kg
	18 149 Kč/23 944 Kč	3 009 Kč	968 Kč
Množství jízd na trati	28		

Zdroj: vlastní zpracování dle [87], [88], [89], [90],[84], [91], [92].

Na trati mezi Plzní a Chebem by vodíkové hnací vozidlo spotřebovalo 26,5 kg vodíku. Tato hodnota vychází z předpokladu spotřeby 0,25 kg H₂/km. [88] Výhledová cena vodíku do r. 2030 je přepočtena dle platného kurzu ke 3.4.2022. [92]

Na výrobu 26,5 kg vodíku je zapotřebí výkon 5,830 MWh a 954 l vody (9 l/kg). [88] [93].

Přepočet vychází z celorepublikového průměru ceny vody za m³ vč. stočného (98,4 Kč/m³). Výrobní náklady (N) jsou přepočteny dle platného ceníku ČEZ ESCO. Množství jízd vychází orientačně z předpokladu provozování motorové jednotky Stadler FLIRT na této trati s kapacitou tlakových lahví 750 kg.

Náklady na výrobu vodíku se značně liší. Pokud by se uvažovalo o fixní ceně za MWh od ČEZ ESCO, dosahovaly by náklady vč. distribuce ke 23 944 Kč. Oproti tomu provoz realizovaný přebytkovou energií při ceně 500 Kč/MWh nakoupenou z decentrálních zdrojů [82] je téměř 8x nižší. Kdyby se zohledňoval výhled EU, který si klade za cíl

snížení ceny zeleného vodíku na méně než 1,8 EUR/kg (v Tab. 4.11 použit přepočít 1,5 EUR) do r. 2030, byly by výrobní náklady více než atraktivní.

Trať 090 Praha - Děčín

Na trati je nejčastěji provozována elektrická lokomotiva řady 371, viz níže.

Tab. 4.12 Technické údaje lokomotivy řady 371

Napájecí systémy	3 kV DC/25 kV, 50 Hz
Výkon v systému 3 kV DC	3 080 kW
Hmotnost/délka	84 t/16 800 mm
Maximální rychlost	160 km. h ⁻¹

Zdroj: vlastní zpracování dle [94].

Tab. 4.13 Náklady na provoz

Výkon	60 %	80 %	100 %
Spotřeba el. energie Kč/ h provozu	7 363 Kč	9 818 Kč	12 273 Kč

Zdroj: vlastní zpracování dle [94].

Při výkonu lokomotivy 3 080 kW odpovídá výkonový přepočít při 100% výkonu částce 12 273 Kč, při 80% výkonu 9 818 Kč a při 60% výkonu 7 363 Kč.

Tab. 4.14 Trať 090

Délka tratě	137 km		
Spotřeba H₂	34,25 kg		
Spotřeba vody/cena	1 233 l/121 Kč		
Výkon	7,535 MWh		
	N na výrobu H₂ (ceník ČEZ ESCO) /vč. distribuce+ voda	N na výrobu H₂ z přebytkové energie (ČEZ ESCO)	N při ceně ~ 36,54 Kč/ kg
	23 456 Kč/30 947 Kč	3 889 Kč	1 252 Kč
Množství jízd na trati	22		

Zdroj: vlastní zpracování dle [95], [88], [89], [90], [84], [91], [92].

Trat' zajišťující spojení s Drážďanami s délkou 137 elektrifikovaných km by spotřebovala 34,25 kg vodíku. Samotná výroba vodíku představuje náklady 121 Kč za vodu a 7,535 MWh za výkon. Fixní cena vč. distribuce a vody představuje náklady ve výši 30 947 Kč. Oproti tomu by vodík vyrobený z přebytkové energie stál 3 889 Kč a díky cílové ceně zeleného vodíku by byly náklady pouhých 1 252 Kč. Na plnou nádrž by mělo být schopno hnací vozidlo jet týž trat' 22x.

Trat' 270 Olomouc-Česká Třebová

Na trati 270 je s největší frekvencí provozována lokomotiva řady 754, která je uzpůsobena pro trakční odběr v kombinaci se spalovacím dieslovým motorem. Technické údaje jsou uvedeny v tabulce níže.

Pro výpočet spotřeby elektrické energie bude postup obdobný jako u elektrických lokomotiv výše, ovšem spotřeba pohonných paliv bude vypočítána dle vzorce:

$$M_{PH} = m_{pe} \cdot P_{SM} \cdot 10^{-3} \text{ [kg} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (6.1)$$

kde: M_{PH} měrná hmotnostní časová spotřeba,

m_{pe} měrná spotřeba [g/kWh],

P_{SM} výkon [kW]. [96]

Tab. 4.15 Technické údaje lokomotivy řady 754

Napájecí systém	AC/DC
Výkon v systému 3 kV DC	1 455 kW
Hmotnost/délka přes nárazníky	72 t/16 660 mm
Měrná spotřeba paliva	202,7 g/kWh
Maximální rychlost	100 km. h ⁻¹

Zdroj: vlastní zpracování dle [97], [98].

Lokomotiva v systému 3 kV DC má výkon 1 455 kW, což při fixní sazbě za MWh představuje náklady uvedené v Tab. 6.16, společně se spotřebou pohonných hmot.

Pro výpočet spotřeby dieselu se do vzorce dosadí:

$$M_{PH} = 202,7 \cdot 1455 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{PH} = 294,9 \text{ [kg} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

$$M_{PH} = 294,9 / 0,84$$

$$M_{PH} = 351 \text{ [l} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

Byla dosazena měrná spotřeba v g/kWh a výkon v kWh. Výsledek, tedy měrná hmotnostní časová spotřeba 294,9 kg. h⁻¹ byla vydělena přepočtem, kdy 1 l nafty odpovídá cca 0,84 kg. [99]

Při maximálním výkonu je tedy vypočítaná spotřeba 351 l. h⁻¹.

Tab. 4.16 Náklady na provoz

Výkon	60 %	80 %	100 %
Spotřeba el. energie Kč/ h provozu	3 572 Kč	4 762 Kč	5 953 Kč
Spotřeba diesel (l) Kč/ h provozu	(210,6 l) 7 468 Kč	(280,8 l) 9 957 Kč	(351 l) 12 447 Kč

Zdroj: vlastní zpracování dle [97], [98].

Výsledná spotřeba dieselu byla násobena cenou 35,46 Kč, která je osvobozena od DPH a platná k 19.4.2022. [100] Z tabulky výše jsou zřejmé nákladové rozdíly za využití elektrické trakce a naftového pohonu. Není překvapením, že náklady na elektrický provoz jsou cca 2x nižší než u naftového pohonu. Z tohoto důvodu je vhodné využít zavedené elektrifikace na této trati a naftový pohon využívat jen nouzově při trakčních výlukách či v úsecích bez elektrifikace.

Tab. 4.17 Trať 270

Délka tratě	109 km		
Spotřeba H₂	27,25 kg		
Spotřeba vody/cena	981 l/97 Kč		
Výkon	5,995 MWh		
	N na výrobu H₂ (ceník ČEZ ESCO) /vč. distribuce+voda	N na výrobu H₂ z přebytkové energie (ČEZ ESCO)	N při ceně ~ 36,54 Kč/ kg
	18 662 Kč/24 622 Kč	3 094 Kč	996 Kč
Množství jízdy na trati	27,5		

Zdroj: vlastní zpracování dle [101], [88], [89], [90], [84], [91], [92].

Trať 270 patří mezi velmi vytížené trasy tvořící spojnicí s hlavní metropolí. Na projetí celé tratě by bylo zapotřebí 27,25 kg vodíku. Celkové energetické náklady by mohly být 24 622 Kč, při výrobě z přebytkové energie jen 3 094 Kč a při zeleném vodíku pouhých 996 Kč, přičemž by bylo možné stejnou trasu projet 27,5x na jedno doplnění.

4.5.2 Analýza tratí s realizací elektrifikace (plánovaná elektrifikace)

Do této podkapitoly jsou zařazeny tratě, na kterých již dochází k realizaci elektrifikace či je na nich elektrifikace teprve plánována. Z těchto důvodů na nich mohou být provozována jen hnací vozidla či motorové jednotky se spalovacími motory v řadách 814, 842, 754 a 810. U lokomotivy řady 754 je využita trakce jen v části zelektrifikované tratě.

Trať 331 Otrokovice - Vizovice

Tab. 4.18 Technické údaje motorové jednotky řady 814

Hmotnost	22 t
Délka přes nárazníky	28 440 mm
Měrná spotřeba paliva	230 g/kWh
Výkon	242 kW
Max. rychlost	80 km. h ⁻¹

Zdroj: vlastní zpracování dle [102].

Pro výpočet spotřeby dieselu se do vzorce dosadí hodnoty z tabulky:

$$M_{PH} = 230.242 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{PH} = 55,7 [kg \cdot h^{-1}]$$

$$M_{PH} = 55,7/0,84$$

$$M_{PH} = 66,3 [l \cdot h^{-1}]$$

Tab. 4.19 Náklady na provoz

Výkon	60 %	80 %	100 %
Spotřeba diesel (l) Kč/ h provozu	(39 l) 1 383 Kč	(53 l) 1 879 Kč	(66,3 l) 2 351 Kč

Zdroj: vlastní zpracování dle [102].

Hodina provozu motorové jednotky stojí 2 351 Kč při plném výkonu a 1 879 Kč a 1 383 Kč při 80% a 60% výkonu.

Tab. 4.20 Trať 331

Délka tratě	25 km		
Spotřeba H ₂	6,25 kg		
Spotřeba vody/cena	225 l/22 Kč		
Výkon	1,375 MWh		
	N na výrobu H ₂ (ceník ČEZ ESCO) /vč. distribuce+ voda	N na výrobu H ₂ z přebytkové energie (ČEZ ESCO)	N při ceně ~ 36,54 Kč/ kg
	4 280 Kč/5 647 Kč	710 Kč	228 Kč
Množství jízd na trati	120		

Zdroj: vlastní zpracování dle [103], [88], [89], [90], [84], [91], [92].

Na trati 331 v celé délce probíhá elektrifikace. I přes tuto skutečnost je vhodné zmínit orientační náklady na vodíkovou dopravu na této trase. Celkové energetické náklady při fixní ceně by činily 5 647 Kč, výroba z přebytkové energie by stála 710 Kč a výhledová představa nákladů na zelený vodík je pouhých 228 Kč. Možnost projetí trasy na jedno doplnění nádrže by byla 120x.

Trat' 340 Brno - Uherské Hradiště

Na trati je nejvíce využíván motorový vůz řady 842 s technickými parametry uvedenými níže.

Tab. 4.21 Technické údaje motorový vůz řady 842

Hmotnost	46 t
Délka přes nárazníky	25 200 mm
Měrná spotřeba paliva	230 g/kWh
Výkon	425 kW
Max. rychlost	100 km. h ⁻¹

Zdroj: vlastní zpracování dle [104].

Pro výpočet spotřeby dieselu se do vzorce dosadí následující hodnoty:

$$M_{PH} = 230 \cdot 425 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{PH} = 97,7 [kg \cdot h^{-1}]$$

$$M_{PH} = 97,7/0,84$$

$$M_{PH} = 116,4 [l \cdot h^{-1}]$$

Tab. 4.22 Náklady na provoz

Výkon	60 %	80 %	100 %
Spotřeba dieselu (l) Kč/ h provozu	(69,8 l) 2 475 Kč	(93 l) 3 302 Kč	(116,4 l) 4 128 Kč

Zdroj: vlastní zpracování dle [104].

Náklady při 100% výkonu motorového vozu činí 4 128 Kč, při zohlednění sklonových poměrů lze uvažovat o sníženém 60% a 80% výkonu v částkách 2 475 Kč a 3 302 Kč.

Tab. 4.23 Trať 340

Délka tratě	106 km		
Spotřeba H₂	26,5 kg		
Spotřeba vody/cena	954 l/94 Kč		
Výkon	5,830 MWh		
	N na výrobu H₂ (ceník ČEZ ESCO) /vč. distribuce+ voda	N na výrobu H₂ z přebytečné energie (ČEZ ESCO)	N při ceně ~ 36,54 Kč/ kg
	18 149 Kč/23 944 Kč	3 009 Kč	968 Kč
Množství jízd na trati	28		

Zdroj: vlastní zpracování dle [105], [88], [89], [90],[84], [91], [92].

Aktivně je také realizována elektrizační výstavba tratě z Brna do Uherského Hradiště v konkrétních traťových oddílech. Z celkových 179 km které jsou zakončeny až na slovenské straně je trať na české straně dlouhá 106 km. Předpokládaná spotřeba vodíku by byla 26,5 kg na jehož výrobu by bylo zapotřebí 954 l vody a 5,830 MWh. Energetické náklady dle fixní sazby by byly téměř 24 tis. Kč, avšak zelený vodík by mohl mít náklady 25x nižší.

Trať 180 Plzeň - Domažlice (plán výstavby r. 2025)

Na trati je čteně využívána lokomotiva řady 754 s technickými parametry uvedenými níže. Diesellový pohon je využit jen v části tratě.

Tab. 4.24 Technické údaje lokomotivy řady 754

Napájecí systém	AC/DC
Výkon v systému 3 kV DC	1 455 kW
Hmotnost/délka přes nárazníky	72 t/ 16 660 mm
Měrná spotřeba paliva	202,7 g/kWh
Maximální rychlost	100 km. h ⁻¹

Zdroj: vlastní zpracování dle [97], [98].

Pro výpočet spotřeby dieselu se do vzorce dosadí:

$$M_{PH} = 202,7 \cdot 1455 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{PH} = 294,9 \text{ [kg} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

$$M_{PH} = 294,9/0,84$$

$$M_{PH} = 351 \text{ [l} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

Tab. 4.25 Náklady na provoz

Výkon	60 %	80 %	100 %
Spotřeba el. energie Kč/ h provozu	3 572 Kč	4 762 Kč	5 953 Kč
Spotřeba diesel (l) Kč/ h provozu	(210,6 l) 7 468 Kč	(280,8 l) 9 957 Kč	(351 l) 12 447 Kč

Zdroj: vlastní zpracování dle [96], [98].

V tabulce výše jsou vypočítány náklady jak na spotřebu elektrické energie tak na spotřebu dieselu, ze kterých je zřejmá nepřekonatelná výhoda zavádění elektrifikace oproti spalování nafty.

Tab. 4.26 Trať 180

Délka tratě	74 km		
Spotřeba H ₂	18,5 kg		
Spotřeba vody/cena	666 l/66 Kč		
Výkon	4,070 MWh		
	N na výrobu H ₂ (ceník ČEZ ESCO) /vč. distribuce+ voda	N na výrobu H ₂ z přebytečné energie (ČEZ ESCO)	N při ceně ~ 36,54 Kč/ kg
	12 670 Kč/16 716 Kč	2 101 Kč	676 Kč
Množství jízd na trati	40,5		

Zdroj: vlastní zpracování dle [106], [88], [89], [90],[84], [91], [92].

Délka tratě k hranicím je 74 km a její elektrifikace je naplánovaná na rok 2025. Na této trase by bylo zapotřebí 18,5 kg vodíku, který by se získal z 666 l vody a výkonu 4,070 MWh. Výhledová cena vodíku by byla téměř 10x nižší než dosavadní fixní sazba.

Trat' 342 Bzenec - Moravský Písek (plán výstavby r. 2023)

Tab. 4.27 Technické údaje motorový vůz řady 810

Hmotnost	20 t
Délka přes nárazníky	13 970 mm
Měrná spotřeba paliva	236,6 g/kWh
Výkon	155 kW
Max. rychlost	80 km. h ⁻¹

Zdroj: vlastní zpracování dle [107], [108].

Pro výpočet spotřeby dieselu se do vzorce dosadí následující hodnoty:

$$M_{PH} = 236,6 \cdot 155 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{PH} = 36,7 [kg \cdot h^{-1}]$$

$$M_{PH} = 36,7/0,84$$

$$M_{PH} = 43,7 [l \cdot h^{-1}]$$

Tab. 4.28 Náklady na provoz

Výkon	60 %	80 %	100 %
Spotřeba diesel (l) Kč/ h provozu	(26,22 l) 930 Kč	(34,96 l) 1 240 Kč	(43,7 l) 1 550 Kč

Zdroj: vlastní zpracování dle [107], [108].

Motorový vůz nedisponuje velkým výkonem, proto ani hodinové náklady na jeho provoz nejsou vysoké. Při 100% výkonu činí 1 550Kč, při 80% výkonu 1 240 Kč a při 60% výkonu pouhých 930 Kč.

Tab. 4.29 Trať 342

Délka tratě	4,2 km		
Spotřeba H₂	1,05 kg		
Spotřeba vody/cena	37,8 l/4 Kč		
Výkon	5,995 MWh		
	N na výrobu H₂ (ceník ČEZ ESCO) /vč. distribuce+ voda	N na výrobu H₂ z přebytečné energie (ČEZ ESCO)	N při ceně ~ 36,54 Kč/ kg
	719 Kč/949 Kč	119 Kč	38 Kč
Množství jízd na trati	714		

Zdroj: vlastní zpracování dle [109], [88], [89], [90], [84], [91], [92].

Trať ze Bzence do Moravského Písku je dlouhá pouhých 4,2 km s plánem na elektrifikační výstavbu v r. 2023. Výrobní náklady vodíku na této trase by mohly být 949 Kč, přičemž cena při zeleném vodíku by mohla být jen 38,4 Kč. Stejnou trasu by bylo možné na plně tlakové lahve projet 714x.

4.5.3 Analýza tratí vhodných pro zavedení vodíku

Do analýzy byly vybrány tratě 310 a 292, na kterých mohou být provozovány jediné hnací vozidla se spalovacími motory, v tomto případě se jedná o motorové vozy řady 851 a 842. Kvůli specifické topografii v řešeném úseku nelze uvažovat o budoucí elektrifikaci dané tratě, ovšem právě vodík by zde byl do budoucna tou nejvhodnější pohonnou variantou.

Trať 310 Olomouc - Krnov

Tab. 4.30 Technické údaje motorový vůz 851

Hmotnost	50,5 t
Délka přes nárazníky	24 790 mm
Měrná spotřeba paliva	237 g/kWh
Výkon	588 kW
Max. rychlost	110 km. h ⁻¹

Zdroj: vlastní zpracování dle [110], [111].

Pro výpočet spotřeby dieselu se do vzorce dosadí následující hodnoty:

$$M_{PH} = 237.588.10^{-3}$$

$$M_{PH} = 139,4 [kg. h^{-1}]$$

$$M_{PH} = 139,4/0,84$$

$$M_{PH} = 166 [l. h^{-1}]$$

Tab. 4.31 Náklady na provoz

Výkon	60 %	80 %	100 %
Spotřeba diesel (l) Kč/ h provozu	(99,6 l) 3 532 Kč	(132 l) 4 681 Kč	(166 l) 5 886 Kč

Zdroj: vlastní zpracování dle [110], [111].

Při plném výkonu motorového vozu činí náklady 5 886 Kč a při 80% a 60% výkonu 4 681 Kč a 3 532 Kč.

Tab. 4.32 Trať 310

Délka tratě	116 km		
Spotřeba H ₂	29 kg		
Spotřeba vody/cena	1 044 l/103 Kč		
Výkon	6,545 MWh		
	N na výrobu H ₂ (ceník ČEZ ESCO) /vč. distribuce+ voda	N na výrobu H ₂ z přebytekové energie (ČEZ ESCO)	N při ceně ~ 36,54 Kč/ kg
	20 374 Kč/26 878 Kč	3 375 Kč	1 060 Kč
Množství jízd na trati	26		

Zdroj: vlastní zpracování dle [112], [88], [89], [90], [84], [91], [92].

Trať 310 z Olomouce do Krnova je jedna z těch, na kterých by bylo skutečně vhodné zavést vodíkové pohony. Kvůli geografickému umístění tratě vedoucí přes tunely, skály a husté lesy je vodík vhodný nejenom enviromentálně ale i nákladově. Elektrifikační výstavba by byla nejenom nákladná ale i neefektivní, protože v místech s hustými porosty hrozí nejenom pád stromů ale i pád kamenů ve skalnatých úsecích na trakční

vedení. Z těchto důvodů se nabízí přeprava s energetickými náklady ve výši 26 878 Kč jako nejvhodnější řešení. Při zohlednění zeleného vodíku by byla cena 25x nižší a stejnou trasu by bylo na jednu nádrž možné projet 26x.

Trat' 292 Krnov - Zábřeh na Moravě

Obdobně jako na trati 310 i na trati 292 není možné z topografického hlediska uvažovat o elektrifikaci, a právě proto se vodíkový pohon dostává do popředí zájmu. V současnosti je však obslužnost zatím ještě zajišťována motorovými vozy s technickými údaji uvedenými níže.

Tab. 4.33 Technické údaje motorový vůz řady 842

Hmotnost	46 t
Délka přes nárazníky	25 200 mm
Měrná spotřeba paliva	230 g/kWh
Výkon	425 kW
Max. rychlost	100 km. h ⁻¹

Zdroj: vlastní zpracování dle [104].

Pro výpočet spotřeby dieselu se do vzorce dosadí následující hodnoty:

$$M_{PH} = 230 \cdot 425 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{PH} = 97,7 [kg \cdot h^{-1}]$$

$$M_{PH} = 97,7 / 0,84$$

$$M_{PH} = 116,4 [l \cdot h^{-1}]$$

Tab. 4.34 Náklady na provoz

Výkon	60 %	80 %	100 %
Spotřeba diesel (l) Kč/ h provozu	(69,8 l) 2 475 Kč	(93 l) 3 302 Kč	(116,4 l) 4 128 Kč

Zdroj: vlastní zpracování dle [104].

Provoz motorového vozu o výkonu 425 kW představuje hodinové náklady 4 128 Kč při plném výkonu a 3 302 Kč a 2 475 Kč při 80% a 60% výkonu.

Tab. 4.35 Trať 292

Délka tratě	123 km		
Spotřeba H₂	30,75 kg		
Spotřeba vody/cena	1 107 l/109 Kč		
Výkon	6,765 MWh		
	N na výrobu H₂ (ceník ČEZ ESCO) /vč. distribuce+ voda	N na výrobu H₂ z přebytekové energie (ČEZ ESCO)	N při ceně ~ 36,54 Kč/ kg
	21 059 Kč/27 784 Kč	3 491 Kč	1 124 Kč
Množství jízd na trati	24		

Zdroj: vlastní zpracování dle [113], [88], [89], [90],[84], [91], [92].

Z obdobného důvodu jako na trati 310 by i na trati 292 byl vhodný vodíkový provoz. Náklady na výrobu vodíku jsou opět diametrálně rozdílné. Celkové výrobní náklady sahají téměř k 28 tis. Kč, ovšem při výhledové ceně vodíku bychom mohli hovořit o pouhých 1 124 Kč. Hnací vozidlo by mohlo být na trase využito až 24x na jedno doplnění.

4.6 Zhodnocení jednotlivých přístupů k alternativním pohonům

Do analýzy zdrojů pohonů byly zahrnuty: elektrická trakce, diesel a vodík.

Ze všech vybraných a analyzovaných tratí v České republice vyplývá jediné. Diesel, kromě nešetnosti vůči životnímu prostředí není ani finančně výhodný. Náklady oproti elektrické trakci byly zpravidla dvou až téměř třinásobné, jak dokazují výpočetní tabulky.

U elektrické energie byly její úspory znatelné, ovšem fakt, že odběrem energie je nepřímo podporována i elektrárna, která ji vyrábí, stále zůstává.

Vodík, jakožto ten v současnosti nejzkoumanější pohon skýtá neskutečný potenciál, nesoucí přínosy nejen pro přírodu ale i v nákladech. Jediným stávajícím problémem je jeho finanční náročnost na výrobu a skladování ale díky strategickému rozmístění plnicích stanic, které jsou v plánu výstavby, odpadají mnohé náklady na distribuci.

Tab. 4.36 Porovnání nákladů na provoz hnacích vozidel

Trat' (km)	Diesel	Elektrická energie	Vodík
Trat' 178 (106 km)	-	11 454 Kč	968 Kč
Trat' 090 (137 km)	-	9 818 Kč	1 252 Kč
Trat' 270 (109 km)	9 957 Kč	4 762 Kč	996 Kč
Trat' 331 (25 km)	1 879 Kč	-	228 Kč
Trat' 340 (106 km)	3 302 Kč	-	968 Kč
Trat' 180 (74 km)	9 957 Kč	4 762 Kč	676 Kč
Trat' 342 (4,2 km)	1 240 Kč	-	38 Kč
Trat' 310 (116 km)	4 681 Kč	-	1 060 Kč
Trat' 292 (123 km)	3 302 Kč	-	1 124 Kč

Zdroj: vlastní zpracování dle Tab. 4.10, Tab. 4.11, Tab. 4.13, Tab. 4.14, Tab. 4.16, Tab. 4.17, Tab. 4.19, Tab. 4.20, Tab. 4.22, Tab. 4.23, Tab. 4.25, Tab. 4.26, Tab. 4.28, Tab. 4.29, Tab. 4.31, Tab. 4.32, Tab. 4.34, Tab. 4.35.

Z tabulky nákladů jsou zřejmé již zmiňované hodnoty. Náklady na diesel a elektrickou energii jsou počítány při spotřebě za 1 h. Když se zohlední délka tratí kromě těch nejkratších a max. rychlost hnacích vozidel, lze uvažovat, že částka odpovídá nákladům vzniklým provozováním na dané trati v celé její délce. U dieselového pohonu nebyly zohledňovány topografické vlastnosti tratě, a proto byly částky přiřazovány jen s 80% náklady na provoz. Dvou zdrojová lokomotiva je využívána na dvou tratích, přičemž dieselový motor je spíše alternativním zdrojem. Při porovnání nákladů oproti elektřině není pochyb o tom, že právě elektřina značně sníží náklady na provoz na dané trati.

Náklady na vodíkový pohon jsou již přepočítány na spotřebu v celé délce tratě. Uvedené částky zohledňují výhled do roku 2030, kdy by měl stát 1 kg vodíku 36,54 Kč, z čehož plyne, že právě vodík je budoucnost pohonů, a to ve všech druzích dopravy. Největší bariérou zatím však zůstává jeho komplexní implementace do infrastruktury.

V posledním sloupci jsou tučně zvýrazněné teoretické částky nákladů na vodík na konkrétní trati, a to právě ty nejnižší ze všech zdrojů pohonů, z čehož vyplývá nepřekonatelná výhodnost oproti jiným palivům.

Závěr

Nekompromisní progrese evolučního a inovačního vývoje nenajde synergii s ŽP. Je proto nutné přijít se zdravou variantou omezení, která tkví v nalézání kompromisů mezi pokroky a udržitelným stavem Země.

Elektrická energie spadá mezi relativně žádoucí zdroje, avšak velkou pozornost strhává to, jakým způsobem je vyráběna. Produkce elektráren je žádoucí za předpokladu, že by bylo využito i ztrátových energií, které by bylo vhodné použít k dalším lidstvu přínosným činnostem.

Akumulátory, LPG, CNG, biomasa... jakákoliv alternativa pohonů na místo těch fosilních je žádoucí, avšak jak vyplývá z analýzy, efektivní budoucnost dle mého názoru naskýtá především vodík. Nosičem je voda a skrze anodu a katodu probíhá celý proces výroby vodíku. Jak lépe si představit jednoduchý zdroj ekologického a udržitelného procesu než právě v podobě vodíku.

Ačkoliv se v České republice jedná zatím o nový trend, který ještě není zcela zakomponován do infrastruktury a stále je spíše v procesu plánování než realizace, skrývá obrovský udržitelný potenciál. Náklady na výstavbu vodíkových stanic, výrobu a distribuci téměř čistého vodíku budou nemalé. Avšak návratnost těchto investic je téměř zaručená a z dlouhodobého hlediska přínosy, které ze zavedení vodíku mohou plynout budou nepřekonatelné.

Seznam zdrojů

- [1] *Primary energy - Statistical Review of World Energy* [online]. 30th edition 2021 [cit. 16 - 04 - 2022] Dostupné z: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
- [2] *Údaje o globální spotřebě energie v roce 2020 ukazují, že fosilní paliva zcela dominují světové spotřebě energie. Realistická energetika a ekologie.* [online]. 13.7.2021, © Copyright 2020 Realistická energetika a ekologie z.s. [cit. 16 - 04 - 2022] Dostupné z: <https://realisticka.cz/2021/07/13/udaje-o-globalni-spotrebe-energie-v-roce-2020-ukazuji-ze-fosilni-paliva-zcela-dominuji-svetove-spotrebe-energie/>
- [3] DRDLA, Pavel. *Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu.* Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014. 411 s. ISBN 978-80-7395-787-2.
- [4] ZELENÝ, Lubomír. *Osobní přeprava.* Praha: ASPI, 2007. 351 s. ISBN 978-80-7357-266-2.
- [5] PETRÁNEK Jan a kol. *Encyklopedie geologie.* Praha: Česká geologická služba, 2016. 349 s. ISBN 978-80-7075-901-1.
- [6] TYLER, Miller, G. (George Tyler). 1931- *Environmental science : problems, concepts, and solutions...* Belmont, CA: Brooks Cole xxi, 430, 84, 17, 20 s. [cit. 15 - 4 - 2022]. ISBN 0-495-38337-6, ISBN 978-0-495-38337-6, OCLC 180921161.
- [7] *When Fossil Fuels Run Out, What Then? - MAHB.* [online]. 23.5.2019, Copyright © 2022 Millennium Alliance for Humanity and Biosphere. [cit. 26 - 3 - 2022]. Dostupné z: <https://mahb.stanford.edu/library-item/fossil-fuels-run/>
- [8] *Světové emise CO₂ z fosilních paliv a výroby cementu. Fakta o klimatu.* [online]. © 2021 Otevřená data o klimatu, z. ú. [cit. 17 - 03 - 2022]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-fosilni-paliva>
- [9] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Ropná rafinerie.* [online]. c2022 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Ropn%C3%A1_rafinerie&oldid=21184903

- [10] *Jak vzniká benzin a nafta*. [online]. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <http://www.apu.cz/jak-vznika-benzin-a-nafta>
- [11] *Přehled emisních norem pro osobní automobily*. *Portál řidiče*. [online]. 11.5.2021, Copyright © Portalridice.cz [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.portalridice.cz/clanek/prehled-emisnich-norem-pro-osobni-automobily>
- [12] KOLÁŘ, P., MERVART, M., NOVÁK, R., RATHOUSKÝ, B. *City logistika*. Praha: Wolters Kluwer ČR, 2021, 117 s. ISBN 978-80-7676-212-1.
- [13] *When Fossil Fuels Run Out, What Then? - MAHB*. [online]. 23.5.2019, Copyright © 2022 Millennium Alliance for Humanity and Biosphere. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://mahb.stanford.edu/library-item/fossil-fuels-run/>
- [14] *Elektrická energie*. *Encyklopedie energetiky*. [online]. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/05/energie_2.html
- [15] SEDLÁK, Martin. *Akumulátor*. [online]. Copyright © 2022 SlidePlayer.cz [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2333397/>
- [16] HÁJEK, Martin. *Je degradace baterie zásadní problém elektromobilu? Tesla ukazuje, že jde o nesmysl*. *Elektrické vozy*. [online]. 12.8.2021, © 2011 - 2022 [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/elektromobil-tesla-degradace-baterie-pouhych-10-procent>
- [17] *Elektrická trakce - úvod do elektrické trakce*. *Educon*. [online]. © 2005 EDUCON [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.educon.zcu.cz/view.php?cislomodulu=2015013101>
- [18] *Co je to LPG?* [online]. © 2011 - 2022 [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.hungas.cz/odborne-informace/co-je-to-lpg>

- [19] Wikipedia: The Free Encyclopedia: *Liquefied petroleum gas*. [online]. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_petroleum_gas#:~:text=Liquefied%20petroleum%20gas%20%28LPG%2C%20LP%20gas%2C%20or%20condensate%29,gas%20in%20heating%20appliances%2C%20cooking%20equipment%2C%20and%20vehicles.
- [20] *Základní informace o LPG a o jízdě na zkapalněný ropný plyn*. [online]. © abcRedakce.cz [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://lpg-cng.ochranamotoru.cz/auta-jizda-slapni-na-plyn-ropny-lpg-propan-butan.htm>
- [21] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Stlačený zemní plyn*. [online]. c2021 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Stla%C4%8Den%C3%BD_zemn%C3%AD_plyn&oldid=20352284
- [22] *Legislativa*. [online]. 24.4.2022, © 2022 CNG+ [cit. 24 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.cngplus.cz/o-cng/legislativa.html>
- [23] *Biofuels explained. U.S. Energy Information Administration (EIA)*. [online]. 29.3.2022 [cit. 24 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/energyexplained/biofuels>
- [24] Wikipedia: Otevřená encyklopedie: *Biopalivo - Biofuel*. [online]. [cit. 24 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://cs.abcdef.wiki/wiki/Bioether#:~:text=Biopalivo%20je%20palivo%2C%20kter%C3%A9%20se%20vyr%C3%A1b%C3%AD%20sou%C4%8Dasn%C3%BDch%20proces%C5%AF,biomasu%20lze%20technicky%20pou%C5%BE%C3%ADt%20jako%20palivo%20p%C5%99%C3%ADmo%20%28nap%C5%99>.
- [25] PETRŽILKOVÁ, Martina. *Vliv typu alkoholu na množství ztrát esterů při transesterifikaci. Digitální knihovna UPCE* [online]. 4.7.2017 [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/69467/PetrzilkovaM_VlivTypu_MH_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [26] *Transport Biofuels - Analysis - IEA. IEA - International Energy Agency.* [online]. Copyright ©IEA [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/transport-biofuels>
- [27] ČERMÁK, Ladislav, TOMÍŠEK, Marek. *Historie hybridního pohonu v různých dopravních prostředcích.* [online]. 21.12.2021, Copyright © 2022 24net s.r.o. [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/historie-hybridniho-pohonu-v-ruznych-dopravnich-prostredcich-7539>
- [28] JIRKA, Tomáš. *Hybridní systémy pro pohon automobilů.* [online]. 27.10.2015, Copyright © 2021 oEnergetice.cz [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektromobilita/hybridni-systemy-pro-pohon-automobilu>
- [29] *Druhy elektromobilů - znáte je všechny?* [online]. 21.3.2019, © ŠKODA AUTO a.s. 2022 [cit. 24 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>
- [30] *Moderní technologie. Smart city v praxi.* [online]. [cit. 24 - 04 - 2022]. Dostupné z: http://www.smartcityvpraxi.cz/moderni_technologie_a20.php
- [31] *Vodíková strategie České republiky.* [online]. [cit. 24 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/2021/7/3VL-03-Vodikova-strategie_v030b.pdf
- [32] *Vodík: vlastnosti, výroba a využití.* [online]. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~nadhernl/projektIV/vodik.html>
- [33] *Advantages and Disadvantages of Hydrogen Energy. What is Hydrogen Energy? - Conserve Energy Future.* [online]. Copyright © 2022 [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://www.conserve-energy-future.com/advantages_disadvantages_hydrogenenergy.php
- [34] TOMÍŠEK, Marek, PULTZER, Martin. *Dává vodíkový pohon smysl? Nebo je budoucností elektromobilita? Elektromobily, autonomní řízení a doprava budoucnosti.* [online]. 29.6.2021, Copyright © 2022 24net s.r.o. [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/dava-vodikovy-pohon-smysl-nebo-je-budoucnosti-elektromobilita-7346>

- [35] *Proč vodík není správná cesta?* [online]. 17.12.2019 [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.teslafan.cz/clanky/proc-vodik-neni-spravna-cesta>
- [36] *Vodík jako budoucnost.* [online]. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/vodik-jako-budoucnost>
- [37] ZÍKOVÁ, Iva. *Alternativní pohony motorových vozidel.* [online]. Přerov: 2018. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://theses.cz/id/nswwsk/ZAVERECNA_PRACE_2015000013.pdf
- [38] *Vodík - palivo budoucnosti.* [online]. 3.3.2021, Copyright © 2001 [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vodik-palivo-budoucnosti>
- [39] *Elektrolýza a její aplikace.* [online]. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/2285>
- [40] *Historie a předchůdci SÚJB - Historie, vývoj a SÚJB, jak jej možná neznáte - O SÚJB.* [online]. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/o-sujb/15-let-sujb/historie-a-predchudci-sujb>
- [41] *World Uranium Mining Production.* [online]. September 2021, © 2016 - 2022 World Nuclear Association [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx>
- [42] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Těžba uranu.* [online]. c2022 [citováno 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=T%C4%9B%C5%BEba_uranu&oldid=21076157
- [43] *World Uranium Mining Production.* [online]. September 2021, © 2016 - 2022 World Nuclear Association [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx>
- [44] *Thorium.* [online]. November 2020, © 2016 - 2022 World Nuclear Association [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/thorium.aspx>

- [45] HARRISON, Stephen B. *Pyrolysis for waste to hydrogen and products - Recycling magazine*. [online]. 16.3.2021, Copyright © DETAIL Business Information GmbH [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.recycling-magazine.com/2021/03/16/pyrolysis-for-waste-to-hydrogen-and-products/>
- [46] KOZUBÍK, Viktor. *Využití vodíku jako alternativního zdroje energie pro automobilovou dopravu*. [online]. Brno: 2017. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://theses.cz/id/0vz47g/zaverecna_prace.pdf
- [47] *Jak fungují palivové články?* [online]. 22.2.2018, © Copyright Topinfo s.r.o. 2001 - 2022 [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/16987-jak-funguji-palivove-clanky>
- [48] *Skladování vodíku. Vývojové, konstrukční a prototypové služby v oblasti automotive*. [online]. 16.8.2019, Copyright © [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/skladovani-vodiku/>
- [49] *Strategická výzkumná agenda rozvoje vodíkového hospodářství v ČR*. [online]. Únor 2010, © 2022 Česká vodíková technologická platforma [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/SVA_HYTEP.pdf
- [50] *Jak na domácí nabíjení elektromobilu*. [online]. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/jak-na-domaci-nabijeni-elektromobilu>
- [51] *Velké porovnání alternativních pohonů: Elektřina, CNG, nebo vodík?* [online]. 14.12.2019, © 2018 MZONE. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.mzone.cz/velke-porovnani-alternativnich-pohonu-elektrina-cng-nebo-vodik>
- [52] *ČEZ - ceníky*. [online]. Copyright © 2022, ČEZ, a. s. [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky.html>
- [53] *Lidé mají zájem o auta na biopalivo E85, loni se jich prodalo 345*. [online]. 11.4.2012, Copyright © [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/auto/lide-maji-zajem-o-auta-na-biopalivo-e85-loni-se-jich-prodalo-345-20120411-11nh.html>

- [54] EVROPSKÁ KOMISE. Sdělení komise Evropskému parlamentu, Evropské radě, radě Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů. *Zelená dohoda pro Evropu*. [online]. 2019 [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0010.02/DOC_1&format=PDF. BELGIE. COM (2019) 640 final. In: *EUR - Lex*. Brusel: Evropská komise, 2019. Dostupné také z: <https://pravni prostor.cz/>.
- [55] PLOMER, Jan. *Vodík na železnici*. In: Workshop. Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Česká železnice a alternativní paliva. Udržitelná mobilita - nevratný posun k mobilitě s nulovými emisemi. Vodík jako palivo budoucnosti? Pohled dopravce. [online]. 24.6.2021 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: WORKSHOP 24. června 2021, Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Path: homepage; workshop České dráhy, a.s.; 24.6.2021.
- [56] POHL, Jiří. *Systémové souvislosti vodíkových technologií*. In: Workshop. Fakulta dopravní ČVUT v Praze. [online]. 24.6.2021 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: WORKSHOP 24. června 2021, Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Path: homepage; workshop Siemens Mobility; 24.6.2021.
- [57] POHL, Jiří. *Systémové souvislosti vodíkových technologií*. In: Workshop. Fakulta dopravní ČVUT v Praze. [online]. 24.6.2021 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: WORKSHOP 24. června 2021, Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Path: homepage; workshop Siemens Mobility; 24.6.2021.
- [58] PLOMER, Jan. *Vodík na železnici*. In: Workshop. Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Česká železnice a alternativní paliva. Udržitelná mobilita - nevratný posun k mobilitě s nulovými emisemi. Vodík jako palivo budoucnosti? Pohled dopravce. [online]. 24.6.2021 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: WORKSHOP 24. června 2021, Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Path: homepage; workshop České dráhy, a.s.; 24.6.2021.
- [59] *The way is paved for Mireo Plus H*. [online]. Copyright © Siemens Mobility 2022 [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/stories/alternative-drives-the-way-is-paved-for-mireo-plus-h.html>

- [60] *Siemens Mobility Mireo wins German Sustainability Award Design*. [online]. Berlin: 4.12.2020, Copyright © Siemens Mobility [cit. 26 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:47b2551e-8c0e-4bbf-9ad1-ce68de6e1302/HQMOPR202012046079EN.pdf>
- [61] *Mireo Plus B For NEB*. [online]. Copyright © Railway Public s.r.o. [cit. 26 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.railvolution.net/news/mireo-plus-b-for-neb>
<https://www.railvolution.net/news/mireo-plus-b-for-neb>
- [62] *Siemens Mireo Plus H Fuel Cell Hydrogen Train - The Middle Distance Champion - FuelCellsWorks*. [online]. 17.11.2020, Copyright © 1999 [cit. 26 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://fuelcellsworks.com/news/siemens-mireo-plus-h-fuel-cell-hydrogen-train-the-middle-distance-champion/>
- [63] *Coradia iLint - Hydrogen Fuel Cell Train. American Public Transportation Association. Rail Conference*. [online]. Copyright © [cit. 23 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://www.apta.com/wp-content/uploads/Coradia-iLint-%E2%80%93-Hydrogen-Fuel-Cell-Train_James_Varney-1.pdf
- [64] HOLÝ, Tomáš. *Vodík na železnici/Alstom*. In: Workshop. Fakulta dopravní ČVUT v Praze. [online]. 24.6.2021 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: WORKSHOP 24. června 2021, Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Path: homepage; workshop Alstom; 24.6.2021.
- [65] SŮRA, Jan. *Česko čeká premiéra vodíkového vlaku. Alstom přiveze v květnu jednotku Coradia iLint*. [online]. 13.2.2022, Copyright © [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/cesko-ceka-premiera-vodikoveho-vlaku-alstom-priveze-v-kvetnu-jednotku-coradia-ilint-104297/>
- [66] MIKOLÁŠ, Pavel. *Bimodální vozidla a Flirt*. In: Workshop. Fakulta dopravní ČVUT v Praze. [online]. 24.6.2021 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: WORKSHOP 24. června 2021, Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Path: homepage; workshop Stadler Praha; 24.6.2021.
- [67] *Stadler - Annual report*. [online]. Copyright ©5P [cit. 26 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://www.stadlerrail.com/media/pdf/web_stadler_gb_2021_en.pdf

- [68] *HybridShunter 1000. CZ LOKO a.s.* [online]. Copyright © [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.czloko.cz/produkty/lokomotivy/hybridshunter-1000.htm>
- [69] *Česká firma vyvíjí lokomotivu na vodíkový pohon. Hybrid.cz - Elektromobily, hybridy, Tesla, Volkswagen, Škoda* [online]. 22.11.2021, © 2006–2022 Hybrid.cz [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/ceska-firma-vyviji-lokomotivu-na-vodikovy-pohon/>
- [70] *Focused on Efficiency. Mireo Smart.* [online]. [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:3a02c155-f27e-4d59-8bcd-2413bbfbcc50/mo-mireo-smart-datenblatt-en.pdf?fbclid=IwAR31fD-Kui6jfDDh31tYV2VH0tPr623aTd7UY6_NV6ernQWC_gTHT2Hzac
- [71] *Siemens Mireo Trainsets, Germany. Railway Technology. Rail & Train News & Views Updated Daily* [online]. 30.3.2020, Copyright © 2022 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.railway-technology.com/projects/siemens-mireo-trainsets/>
- [72] *Siemens Mobility získal první objednávku na bateriově napájené jednotky Mireo.* [online]. Copyright © Siemens 1996 [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.siemenspress.cz/siemens-mobility-ziskal-prvni-objednavku-na-bateriove-napajene-jednotky-mireo/>
- [73] *K612 - Ústav dopravních systémů, Projekt: 12X1MT Moderní trendy v železniční dopravě. Analýza technických a provozních možností vozidel s alternativními pohony v železniční dopravě. ČVUT v Praze Fakulta dopravní.* [online]. 2019/2020 [cit. 26 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://www.fd.cvut.cz/projects/k612x1mt/semestralky/alt-pohony-jck_analyza%20vozidla2020.pdf
- [74] *Mireo Plus B For NEB.* [online]. 15.11.2021, Copyright © Railway Public s.r.o. [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.railvolution.net/news/mireo-plus-b-for-neb>
- [75] FRIXEN, Andreas. *Hydrogen trains. Proposed by the UIC Energy efficiency and CO₂ Emissions Sector.* [online]. 12.5.2021 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://uic.org/events/IMG/pdf/hydrogen_trains-slides-v1_compressed.pdf

- [76] *Coradia iLint completed 1 year and a half trial operation in Germany.* [online]. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: [read://https_www.railwaypro.com/?url=https%3A%2F%2Fwww.railwaypro.com%2Fwp%2Fcoradia-ilint-completed-1-year-and-a-half-trial-operation-in-germany%2F](https://www.railwaypro.com/?url=https%3A%2F%2Fwww.railwaypro.com%2Fwp%2Fcoradia-ilint-completed-1-year-and-a-half-trial-operation-in-germany%2F)
- [77] *FLIRT AKKU Research Project Completed. News–Railvolution.* [online]. 2.4.2021, Copyright © Railway Public s.r.o. [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.railvolution.net/news/flirt-akku-research-project-completed?fbclid=IwAR0RS2XhZyAhuTytfWggxXqBpm1DvQA7bi-zEHH61-BHI2CURpk7Y1Cqn8k>
- [78] *FLIRT200.* [online]. [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.stadlerrail.com/en/products/detail-all/flirt200/55/>
- [79] *K612 - Ústav dopravních systémů, Projekt: 12X1MT Moderní trendy v železniční dopravě. Analýza technických a provozních možností vozidel s alternativními pohony v železniční dopravě. ČVUT v Praze Fakulta dopravní.* [online]. 2019/2020 [cit. 26 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://www.fd.cvut.cz/projects/k612x1mt/semestralky/alt-pohony-jck_analyza%20vozidla2020.pdf
- [80] *EffiShunter 1000.* [online]. [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.czloko.cz/produkty/lokomotivy/effishunter-1000.htm>
- [81] *DualShunter 2000.* [online]. [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.czloko.cz/produkty/lokomotivy/dualshunter-2000.htm>
- [82] SŮRA, Jan. *První česká lokomotiva na vodík.* [online]. 22.11.2021, Copyright © 2017 [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/prvni-ceska-lokomotiva-na-vodik-cz-loko-vyvijji-hydrogenshunter-1000-97245/>
- [83] *Trakční elektřina.* [online]. Copyright © 2022 Správa železnic, státní organizace [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/dodavatele-odberatele/energetika/trakcni-elektrina>
- [84] *Dopravce a jeho zúčtování.* [online]. Copyright © 2022 Správa železnic, státní organizace [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné

z: <https://www.spravazeleznic.cz/dodavatele-odberatele/energetika/trakcni-elektrina/dopravce-a-jeho-zuctovani>

- [85] *V ČR má být podle plánu 80 vodíkových plnicích stanic do roku 2030.* [online]. 28.3.2022, Copyright © 2022 ČTK [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/v-cr-ma-byt-podle-planu-80-vodikovych-plnicich-stanic-do-roku-2030/2182557>
- [86] *Porovnání parametrů lokomotiv ř. 363 a 362 ČD/ZSSK pro soustavy 3 kVss a 25 kV, 50Hz.* [online]. © SPŽ [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://spz.logout.cz/vozidla/363/data363.html>
- [87] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Železniční trať Plzeň–Cheb.* [online]. c2022 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AAD_tra%C5%A5_Plze%C5%88%E2%80%93Cheb&oldid=20860276
- [88] NAVAS, Carlos. *Development of Business Cases for Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities* [online]. Copyright © [cit. 28.04.2022]. Dostupné z: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/171121_FCH2JU_Application-Package_WG1_Trains%20%28ID%202910561%29%20%28ID%202911647%29.pdf
- [89] GRECMAN, Daniel. *EU chce dostat cenu zeleného vodíku do roku 2030 pod 2 EUR/kg.* [online]. 4.12.2021, Copyright © 2021 [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/komoditni-trhy/eu-chce-dostat-cenu-zeleneho-vodiku-roku-2030-2-eur-kg>
- [90] *Cena vody 2022 - cenová mapa. PRAVDA O VODĚ.* [online]. Copyright © 2014-2017 [cit. 25 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://pravdaovode.cz/cena-vody/?gclid=Cj0KCQjw6J-SBhCrARIsAH0yMZjHkNN6aCW3vzEJ_WNZYvhGw-b-Q_BGe0mSBUmjCZ01SS6htDOCWl8aAip-EALw_wcB
- [91] *Výkup elektřiny z decentralních zdrojů.* [online]. Copyright © 2022, ČEZ, a. s. [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/firmy/cs/vykup-elektriny-z-decentralnich-zdroju.html>

- [92] *Kurz Eura, Euro EUR, aktuální kurzy koruny a měn.* [online]. [cit. 03 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/nejlepsi-kurzy/EUR-euro/>
- [93] KOVANDA, Radek. Vodíková revoluce. In: *Týdeník Euro*. Praha: Mladá fronta, 2022. (7 - 8). s. 38 - 39. ISSN 1212-3129.
- [94] ŠVESTKA, David. *Lokomotiva řady 372, 371 (ES 499.2).* [online]. Copyright © David Švestka [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-372.html>
- [95] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Železniční trať Praha–Děčín.* [online]. c2022 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AAD_tra%C5%A5_Praha%E2%80%93D%C4%9B%C4%8D%C3%ADn&oldid=21040811
- [96] *Spotřeba paliva.* [online]. Copyright © 2022 ADOC.PUB. [cit. 12 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://adoc.pub/spoteba-paliva-a-jeji-meni-je-jedna-z-nejdleitjich-uitnych-v.html>
- [97] ŠVESTKA, David. *Lokomotivní řada 754 (T 478.4).* [online]. Copyright © David Švestka [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-754.html>
- [98] RÁKOSNÍK Jakub. *Obnova vozidlového parku motorových lokomotiv českých železničních dopravců.* [online]. Pardubice: 2009. [cit. 03 - 05 - 2022]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/34359/RakosnikJ_Obnova%20vozdloveho_JJ_2009.pdf?sequence=1
- [99] *Kolik váží 1 litr paliva?* [online]. [cit. 18 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.poradte.cz/auto-moto/13050-kolik-vazi-1-litr-paliva.html>
- [100] *České dráhy, a. s. - zařízení služeb.* [online]. Copyright © 2007 České dráhy, a. s. [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: http://www.ceskedrahy.cz/nase-cinnost/ostatni-cinnosti-a-servis/zarizeni_sluzeb/-29800/
- [101] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Železniční trať Česká Třebová - Přerov* [online]. c2022 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AD_tra%C5%A5_%C4%8Cesk%C3%A1_T%C5%99ebov%C3%A1_%E2%80%93_P%C5%99erov&oldid=21171926

- [102] Příručka pro strojvedoucí: *Motorová souprava RegioNova 814 + 914*. [online]. DKV Ústí nad Labem 2007, 2. vydání [cit. 03 - 05 - 2022]. Dostupné z: <https://doczz.cz/doc/143484/n%C3%A1vod-na-obsluhu-1.%C4%8D%C3%A1st>.
- [103] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Železniční trať Otrokovice–Vizovice*. [online]. c2021 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AD_tra%C5%A5_Otrokovice%E2%80%93Vizovice&oldid=20722334
- [104] ŠVESTKA, David. *842 M 273.2*. [online]. Copyright © David Švestka [cit. 14 - 04 - 2022]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-842.html>
- [105] *Popis trati 340 Brno - Uherské Hradiště - Česká republika*. [online]. Copyright © [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/trate/ceska-republika/trat-340?lang=cs>
- [106] RICHTR, Tomáš. *Současnost trati - Trať 180: Plzeň - Domažlice - Furth im Wald*. [online]. Copyright © 2007 [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <http://www.trat-180.wz.cz/trat.php>
- [107] *Motorový vůz řady 810*. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/7090574-Motorovy-vuz-rady-810-zachrance-nasich-lokalek.html>
- [108] *ČD představily motorové vozy pro Vysočinu a Liberecký kraj*. [online]. Copyright © [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/zpravy/7711?oddil=1&lang=cs>
- [109] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Železniční trať Bzenec - Moravský Písek*. [online]. c2021 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AD_tra%C5%A5_Bzenec_%E2%80%93_Moravsk%C3%BD_P%C3%ADsek&oldid=20590608

- [110] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Motorové vozy 850 a 851*. [online]. c2021 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Motorov%C3%A9_vozy_850_a_851&oldid=20420521
- [111] *Motorové vozy řady M286.0 „krokodýl“*. [online]. [cit. 21 - 04 - 2022]. Dostupné z: <http://www.ld-trutnov.cz/vozidla/prehledy-vozidel/motorove-vozy/m286-0/>
- [112] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Železniční trať Olomouc - Opava východ*. [online]. c2021 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%A9_tra%C5%A5_Olomouc_%E2%80%93_Opava_v%C3%BDchod&oldid=20500784
- [113] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Železniční trať Šumperk–Krnov*. [online]. c2022 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%A9_tra%C5%A5_%C5%A0umperk%E2%80%93Krnov&oldid=21081325
- [114] *M05*. [online]. Copyright © 2022 [cit. 28 - 04 - 2022]. Dostupné z: <https://provoz.spravazeleznic.cz/portal/viewarticle.aspx?oid=594598>

Seznam grafických objektů

Obrázek

Obr. 4.1	Využití energie větru	53
Obr. 4.2	Mireo	55
Obr. 4.3	Mireo Plus B	56
Obr. 4.4	Coradia iLint	57
Obr. 4.5	Stadler FLIRT	58
Obr. 4.6	HydrogenShunter 1000.....	59
Obr. 4.7	Čísla tratí a systémy trakčních soustav	99
Obr. 4.8	Návrh výhledové elektrifikace	60

Schéma

Schéma 3.1	Sériový hybrid.....	24
Schéma 3.2	Paralelní hybrid	24
Schéma 3.3	Průběh elektrolýzy	32
Schéma 3.4	Princip palivového článku	35
Schéma 4.1	Schéma technických zařízení s uzpůsobenou vzbou.....	49
Schéma 4.2	Mireo Plus B a Mireo Plus H	50
Schéma 4.3	Přestavba dieselového pohonu na vodíkový pohon	52

Tabulka

Tab. 1.1	Tabulka emisních tříd	14
Tab. 3.1	Základní fyzikálně - chemické vlastnosti	28
Tab. 3.2	Podíl na celkové produkci uranu	33
Tab. 3.3	Odhadované světové zdroje thoria	33
Tab. 3.4	Srovnání jednotlivých druhů pohonů	40
Tab. 3.5	Seřazení pohonů	42

Tab. 4.1	Míreo	55
Tab. 4.2	Míreo Plus B	56
Tab. 4.3	Coradia iLint.....	57
Tab. 4.4	Stadler FLIRT	58
Tab. 4.5	HydrogenShunter 1 000 (platforma EffiShunter 1 000).....	59
Tab. 4.6	Schálená studie proveditelnosti elektrifikace	100
Tab. 4.7	Měsíční statistika	61
Tab. 4.8	Ceny za elektrickou energii	61
Tab. 4.9	Technické údaje lokomotivy řady 362	62
Tab. 4.10	Náklady na provoz.....	63
Tab. 4.11	Trat' 178	63
Tab. 4.12	Technické údaje lokomotivy řady 371	64
Tab. 4.13	Náklady na provoz.....	64
Tab. 4.14	Trat' 090	64
Tab. 4.15	Technické údaje lokomotivy řady 754	65
Tab. 4.16	Náklady na provoz.....	66
Tab. 4.17	Trat' 270	67
Tab. 4.18	Technické údaje motorové jednotky řady 814	67
Tab. 4.19	Náklady na provoz.....	68
Tab. 4.20	Trat' 331	68
Tab. 4.21	Technické údaje motorový vůz řady 842	69
Tab. 4.22	Náklady na provoz.....	69
Tab. 4.23	Trat' 340	70
Tab. 4.24	Technické údaje lokomotivy 754	70
Tab. 4.25	Náklady na provoz.....	71
Tab. 4.26	Trat' 180	71

Tab. 4.27 Technické údaje motorový vůz řady 810	72
Tab. 4.28 Náklady na provoz.....	72
Tab. 4.29 Trať 342	73
Tab. 4.30 Technické údaje motorový vůz 851.....	73
Tab. 4.31 Náklady na provoz.....	74
Tab. 4.32 Trať 310	74
Tab. 4.33 Technické údaje motorový vůz řady 842	75
Tab. 4.34 Náklady na provoz.....	75
Tab. 4.35 Trať 292	76
Tab. 4.36 Porovnání nákladů na provoz hnacích vozidel	77

Seznam zkratek

AC	střídavý proud
AdBlue	syntetická močovina
atm.	atmosféra
BEMU	bateriová elektrická železniční jednotka
BEV	Battery Electric Vehicle; bateriové elektrické vozidlo
CNG	Compressed Natural Gas; stlačený zemní plyn
CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
ČD	České dráhy, a.s.
DBH	diesel - baterie hybrid
DC	stejnoseměrný proud
DMU	dieselová jednotka
DPH	daň z přidané hodnoty
EDB	elektrodynamická brzda
EGR	Exhaust Gas Recirculation; recirkulace výfukových plynů
EHV/EJ	elektrická hnací vozidla/elektrická jednotka
EMS	měření spotřeby trakční elektřiny
EMU	elektrický vůz
ETCS	European Train Control System; Evropský vlakový zabezpečovací systém
EU	Evropská unie
FC	palivový článěk
FCEV	Fuel - cell Electric Vehicle; elektrické vozidlo s palivovými články
GWP	global warming potential; globální oteplování
H ₂	vodík

HC	uhlovodík
HDP	hrubý domácí produkt
hm.	hmotnost
HMU	vodíková jednotka
IEA	Mezinárodní energetická agentura
LPG	Liquified Petroleum Gas; zkapalněný ropný plyn
LTO	lithium - titanate oxide; lithiový akumulátor
max.	maximálně
MD ČR	Ministerstvo dopravy ČR
MHD	Městská hromadná doprava
mil.	milion
min.	minut/minimálně
MPO ČR	Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR
N	náklady
NO _x	oxid dusíku
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle; plugin hybridní elektrické vozidlo
PHM	pohonné hmoty
PM	pevné částice
SCR	Selective Catalytic Reduction; Selektivní Katalycká Redukce
SŽ	Správa železnic, státní organizace
TBH	trakce - baterie hybrid
TEE	trakční elektrická energie
TEN-T	transevropská dopravní síť
tis.	tisíc
USA	Spojené Státy Americké
ŽP	životní prostředí

Seznam příloh

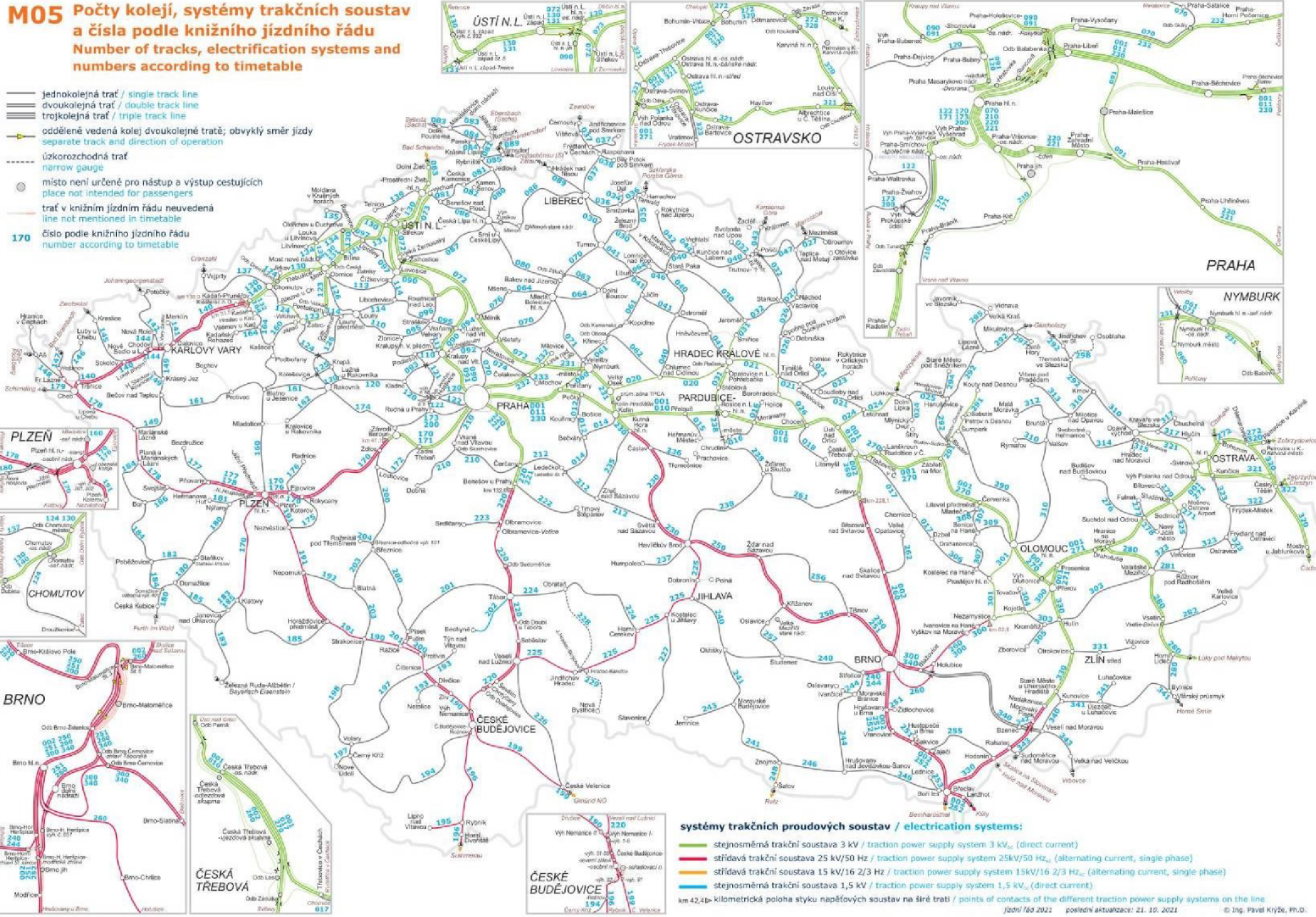
Příloha A **Obr. 4.7 Čísla tratí a systémy trakčních soustav**

Příloha B **Tab. 4.6 Schválená studie proveditelnosti elektrifikace**

Čísla tratí a systémy trakčních soustav

M05 Počty kolejí, systémy trakčních soustav a čísla podle knižního jízdního řádu Number of tracks, electrification systems and numbers according to timetable

- jednokolejná trať / single track line
- == dvoukolejná trať / double track line
- === trojkolejná trať / triple track line
- oddělená vedená kolej dvoukolejně tratě; obvyklý směr jízdy
separate track and direction of operation
- úzkorozchodná trať
narrow gauge
- místo není určeno pro nástup a výstup cestujících
place not intended for passengers
- trať v knižním jízdním řádu neuvedená
line not mentioned in timetable
- 170 číslo podle knižního jízdního řádu
number according to timetable



Obr. 4.7 Čísla tratí a systémy trakčních soustav

Zdroj: [114].

Schválená studie proveditelnosti elektrifikace

Tab. 4.6 Schválená studie proveditelnosti elektrifikace

Trat'	Ze stanice	Do stanice	Délka k elektrizaci km
021	Týniště	Častolovice	8
021	Častolovice	Solnice	15
070	Praha Vysočany	Všetaty	34
071	Nymburk	Mladá Boleslav	30
093	Kladno	Kladno - Ostrovec	4
120	Praha - Bubny	Kladno	29
124	Březno	Chomutov	11
132	Kadaň - Pruněrov	Kadaň předměstí	6
134	Louka u Litvínova	Litvínov	2
179	Cheb	Pomezí nad Ohří st.hr.	11
180	Plzeň - Jižní předměstí	Domažlice	58
180	Domažlice	Česká Kubice st.hr.	15
181	Nýřany	Heřmanova Huť	10
201	Písek	Písek město	4
226	Veselí nad Lužnicí	České Velenice	55
240	Brno - Horní Heršpice	Zastávka u Brna	20
253	Hrušovany u Brna	Židlochovice	3
254	Šakvice	Hustopeče	7
262	Skalice nad Svitavou	Boskovice	5
290	Olomouc	Šumperk	57
303	Kojetín	Hulín	17
323	Ostrava - Kunčice	Frýdlant nad Ostravicí	24
323	Frýdlant nad Ostravicí	Valašské Meziříčí	40
324	Frýdlant nad Ostravicí	Ostravice	7
325	Sedlnice	Štramberk	15

Trat'	Ze stanice	Do stanice	Délka k elektrizaci km
331	Otrokovice	Vizovice	25
340	Blažovice	Veselí nad Moravou	70
340	Uherské Hradiště	Veselí nad Moravou	14
340	Kunovice	Kunovice zastávka	2
341	Staré město u U.H.	Újezdec	28
341	Újezdec	Luhačovice	10
341	Újezdec	Bojkovice město	10
342	Bzenec	Moravský písek	4
Σ			650

Zdroj: vlastní zpracování dle [57].

Autorka DP	Bc. Jolana Klevetová
Název DP	Alternativní zdroje pohonu u hnacích kolejových vozidel
Studijní obor	Logistika
Rok obhajoby DP	2022
Počet stran	69
Počet příloh	2
Vedoucí DP	prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D., DBA
Anotace	V rámci naplňování cílů evropské úmluvy Green Deal budou řešeny alternativní pohony hnacích vozidel. Budou posouzeny přístupy jednotlivých zemí v jejich zavádění v EU. Důraz bude kladen na zavádění vodíkových systémů pohonu. Na základě zhodnocení jednotlivých přístupů k alternativním pohonům budou vyhodnoceny jejich pozitiva a negativa.
Klíčová slova	Green Deal, alternativní pohony, kolejová vozidla, vodíkové pohony
Místo uložení	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
Signatura	