

Vysoká škola logistiky o.p.s.

Emisní normy v silniční nákladní dopravě

(Diplomová práce)



**Vysoká škola
logistiky**
o.p.s.

Zadání diplomové práce

studentka **Bc. Lenka Pospíšilová**

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: **Emisní normy v silniční nákladní dopravě**

Cíl práce:

Zpracovat analýzu standardních a alternativních pohonů silničních nákladních vozidel a vyhodnotit nejlepší variantu z hlediska ekonomického a ekologického.

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 řešeného problému
2. Analýza pohonů silničních nákladních vozidel
3. Zpracování návrhu
4. Ekonomické a ekologické vyhodnocení návrhu

Závěr

Rozsah práce: 55 – 70 normostran textu

Seznam odborné literatury:

NOVÁK, Radek. Mezinárodní kamionová doprava a zasilatelství. Praha: C.H. Beck, 2013. ISBN 978-80-7400-514-5.

MATĚJOVSKÝ, Vladimír. Automobilová paliva. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0350-5.

VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.

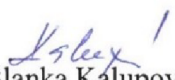
Datum zadání diplomové práce:

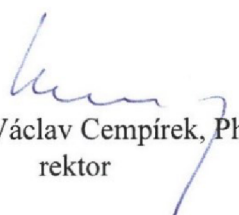
31. 10. 2022

Datum odevzdání diplomové práce:

6. 5. 2023

Přerov 31. 10. 2022


Ing. Blanka Kálupová, 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. 121/2000 Sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola logistiky o.p.s. nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro pedagogické, vědecké a prezentační účely školy. Užiji-li svou 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 poučena 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 a verze nahraná do informačního systému školy jsou totožné.

V Přerově, dne 6. 5. 2023


.....

Poděkování

Ráda bych poděkovala zejména vedoucímu práce, prof. Ing. Václavu Cempírkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky. Velké poděkování patří také prodejcům nákladních vozidel společností DAF, Volvo a Scania, kteří mi poskytli potřebné materiály a informace. Dále chci poděkovat i mé rodině, která mě při studiu podporovala.

Anotace

V diplomové práci je zpracována problematika emisních norem v silniční nákladní dopravě. V první kapitole jsou popsána teoretická východiska řešeného problému. Další kapitola se věnuje analýze pohonů silničních nákladních vozidel. Třetí kapitola obsahuje zpracování návrhu a poslední částí je ekonomické a ekologické vyhodnocení návrhu. Cílem diplomové práce je zpracovat analýzu standardních a alternativních pohonů silničních nákladních vozidel a vyhodnotit nejlepší variantu z hlediska ekonomického a ekologického.

Klíčová slova

nákladní vozidlo, naftový pohon, alternativní pohon, emise, CNG, LNG

Annotation

The issue of emission standards in road freight transport is processed in the diploma thesis. The first chapter describes the theoretical basis of the solved problem. The next chapter is devoted to the analysis of the drives of road trucks. The third chapter contains the processing of the proposal and the last part is the economic and ecological evaluation of the proposal. The aim of the diploma thesis is to analyze standard and alternative drives of road trucks and to evaluate the best option from an economic and ecological point of view.

Keywords

truck, diesel drive, alternative drive, emission, CNG, LNG

Obsah

Úvod.....	9
1 Teoretická východiska řešeného problému	10
1.1 Emise.....	10
1.1.1 Emise v silniční dopravě.....	11
1.1.2 Složení výfukových emisí.....	12
1.2 Emisní normy EURO	13
1.2.1 Norma EEV.....	14
1.2.2 Norma EURO VI	14
1.2.3 Norma EURO VII.....	15
1.3 Legislativa ke snížení skleníkových plynů	15
1.3.1 Pařížská dohoda	15
1.3.2 Zelená dohoda pro Evropu.....	16
1.3.3 Národní akční plán čisté mobility	18
1.4 Druhy paliv.....	19
1.4.1 Konvenční (standardní) paliva.....	20
1.4.2 Alternativní paliva	22
2 Analýza pohonů silničních nákladních vozidel	31
2.1 Typy pohonů silničních nákladních vozidel	31
2.1.1 Naftový pohon	31
2.1.2 Plynový pohon (CNG, LNG).....	33
2.1.3 Elektrický bateriový pohon (BEV).....	34
2.1.4 Hybridní pohon (HEV, PHEV).....	36
2.1.5 Vodíkový pohon	37
2.2 Analýza alternativních pohonů u zvolených výrobců nákladních vozidel.....	38
2.2.1 DAF	38
2.2.2 SCANIA.....	42

2.2.3	VOLVO	44
2.2.4	RENAULT	47
2.2.5	MAN	48
2.2.6	MERCEDES BENZ	49
2.2.7	Vyhodnocení nabídky alternativních pohonů u zvolených výrobců nákladních vozidel	50
3	Zpracování návrhu	53
3.1	Charakteristika nákladních vozidel	53
3.1.1	Naftový pohon	53
3.1.2	CNG pohon	55
3.1.3	LNG pohon	56
3.1.4	Bateriové elektrické vozidlo	57
3.2	Trasa CZ – DE	58
3.2.1	Naftový pohon	59
3.2.2	CNG pohon	60
3.2.3	LNG pohon	60
3.2.4	Bateriové elektrické vozidlo	61
3.3	Analýza provozu vozidel podle druhu pohonu za 5 let	62
4	Ekonomické a ekologické vyhodnocení návrhu	64
4.1	Vyhodnocení trasy CZ – DE	64
4.2	Vyhodnocení provozu vozidel za 5 let	65
4.3	Ekonomické vyhodnocení	67
4.4	Ekologické vyhodnocení	68
	Závěr	69
	Seznam zdrojů	71
	Seznam grafických objektů	74
	Seznam zkratek	76

Úvod

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku týkající se emisních norem v silniční nákladní dopravě. Hlavním cílem práce je zpracovat analýzu standardních a alternativních pohonů silničních nákladních vozidel a vyhodnotit nejlepší variantu z hlediska ekonomického a ekologického. Diplomová práce je rozdělena do čtyř hlavních kapitol.

V první kapitole jsou popsána teoretická východiska řešeného problému. Konkrétně je vysvětlen pojem emise či složení výfukových plynů, dále jsou charakterizovány jednotlivé emisní normy EURO, následně je představena legislativa ke snížení skleníkových plynů, jako Pařížská dohoda, Zelená dohoda nebo Národní akční plán čisté mobility. Jako poslední jsou rozčleněna paliva na konvenční a alternativní typy a zjištěna jejich dostupnost. V druhé kapitole je zpracována analýza pohonů silničních nákladních vozidel, ve které jsou představeny a stručně vysvětleny principy fungování standardních a alternativních pohonů. Následně je provedena analýza nabízených alternativních pohonů u vybraných výrobců nákladních vozidel a vyhodnocení jejich nabídky. V třetí části zpracování návrhu jsou ověřena data, se kterými se v diplomové práci pracuje a porovnány standardní a alternativní nákladní vozidla v reálných podmínkách. Nejprve jsou představeny tahače, které jsou následně vyslány na trasu z Prostějova do Frankfurtu nad Mohanem a zpět. Nakonec je provedena analýza provozu těchto vozidel za 5 let. V poslední kapitole je na základě poznatků provedeno vyhodnocení z ekonomického a ekologického hlediska. Nejdříve je vyhodnocena trasa, následně pětiletý provoz nákladních vozidel a jako závěrečné je celkové vyhodnocení z pohledu ekonomického i ekologického.

Emisní normy mají významný vliv na výrobce nákladních vozidel. Zavedení přísnějších emisních norem zvyšuje náklady na nová nákladní vozidla, zejména kvůli vývoji nových technologií a testování vozidel. Zároveň však zpřísnění emisních norem přináší výrobcům příležitosti k inovacím, které mohou snižovat množství škodlivých látek vypouštěných do ovzduší. To má pozitivní dopad na lidské zdraví a celkovou kvalitu životního prostředí.

1 Teoretická východiska řešení problému

Hlavním bodem této kapitoly je teoretické uvedení do problematiky emisních norem v silniční nákladní dopravě. V první kapitole jsou definovány pojmy jako emise, imise, emisní normy či představení legislativy důležité ke snížení skleníkových plynů. Dále jsou emisní normy rozděleny do kategorií EURO podle množství vyprodukovaných emisí. Na závěr kapitoly jsou specifikována paliva na konvenční a alternativní.

1.1 Emise

Emise jsou látky znečišťující ovzduší. Maximální koncentraci mají u svého zdroje (výfuk, komín...), ale mísením se vzduchem se jejich koncentrace postupně snižuje. Emise představují množství znečišťujících látek postupně se dostávajících z různých zdrojů do ovzduší. Převážně při spalování fosilních paliv, spalování odpadu a úniku plynných látek z průmyslových objektů a domácností. Důležitým pojmem je emisní limit, což je nejvyšší přípustné množství znečišťující látky, která může být vypuštěna do ovzduší. [1]

Emise dělíme na primární a sekundární. Primární emise jsou látky vypouštěné přímo ze zdroje do ovzduší a mohou reagovat s jinými látkami. Dále se dělí na emise vytvořené lidskou činností a emise přírodního charakteru. Emise vytvořené lidskou činností jsou produkované silniční dopravou, průmyslovou výrobou a zemědělstvím. Emise přírodního charakteru vznikají při bouřích a vulkanické činnosti. Druhým typem jsou sekundární emise, které vznikají atmosférickými reakcemi (např. ultrafialové záření Slunce) vytvářející emise pomocí fotoaktivace. [2]

Dalším typem emise je imise definována podle zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší jako úroveň znečištění, která je vyjádřena hmotnostní koncentrací znečišťující látky v ovzduší. Imise jsou v bezprostředním kontaktu s příjemcem, kterým může být člověk, zvíře, půda apod. Imise je tedy emise, která se dostala do přímého kontaktu s životním prostředím a dále se kumuluje v půdě, vodě nebo v organismech. V silniční dopravě jsou to například znečišťující látky, které se ukládají podél silnic. Imise se drží na zemském povrchu a převážně ve městě je jejich výskyt pravidelně monitorován. Maximální přípustná úroveň znečištění ovzduší je imisní limit. [1]

1.1.1 Emise v silniční dopravě

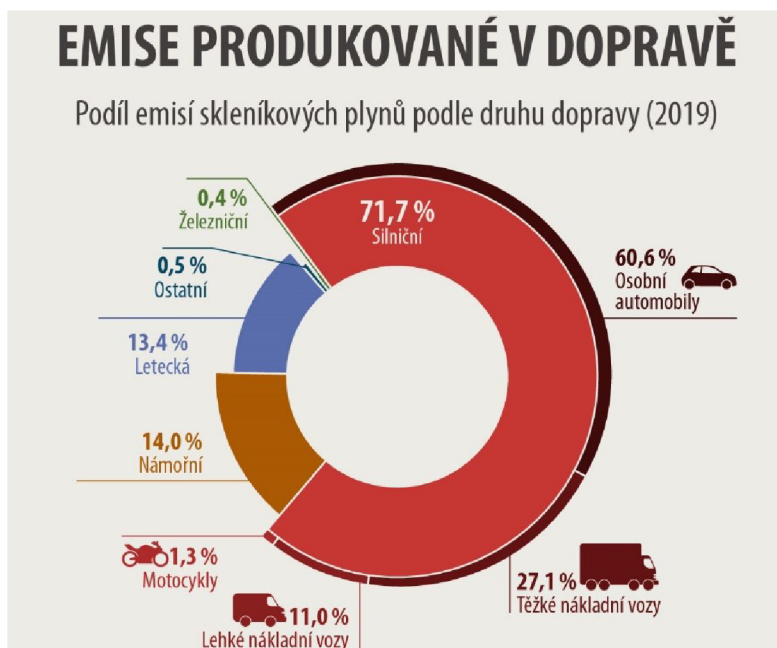
Vozidla poháněná spalovacími motory jsou významnými zdroji látek znečišťující ovzduší. Ve spotřebě převládají paliva složená z uhlovodíků, která se podílí na intenzifikaci skleníkového efektu a tím následného globálního oteplování. Z výfuku vozidel vychází vodní pára, dusík z nasátého vzduchu a v malém množství látky, které jsou toxické pro lidský organismus a vše živé na planetě. Proto jsou také nazývány jako znečišťující látky nebo škodlivé emise. [3]

Emise ze spalovacích motorů lze rozdělit do těchto skupin:

- „*přímo limitované složky – oxid uhelnatý, uhlovodíky a oxidy dusíku, ze vznětových motorů též částice (saze);*
- *nepřímo limitované složky – oxid uhličitý, oxidy síry, dříve též olovo (jsou limitované spotřebou a složením paliv);*
- *těkavé organické složky – benzen, formaldehyd, butadien, akrolein;*
- *netěkavé organické složky – polyaromatické uhlovodíky a jejich nitroderiváty (některé z nich jsou karcinogeny a mutageny), vyšší aldehydy.*“ [3, s. 85]

Množství emisí vycházejících ze spalovacích motorů závisí na jejich konstrukci, okamžitých provozních podmínkách, na složení spalované směsi a na chemické struktuře paliva. [3]

V roce 2019 byla doprava odpovědná za zhruba čtvrtinu všech vyprodukovaných emisí oxidu uhličitého v Evropské unii. Z toho se silniční doprava podle Obr. 1.1 podílela až 71,7 %, kvůli tomu dochází k trvalému zpříšňování emisních norem. Tato hodnota se skládá ze 4 hlavních článků. Tím největším producentem v silniční dopravě je doprava osobními vozidly, která se účastní na emisích CO₂ 60,6 %. Druhým článkem s 27,1 % je nákladní doprava těžkými vozy, která je velmi diskutovaným tématem a dochází zde k přísné kontrole emisí. Třetím článkem jsou lehká užitková vozidla s podílem 11 % a posledním článkem, jehož produkce emisí je nejnižší jsou motocykly, které se podílí pouze 1,3 %. Za silniční dopravou následuje námořní (14 %), letecká (13,4 %), železniční (0,4 %) a ostatní doprava. [4]



Obr. 1.1 Emise produkované v dopravě

Zdroj: [4].

1.1.2 Složení výfukových emisí

Ve spalovacím motoru dochází k nedokonalému spalování paliva a následnému vylučování emisí do ovzduší. Mezi tyto látky patří hlavně:

- **Oxid uhelnatý** (CO) se uvolňuje do ovzduší nedokonalým spalováním paliva s nedostatkem kyslíku. V důsledku povinného zavedení řízených katalyzátorů u benzínových motorů se emise oxidu uhelnatého v poslední době značně snižují. Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn, bez zápachu a chuti, pro člověka je jedovatý. V malém množství může osoba pocítit bolesti hlavy a únavu, při vyšší dávce může způsobit závratě, halucinace nebo porušit vidění.
- **Oxid uhličitý** (CO₂) je podobně jako oxid uhelnatý bezbarvý plyn, bez zápachu a chuti, ale není jedovatý. V atmosféře mluvíme o CO₂ jako o tzv. skleníkovém plynu. Emisní normy EURO množství tohoto plynu zatím nijak neregulují.
- **Oxid siřičitý** (SO₂) je bezbarvý štiplavě páchnoucí jedovatý plyn. Vzniká uvolňováním síry, která je obsažena v palivu. Dříve motorová nafta obsahovala velké množství síry, ale v dnešních pohonných hmotách se objevuje ve velmi malém množství.
- **Oxidy dusíku** (NO_x) jedná se především o oxid dusičitý a oxid dusnatý. Emise oxidů dusíku vznikají při spalování ušlechtilých paliv i biomasy. Tyto plyny už

v malých koncentracích způsobují pocit dušení a nutí ke kašli, zvyšují i riziko onemocnění dýchacích cest.

- **Nespálené uhlovodíky (HC)** se tvoří při nedokonalém spalování paliv. Uhlovodíky tvoří přízemní ozón a smog při jejich úniku do prostředí. Nejvýznamnějšími uhlovodíky jsou alkany, aldehydy, alkoholy, ketony a aromatické uhlovodíky.
- **Pevné částice (PM)** jsou znečišťující látky pevného skupenství, které obsahují karbon, saze, oxidy síry, zbytky paliva, kapalné částice uhlovodíku a těžké kovy. [5]

1.2 Emisní normy EURO

Emisní normy EURO (někdy též ekologické normy, emisní standardy nebo emisní třídy) jsou založeny na základě tzv. kalifornských zákonů, které byly přijaty v 60. letech 20. století v USA. Emisní normy jsou v USA označovány zkratkou EPA (Environmental Protection Agency). V Evropě se první emisní norma objevila na začátku 70. let, ale první normy EURO přišly až v 90. letech. EURO 0 byla první norma, která vznikla v roce 1990, následovaly normy EURO I až EURO V. Od ledna 2014 již platí norma EURO VI. [6]

Nicméně výrobci motorových vozidel plní emisní normy s velkým předstihem. Například motory splňující požadavky EURO V výrobci vozidel nabízeli již v okamžiku, kdy vstoupila do platnosti emisní norma EURO IV, což bylo o více než 3 roky dříve. Dokonce automobiloví výrobci Scania a Mercedes distribuovali motory EURO VI už v roce 2011, tzn. s tříletým předstihem. Ostatní automobilky (DAF, IVECO, Volvo, Renault a MAN) je doháněly během dalších dvou let. Emise škodlivin jsou nejčastěji uváděny v gramech na ujetý kilometr [g/km] nebo v gramech na kilowatthodinu [g/kWh]. [6]

Platnost jednotlivých norem EURO:

- EURO 0: 1990;
- EURO I: 1992;
- EURO II: 1996;
- EURO III: 2000;
- EURO IV: 2005;
- EURO V: 2008;
- EURO VI: 2014;

– EURO VII: 2025 (zatím nebyla schválena). [6]

Emisní norma EURO je platná v zemích Evropské unie a definuje povolené limity škodlivin ve výfukových plynech silničních motorových vozidel. Zaměřuje se zejména na oxidy dusíku (NO_x), nespálené uhlovodíky (HC), oxid uhelnatý (CO) a množství pevných částic. Normy pro osobní automobily a lehké užitkové vozy jsou číslovány arabskými číslicemi, normy pro těžká nákladní vozidla a autobusy římskými číslicemi. [6]

Splnění norem EURO I - III bylo důležité pro zvýšení efektivity spalovacího procesu (zvyšování vstřikovacích tlaků, vícebodové vstřikování) a používání kvalitnějšího paliva. Od vzniku normy EURO IV bylo nutné vybavit vozidla systémem dodatečné úpravy výfukových plynů. Buď to systémem SCR (selektivní katalytická redukce) nebo systémem EGR (recirkulace výfukových plynů). Srovnáme-li limity škodlivin od 90. let do roku 2008 (EURO V) tak zjistíme, že došlo ke snížení emisí NO_x o 75 % a ke snížení objemu pevných částic o neuvěřitelných 94 % (viz Tab. 1.1). [6]

Tab. 1.1 Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO

Rok	Norma	CO [g/km]		NO _x [g/km]		HC + NO _x [g/km]		HC [g/km]	PM [g/km]
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70	-	0,08
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2008	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

Agenda: [Benzínové motory](#), Naftové motory

Zdroj: [7].

1.2.1 Norma EEV

Dobrovolná emisní norma EEV (Enhanced Environmentally Friendly Vehicle) existuje od roku 1999 současně s normami EURO. Mezi výrobce, kteří nabízejí motory ve specifikaci EEV patří DAF, Scania, Renault a MAN. Motory jsou především montovány do nákladních vozidel určených pro místní a regionální přepravu z důvodů povolení vjezdů do center měst. Samozřejmě pokud zákazník tento typ motoru požaduje i pro dálkovou přepravu je tato varianta také možná. U EEV jsou limity NO_x shodné s EURO V, ale rozdíl je v emisích pevných částic, které jsou oproti EURO V nižší.

Existují tři hlavní vývojové typy: nafta, plyn a hybridní pohon. Hybridní pohon je kombinací spalovacího motoru a elektromotoru. Nicméně v kamionové dopravě je jeho využití prozatím sporné. S příchodem vozidel specifikace EURO VI pozbyla norma EEV praktického významu – EURO VI je přísnější takřka ve všech sledovaných škodlivinách. [6]

1.2.2 Norma EURO VI

Norma je platná od roku 2014, kdy nahradila předešlou normu EURO V. Došlo ke snížení emisí oxidu dusíku o 77 % a poklesu emisí pevných částic o 66 %. Existují dva způsoby, které řeší plnění normy EURO VI. Prvním způsobem je kombinace systémů EGR a SCR. Způsobem druhým je technologie SCR, která je založena na elektronicky řízeném vstřikování vodného roztoku močoviny (AdBlue) do výfukového potrubí před katalyzátor SCR. Močovina v katalyzátoru reaguje s oxidy dusíku ve výfukových plynech a rozkládá je. Technologie EGR funguje na principu, kdy část výfukových plynů vycházejících z motoru je odvedena, ochlazená ve speciálním chladiči EGR, smísená s nasátým vzduchem a znovu přivedena do válců motoru. [6]

1.2.3 Norma EURO VII

Nejnovější ekologická norma, která by měla platit pro nová osobní auta od roku 2025 a pro nákladní vozidla o dva roky později. Tato norma se jako první bude věnovat snižování emisí CO₂, a tím i nominální spotřebě pohonných hmot, kromě výfuků se bude vztahovat i na brzdy a pneumatiky. Zajímavé je, že nově by měl být součástí normy i návrh na maximální ztráty kapacity akumulátoru u elektromobilů, ale to stále není jisté. [6]

Výrobci nákladních vozidel se snižování spotřeby paliva věnují nepřetržitě. Stále jsou však nedostatky v oblasti konstrukce vozidel, výchově a vzdělávání řidičů (eco-driving) a také ve správě vozového parku (fleet management). V případě součinnosti mají tyto činnosti potenciál snížení spotřeby paliva od jednotek až po desítky procent. [6]

1.3 Legislativa ke snížení skleníkových plynů

V České republice je uskutečňováno velké množství opatření, jejichž cílem je snižování emisí skleníkových plynů. Jedná se o opatření obecná i konkrétně zaměřená na danou problematiku nebo sektor. Většina opatření mají často širší cíle, protože jde hlavně

o zmírnění negativních dopadů na životní prostředí jako celek. Zásadní opatření jsou zejména rámcová, která se týkají více sektorů. V této kapitole tedy budou popsány nejdůležitější dohody snižování emisí skleníkových plynů z dopravy v rámci ČR.

1.3.1 Pařížská dohoda

Pařížská dohoda je celosvětová úmluva o změně klimatu, která byla přijata Organizací spojených národů (OSN) v roce 2015. Cílem dohody je zlepšit globální reakci na hrozby změny klimatu v návaznosti na udržitelný rozvoj. Dlouhodobým cílem této dohody je udržení nárůstu globálního oteplování výrazně pod hranicí 2 °C oproti úrovni před průmyslovou revolucí a usilovat o to, aby nárůst nepřekročil hranici 1,5 °C. [8]

Státy se podpisem dohody zavázaly k redukci emisí skleníkových plynů o 40 % do roku 2030. Země zároveň stanovily, že každých 5 let budou sdělovat své plány pro určení nových ambicióznějších cílů. Také souhlasily, že pro zajištění transparentnosti a dohledu budou sobě i veřejnosti poskytovat informace o plnění stanovených cílů. EU a ostatní rozvinuté země budou dále poskytovat finanční prostředky rozvojovým zemím, aby jim pomohly snižovat emise a bojovat s dopady změny klimatu. [8]

1.3.2 Zelená dohoda pro Evropu

Zelená dohoda pro Evropu (The European Green Deal) je soubor politických iniciativ Evropské komise představující zásadní plán proměny evropské ekonomiky. Cílem je zastavit hrozbu změny klimatu a zničení životního prostředí. Evropská unie proto stanovila cíl, že se Evropa stane prvním klimaticky neutrálním kontinentem do roku 2050. [9]

Zelená dohoda je podle Evropské komise *„nová strategie růstu, jejímž cílem je transformovat EU na spravedlivou a prosperující společnost s moderní a konkurenceschopnou ekonomikou efektivně využívající zdroje, která v roce 2050 nebude produkovat žádné emise skleníkových plynů a ve které bude hospodářský růst oddělen od využívání zdrojů.“* [9, s. 2]

Evropská komise v roce 2020 potvrdila závazný cíl Evropské unie. Tímto cílem je dosáhnout do roku 2030 snížení emisí skleníkových plynů alespoň o 55 % oproti roku 1990. V roce 2018 byly emise skleníkových plynů v EU sníženy o 23 %, navzdory tomu ekonomika vzrostla o 61 %. [9]

Hlavní pilíře Zelené dohody:

- klima;
- průmysl;
- zemědělství;
- energetika;
- životní prostředí;
- doprava;
- financování a regionální rozvoj;
- výzkum a inovace. [9]

Dílčí a konečné cíle Zelené dohody:

- čisté ovzduší, nezávadná voda, zdravá půda a biologická rozmanitost;
- renovace budov v zájmu energetické účinnosti;
- zdravé, cenově dostupné potraviny;
- rozšíření veřejné hromadné dopravy;
- ekologičtější energie a inovace díky čistým technologiím;
- globálně konkurenceschopný a odolný průmysl. [10]

Zelená dohoda v oblasti dopravy

V sektoru dopravy je zaměstnáno více jak 10 milionů lidí v EU a vytváří zhruba 5 % hrubého domácího produktu EU. Doprava je dnes vnímána jako jedna z nejvýznamnějších činností logistických systémů. Neustálý růst dopravy sebou nese i negativní vlivy, zejména na životní prostředí. [9]

Na dopravu připadá čtvrtina všech vyprodukovaných skleníkových plynů v EU. Proto je hlavním cílem Zelené dohody v sektoru dopravy snížit emise skleníkových plynů o 90 % do roku 2050. Na snížení se musí podílet silniční, letecká, železniční i vodní doprava. Větší část silniční nákladní dopravy by měla být přesunuta na železniční a vodní cesty. Velkou podporu bude mít stále elektromobilita a výstavba nové dopravní infrastruktury dobíjecích stanic. Neustále se projednává zpřísnění emisních norem nebo investice do výzkumu a vývoje inovací pro snížení emisí vozidel využívající fosilní paliva. V letecké dopravě se budou častěji využívat alternativní paliva (bionafta, vodík). Cílem je podpořit přechod na mobilitu s nulovými emisemi. [9]

1.3.2.1 Balíček „Fit for 55“

Balíček „Fit for 55“ je součástí Zelené dohody pro Evropu. Balíček obsahuje nové, ale i upravené legislativní návrhy, které mají za cíl podpořit snižování emisí skleníkových plynů. Název „Fit for 55“ referuje cíl EU snížit čisté emise skleníkových plynů alespoň o 55 % do roku 2030. [11]

Podle Evropské komise „cílem balíčku „Fit for 55“ je splnit náročnější cíl EU v oblasti snížení emisí ku prospěchu všech Evropanů a vytvořit příležitosti k účasti na transformaci, pomoci těm, kteří to nejvíce potřebují, a vyvinout větší tlak na celkové snížení emisí. Podpoří také ekologické oživení Evropské unie po pandemii, pomůže rozšířit environmentální normy za hranice EU a podpoří inovace v oblasti výrobků a technologií budoucnosti.“ [12, s. 3, 4]

Balíček má rozšířit současný systém emisních povolenek o další oblasti, součástí by mělo být i vytápění domácností, které v současné době vytváří velké množství emisí. Dalším zpřísněním je omezení prodeje motorových vozidel na benzín a motorovou naftu podle návrhu již v roce 2035. Zákaz prodeje spalovacích motorů by měl přinést podporu většího prodeje elektromobilů. Tento návrh však vzbudil největší odpor a kritiku, jak ze strany politiků, tak i občanů jednotlivých zemí EU. [11]

1.3.3 Národní akční plán čisté mobility

Národní akční plán čisté mobility (NAP CM) pro období 2015-2018 s výhledem do roku 2030, vychází z požadavků směrnice 2014/94/EU o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. Zabývá se elektromobilitou, CNG, LNG a v omezené míře vodíkovou technologií. Tento dokument se prvotně vztahuje na alternativní paliva, u nichž uvedená směrnice požaduje definování národního cíle pro rozvoj příslušné infrastruktury dobíjecích a plnicích stanic. NAP je v souvislosti s touto směrnicí aktualizován každé 3 roky. [13]

Globálním cílem NAP CM je „vytvoření dostatečně příznivého prostředí pro širší uplatnění vybraných alternativních paliv a pohonů v sektoru dopravy v podmínkách ČR a dosažení podmínek srovnatelných v této oblasti s jinými vyspělými státy Evropské unie tak, aby v dlouhodobém horizontu byla elektromobilita vnímána jako standardní technologie a zemní plyn pak jako standardní palivo a vodíková technologie se dostala

minimálně z fáze výzkumu/vývoje do situace, v jaké se v současnosti nachází elektromobilita.“ [13, s. 10]

Hlavní cíle čisté mobility jsou snižování spotřeby energie, redukce emisí oxidu uhličitého a omezování emisí zdraví škodlivých látek. NAP CM má 4 strategické cíle: 1. cílem je rozvoj elektromobility, 2. rozvoj vozidel na CNG, 3. rozvoj veřejně přístupných plnicích stanic LNG pro motorová vozidla a 4. rozvoj veřejně přístupných vodíkových plnicích stanic. [13]

Součástí dokumentu je i podpora využití vodíku v oblasti nákladní dopravy. Podle předpokladů by vodíková nákladní vozidla mohla v roce 2030 dosáhnout 1 % ročního objemu prodeje v Evropě. Výhodou vodíkové technologie v silniční nákladní dopravě je v porovnání s elektromobilitou vyšší nákladová efektivnost nad vzdálenost 100 km. Například je dána tím, že dobíjení nákladního vozidla na ultrarychlé rychlodobíjecí stanici je asi 15x pomalejší než při využití vodíku. Přitom vodíková vozidla mají delší dojezd a uvezou více nákladu. V současné době je technologie vodíkových nákladních vozidel méně vyspělá než u osobních vozů, a proto se předpokládá využití této technologie ve větším rozsahu spíše do budoucna. [13]

1.4 Druhy paliv

Spalovací motor je jedním z nejvýznamnějších vynálezů v dějinách lidstva. Nicméně kvůli omezenému množství ropy a obrovským problémům se znečištěním životního prostředí dochází k hledání alternativních paliv. Snahou je najít palivo, které bude příznivější pro životní prostředí, ale s podobnými vlastnostmi jako standardní (konvenční) palivo. V současnosti je největším problémem produkce oxidu uhličitého, která je způsobena spalováním fosilních paliv. Díky zdokonalování standardních spalovacích motorů dochází ke značnému snižování těchto škodlivých emisí. [14]

Důležité je vymezení dvou zásadních pojmů palivo a pohon. Palivo je označení pro látku nebo způsob, ze kterého se získává energie pro činnost motoru. Pohon je princip fungování motoru neboli jakým způsobem dochází k transformaci energie z paliva. Stejně palivo může být využito různými druhy pohonů.

V této práci jsou zmíněny pouze paliva a pohony, které jsou používány a uznávány v EU. Podle druhu dělíme paliva na:

- Konvenční paliva
 - benzín – zážehový spalovací motor;
 - motorová nafta (diesel) – vznětový spalovací motor.
- Alternativní paliva
 - zkapalněný ropný plyn (LPG) – upravený zážehový spalovací motor;
 - stlačený zemní plyn (CNG) – zážehový spalovací motor;
 - zkapalněný zemní plyn (LNG) – zážehový/vznětový spalovací motor;
 - bionafta – vznětový spalovací motor;
 - bioethanol (Ethanol 85) – zážehový spalovací motor;
 - vodík – elektromotor, zážehový/vznětový spalovací motor;
 - elektrická energie – elektromotor. [14]

Na území ČR se všechna tato paliva využívají, avšak některá jsou na trhu zastoupena v malém množství nebo jsou pouze ve fázi testování.

1.4.1 Konvenční (standardní) paliva

Ropa je směs organických sloučenin a materiálů bohatých na uhlík a vodík. Vznikla chemickým procesem zpracování mrtvých organismů a rostlin po miliony let. Základní činností při zpracování ropy je její destilace, tzn. rozdělení na užší frakce podle bodu varu. Při destilaci ropy tedy vznikají plyny, petrolej, benzínová frakce, plynový olej a mazut. Tyto frakce jsou postupně upravovány různými způsoby pro získání pohonných hmot, které mají menší dopad na životní prostředí (odsiřování) a zároveň poskytují vysoký výkon. Motorová nafta se potom připravuje mícháním plynového oleje a petroleje v určitém poměru pro dané klima (tzv. zimní a letní nafta). Mezi konvenční paliva patří automobilový benzín a motorová nafta, které jsou zastoupeny ve všech druzích dopravy. [15]

1.4.1.1 Benzín

Benzín je dožluta zbarvená kapalina vyráběná z ropy. Primární využití benzínu je jako palivo v zážehových motorech s vnitřním spalováním. Chemické složení je na bázi alifatických uhlovodíků. K jeho výrobě dochází frakční destilací ropy při teplotách od 30 °C do 210 °C. Kvalitu benzínu udává oktanové číslo, které vyjadřuje odolnost paliva proti samozápalu při kompresi ve válci spalovacího motoru. Čím je číslo větší, tím lépe hoří a je jedním z hlavních požadavků na benzín. V Evropě jsou nabízeny benzíny

Natural 95, Natural 98 a speciální vysokooktanová paliva 100+. Povinně se přidává do automobilového benzínu určité množství aditiv a biosložek, které zajišťují zvýšení výkonu motorů a snížení škodlivých emisí. Benzín označený symbolem E5 v kroužku znamená, že Natural 95 obsahuje až 5 % biolíhu. Benzínová vozidla musí používat filtr pevných částic. Při spalování benzínu vzniká méně škodlivin než u nafty. [3]

Benzín jako palivo je nejvíce využíván v individuální automobilové dopravě. V nákladních vozech a autobusech se nevyužívá kvůli jeho nižší účinnosti při velkém zatížení. V roce 2022 byl celkový podíl spotřeby benzínu v dopravě zhruba 25,5 % s roční spotřebou 2,109 mld. litrů. [16]

1.4.1.2 Motorová nafta

Motorová nafta, též označována jako diesel, je bezbarvá až nahnědlá kapalina. Nafta je nejpoužívanější pohonnou hmotou v ČR, její primární určení je pro vznětové spalovací motory. Motorová nafta se získává destilací a rafinací ropy při teplotě okolo 300 °C, následně je odsířená pomocí hydrogenace. Diesel je náchylný na nízké teploty, kdy při hodnotách pod bodem mrazu dochází k vylučování parafinů, jejichž krystalky ucpávají palivové filtry. Proto se nafta stále upravuje podle klima a v zimě se přimíchávají aditiva, které sníží teplotu bodu tuhnutí. [3]

Kvalita nafty se určuje podle cetanového čísla, které stanovuje kvalitu nafty ve směsi se vzduchem při vznícení. Motorová nafta prodávaná u nás je podle evropských norem a v souladu s podmínkami automobilového průmyslu. Nafta je bezsírná a obsahuje povinně biosložku ve výši až 7 %. Jako biosložka se využívá methylester řepkového oleje (MEŘO) vyráběn esterifikací řepkového oleje s metanolem. Na území EU je nafta označena čtvercovým piktogramem s písmenem B (zkratka pro biosložku) a číslem určující podíl biosložky. Nejpoužívanějším typem nafty je v současné době B7, ale existují i B10, B20, B30 a potom bionafta B100. [3]

V roce 2022 byla spotřeba nafty v ČR v dopravě 71,5 % (6,120 mld. litrů), což bylo 3krát více než spotřeba benzínu. Nafta je převážně využívána v oblastech, kde dochází k velké zátěži motoru při nízkých otáčkách. Jako je silniční nákladní doprava, veřejná autobusová doprava, zemědělství, železniční a lodní doprava. [16]

1.4.2 Alternativní paliva

V 70. letech 20. století si lidé začali uvědomovat následky stále se zvyšující spotřeby motorových paliv a jejich negativní působení na životní prostředí. V 80. letech se spustila spolupráce mezi výrobci automobilů a pohonných hmot se snahou snížit negativní ekologické následky silniční dopravy. V 90. letech potom započalo období zavádění alternativních paliv a na začátku 21. století již byla některá paliva úspěšně aplikována do provozu. V dnešní době jsou alternativní paliva v povědomí všech řidičů a fungují na uspokojivé úrovni stejně jako benzín a nafta. Tato problematika se nyní velmi rychle rozvíjí a hlavní hnací silou jsou omezené zásoby fosilních paliv, problém se znečištěním životního prostředí a řešení některých strukturálních otázek hospodářského rozvoje. [17]

Alternativní paliva jsou produkty, které mohou nahradit současná standardní paliva na bázi ropy nebo řeší jinou metodou či odlišnou technologií pohon vozidel. Spalování ropy představuje problém, který naše planeta nemůže dlouhodobě dopustit jak z ekonomických, tak z ekologických důvodů. Na automobilový průmysl je tedy kladen významný úkol nalezení koncepce „auta budoucnosti“, které zajistí dlouhodobou mobilitu, ekonomickou životnost a zároveň bude šetrný k životnímu prostředí.

1.4.2.1 Zkapalněný ropný plyn (LPG)

LPG (Liquified Petroleum Gas) je v současnosti jedno z nejrozšířenějších alternativních paliv, známé pod názvem propan-butan. Jde o zkapalněný ropný plyn, který je tvořen směsí uhlovodíků získaných jako vedlejší produkt rafinace ropy. Palivo LPG neobsahuje olovo a jen malé množství síry, proto je z pohledu ekologie velmi vhodné. Vozidlo na LPG lze zakoupit u automobilových prodejců nebo je možná jednoduchá přestavba zážehového motoru, který je způsobilý provozu na LPG i benzín. Problémem je pochopitelně omezení v zavazadlovém prostoru, který je částečně zaplněn plynovou nádrží. [14]

Bio LPG je z hlediska obnovitelných zdrojů a uhlíkové stopy emisně čistější varianta běžného LPG. Při použití Bio LPG není třeba provádět žádné úpravy na vozidle, protože má stejné chemické složení. Obě látky se dají libovolně zaměňovat a míchat. Bio LPG je vedlejším produktem při výrobě hydrogenovaného rostlinného oleje nebo bio ethanolu. Dalším zdrojem pro vznik Bio LPG jsou organické zbytky nebo cukrová třtina pro výrobu ethanolu. Tento bio plyn je o 60 % šetrnější k životnímu prostředí než klasické LPG. [16]

Z pohledu využití LPG v silniční dopravě je vhodnou variantou pro přepravy o nízké hmotnosti na krátké vzdálenosti. Použití paliva LPG na střední až dlouhé vzdálenosti je vzhledem k jeho nízkému dojezdu a velké spotřebě málo pravděpodobné. Zkapalněný ropný plyn se využívá nejčastěji u osobních a užitkových vozidel nebo u vysokozdvizných vozíků. Nevýhodou je omezení vjezdu do podzemních garáží z bezpečnostních důvodů. Oproti ostatním alternativním palivům LPG není nejvhodnější ekologickou volbou. Celkový podíl spotřeby LPG v dopravě v ČR byl v roce 2022 přibližně 2 %. V ČR je téměř 1 000 čerpacích stanic LPG.

1.4.2.2 Stlačený zemní plyn (CNG)

Zkratka CNG vychází z termínu Compressed Natural Gas neboli stlačený zemní plyn. Zemní plyn se získává z rozvodné sítě, která je přivedena běžným plynovým potrubím k čerpací stanici. Při tankování do vozu je plyn stlačen kompresorovým přístrojem a tím se přemění na CNG. Zemní plyn je bez zápachu, jeho hlavní složkou je metan, v menším množství propan, butan, uhlovodíky, sirovodík, CO₂ a další plyny. Zemní plyn je o hodně ekologičtější než běžná konvenční paliva, přestože se jedná o fosilní palivo. Na rozdíl od LPG se nevyrábí z ropy, proto má nepochybnou ekologickou výhodu. Vozidla poháněna jen plynem se nazývají monovalentní, vozidla spalující plyn a současně benzín se nazývají bivalentní. [16]

CNG jako obnovitelný zdroj existuje ve formě Bio CNG, který svým složením a způsobem využití je skoro totožný se stlačeným zemním plynem. Bio CNG se vyrábí z odpadů (hnůj nebo jiná biomasa), které jsou biologickým zdrojem metanu. K výrobě se využívá speciální stanice, která je nejčastěji umístěna v zemědělských podnicích. Po vyčištění je Bio plyn prodáván do běžné sítě zemního plynu nebo po stlačení je používán v plnicích stanicích pro motorová vozidla. [16]

CNG se v dopravě používá převážně ve vozidlech pro lehké a střední zatížení. Nejvíce vozidel na CNG je v individuální osobní dopravě a v autobusech městské hromadné dopravy. Využití v silniční nákladní dopravě není příliš vhodné, kvůli nízkému dojezdu (zhruba 570 km při plném naložení), který absolutně nekonkuruje dojezdu naftových vozidel a také kvůli menšímu výkonu. V České republice je aktuálně v provozu 25 000 vozidel, které mají k dispozici 230 plnicích stanic a tento trend se neustále zvyšuje. Díky menšímu dopadu na životní prostředí mají provozovatele těchto vozidel nárok na určité úlevy, např. nižší poplatky za provoz vozidla nebo levnější dálniční známky. V Evropě je

U nás se nejčastěji při výrobě používá olej získaný z řepky olejné, ale lze vyrábět z jakéhokoliv rostlinného oleje (slunečnicový, sójový, palmový). [14]

Bionafta se v dopravě využívá jako palivo bez úpravy nebo ve směsi s motorovou naftou. V současnosti prudce narůstá využití bionafty jako biosložky, která je přimíchávána do klasické nafty. Příčinou je úsilí o snížení spotřeby motorové nafty a zmenšení množství emisí, které jsou vypouštěny do atmosféry. Čistá bionafta (B100) se téměř nevyužívá, přestože některá nová vozidla jsou k tomu již přizpůsobená. Zatím je bionafta v rámci EU nejvíce využívána jako biosložka s klasickou naftou B7 (7 % bionafty). Nejrozšířenějším typem bionafty je v ČR směsná motorová nafta (označována eko diesel), která se skládá z 31 % bionafty a z 69 % konvenční motorové nafty (značené jako palivo B30). Využití bionafty v silniční nákladní dopravě závisí zejména na budoucím technologickém rozvoji vznětových motorů, ale také na snížení nákladů výroby bionafty. [14]

1.4.2.5 Bioethanol

Bioethanol (též Ethanol E85) je druh paliva, které se vyrábí mícháním ethanolu s automobilovým benzínem. Ethanol je průhledná bezbarvá kapalina, která se vytváří technologií alkoholového kvašení z biomasy. Vyrábí se nejvíce z rostlin obsahujících velké množství škrobu a ostatních sacharidů. Nejčastěji z plodin jako je cukrová řepa, cukrová třtina, kukuřice, brambory nebo obilí. [14]

Ethanol se vyrábí v několika krocích. Plodiny se fermentují, kdy dochází ke vzniku vysokého obsahu cukrů. Dále se látka destiluje kvůli oddělení ethanolu od vody, vzniká asi 95% čistý ethanol. Jako poslední krok výroby je dehydratace, při níž dochází k odstranění zbývající vody, která by mohla poničit motor a palivové ústrojí vozidla. Vyrobený bioethanol E85 je možné využít v běžném spalovacím motoru, ale je doporučeno vybavit vozidlo konverzním kitem, který prodlužuje dobu vstřiku paliva. [14]

Bioethanol je nejčastěji dostupný ve směsi s benzínem, a to v poměru 85 % ethanolu a 15 % benzínu, značí se E85. Tento poměr je upravován podle ročního období, kdy má ethanol horší vlastnosti v chladném počasí. V ČR existuje přibližně 170 čerpacích stanic této pohonné hmoty. Ethanol se také používá jako biosložka do klasického automobilového benzínu E5, kde je obsaženo max. 5 % biolihu.

V dopravě se ethanol využívá více než 50 let, přesto není ve světě jako palivo velmi rozšířené. Největším lídrem v používání bioethanolu je Brazílie, která má nejvíce vozidel

využívající toto palivo, následuje USA. Díky bioethanolu je možné snížit závislost dopravy na ropě a tím zmenšit vznik emisí CO₂. [14]

1.4.2.6 Vodík

Vodík je obnovitelný zdroj energie, který neškodí životnímu prostředí. Jedná se o lehký, bezbarvý, hořlavý plyn, bez zápachu a chuti. Vodík je často označován jako palivo budoucnosti nebo nejdokonalejší palivo. Považuje se za nejčistější palivo, protože při jeho spalování se produkuje jako vedlejší produkt jen voda a dosahuje vysokého účinku s téměř nulovými emisemi na rozdíl od jiných paliv. [20]

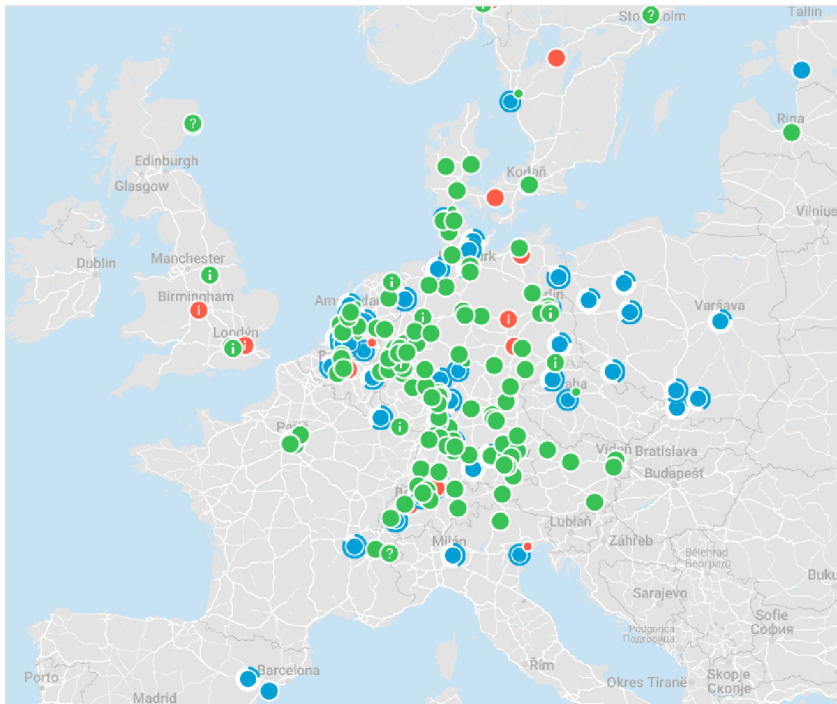
Vodík je na naší planetě bohatě zastoupen, ale často je součástí sloučenin, např. ve vodě, fosilních palivech a biomase. V současné době je tedy velkým problémem účelná separace vodíku z těchto sloučenin. K výrobě z velké části dochází při kombinaci vysokotlakové páry se zemním plynem, dalším způsobem je při rafinaci ropy nebo při spalování uhlí (zpracování kovů). Nejmenší podíl na výrobě vodíku má elektrolýza z vody, což je jediná forma využívající obnovitelné zdroje energie (solární, vodní nebo větrné elektrárny). Tato metoda je nejčistější variantou, avšak je velmi nákladná, tím dělá v současnosti z vodíku takřka nepoužitelné palivo pro komerční využití. Předpokladem pro budoucí aplikaci vodíku je snížení jeho ceny. [20]

Využití vodíku k pohonu vozidel je možné dvěma způsoby. Prvním způsobem je přímé spalování vodíku v zážehových nebo vznětových motorech. Velkou výhodou při použití vodíku v klasických motorech je možnost spalování velmi chudých směsí, což se projeví patrně snížením spotřeby paliva při částečné zátěži. Konečným výfukovým plynem je vodní pára, takže tímto způsobem nevzniká skleníkový efekt. Druhým způsobem je přeměna na elektrickou energii v palivových článcích, které jsou v podstatě malé generátory elektřiny získávající energii z přímé elektrochemické reakce mezi kyslíkem a vodíkem. Vodík je uložen v nádrži a následně přiváděn do palivového článku, kde reaguje s kyslíkem a následně vyrábí elektřinu. Výsledkem tohoto procesu je pouze destilovaná voda. Největší výhodou palivových článků je jejich účinnost, která je až 3x větší než u spalovacích motorů. Použití vodíku jako součást palivového článku se využívá u elektromobilů. Avšak tento způsob je stále ve fázi výzkumu a testování. [16]

V dopravě závisí potenciál vodíku hlavně na nalezení ekonomického způsobu výroby a tím snížení jeho ceny, na rozvinutí infrastruktury plnicích stanic, na snížení pořizovací ceny vozidel (dvojnásobná oproti naftovým vozidlům) a nalezení vhodného způsobu

skladování vodíku. Naopak obrovskou výhodou je bezemisní provoz a snížení závislosti na dovozu ropy. [14]

Aktuálně je po celé Evropě otevřených 163 plnicích stanic (zeleně) a dalších 44 stanic ve výstavbě (modře) viz obrázek 1.4. V České republice jsou aktuálně pro veřejnost k dispozici 2 vodíkové čerpací stanice. Podle Národního akčního plánu čisté mobility by mělo vzniknout asi 15 vodíkových plnicích stanic do roku 2025 a o 5 let později 80 stanic v České republice.



Obr. 1.4 Mapa plnicích stanic vodíku v Evropě

Zdroj: [21].


















1.4.2.7 Elektrická energie

Elektřina je často považována za „čisté palivo“, jelikož elektromobily neprodukují žádné emise. Nicméně elektrická energie je ve většině případů vyrobena ze zdrojů, které nelze pokládat za ekologické či bezemisní. Elektřina vzniká transformací primární energie na energii elektrickou. Ta je získána pomocí zdrojů, které se dělí na fosilní paliva a obnovitelné zdroje energie. Jejich využití záleží na ekonomické a ekologické efektivnosti, ale také na přístupu jednotlivých států. Ve spoustě zemích tvoří největší podíl tepelná energie ze spalování uhlí, což nemůže být považováno za ekologické. V České republice je vyráběna elektřina zejména z fosilních paliv a jaderné energie, obnovitelné zdroje jsou zastoupeny zhruba 6% z celkové produkce. K emisím z výroby elektrické energie je třeba

připočítat také emise vznikající při výrobě elektromobilů, těžbě surovin pro výrobu baterií a následné likvidaci vozidel. [14]

Elektromobily jsou vybaveny vysokokapacitní lithium-iontovou baterií, která se nabíjí ze sítě elektrického vedení a dodává vozidlu potřebnou energii. Mezi výhody tohoto typu vozidla patří snadné startování, tichý chod motoru a ekologický provoz z pohledu vypouštěných škodlivin. Nevýhodou je vyšší cena, omezený dojezd, menší jízdní výkon, délka dobíjení vozidla a větší nebezpečí při nehodě. Elektromobil dokáže podle nabití vyhodnotit dojezd, avšak existují nepředvídané faktory, které dokáží tento dojezd snížit. Např. prudké zrychlování, zbytečné brždění, hmotnost navíc (více cestujících, zavazadel) nebo počasí (nízké teploty v zimě).

Elektrická energie není využívána pouze jako energie získávána z baterie vozidla, ale existují i kombinace se spalovacími motory tzv. hybridní. Hybridní vozidlo tedy obsahuje zároveň spalovací a elektrický motor, které lze k pohonu vozu využívat najednou nebo zvlášť. Existují dva základní druhy elektrických hybridních vozidel PHEV (Plugin Hybrid Electric Vehicle) a HEV (Hybrid Electric Vehicle). Srovnání jednotlivých typů vozidel od konvenčního až po plně elektrické na obrázku 1.5.

					
	KONVENČNÍ	HYBRID	PLUG-IN HYBRID	ELEKTRICKÉ	
ZDROJ ENERGIE					
SPOTŘEBA					
EMISE					

Obr. 1.5 Srovnání jednotlivých typů vozidel

Zdroj: [22].

Rozvoj elektromobility je v některých státech značně podporován. U nás podpora od státu obsahuje například osvobození od placení silniční daně, dálniční známka bez poplatků, výhodné parkování ve městech nebo dotace na koupi vozidla pro veřejnou sféru. Hlavním důvodem je snížení emisí skleníkových plynů a zastavit tak globální oteplování naší planety. Nákladní elektromobilita zatím není tolik rozšířená a jejich nabídka je omezená

na několik modelů. Nicméně touto problematikou se zabývá stále více výrobců nákladních vozidel, proto je možné očekávat v budoucnu další vývoj. Aktuálně je v ČR přes 1 266 nabíjecích stanic, což je za poslední 2 roky dvojnásobný počet.

2 Analýza pohonů silničních nákladních vozidel

V druhé kapitole diplomové práce je zpracována analýza pohonů silničních nákladních vozidel, jsou zde představeny dostupné typy pohonů a stručně vysvětleny principy jejich fungování. Dále je provedena analýza nabízených alternativních pohonů u vybraných výrobců nákladních vozidel a vyhodnocení jejich nabídky.

2.1 Typy pohonů silničních nákladních vozidel

Existuje několik typů pohonů silničních nákladních vozidel, které se liší v závislosti na použité technologii a zdroji energie. Mezi nejčastější pohony nákladních vozidel patří:

- naftový pohon;
- plynový pohon;
- elektrický bateriový pohon;
- hybridní pohon;
- vodíkový pohon.

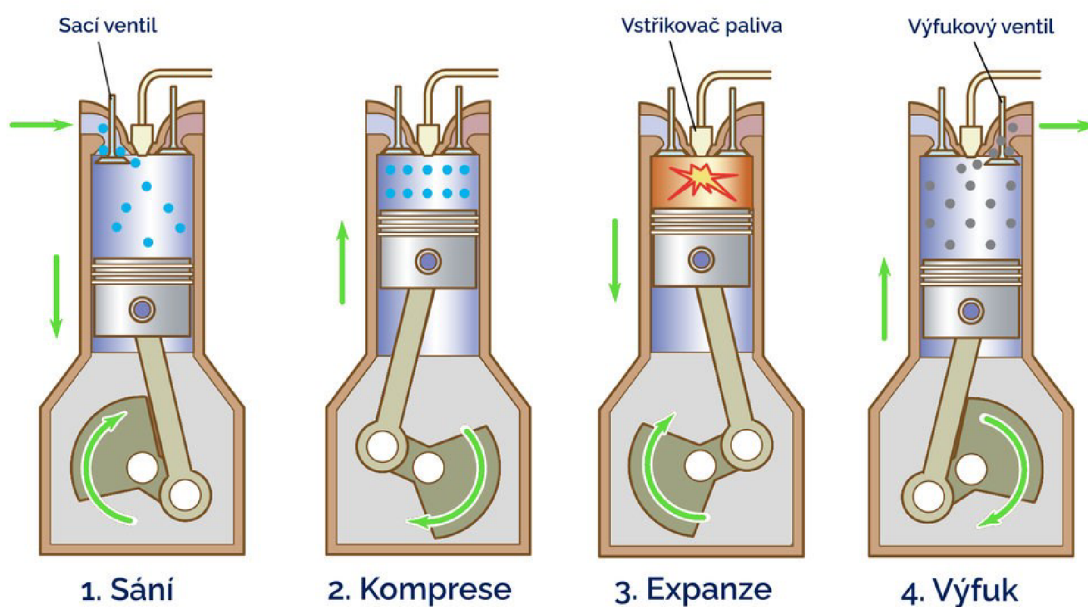
Každý typ pohonu má své výhody a nevýhody a výběr určitého pohonu závisí na konkrétních potřebách, jako je druh přepravovaného zboží, délka trasy, počet jízd a náklady na palivo a údržbu.

2.1.1 Naftový pohon

Naftový pohon je typ spalovacího motoru, který využívá naftu jako palivo. Naftové (vznětové, dieselové) motory jsou nejčastěji používány v nákladních vozidlech, autobusech a ostatních těžkých vozech. Typické pro dieselové motory je, že mají vyšší výkon při nižších a středních otáčkách, proto jsou úspornější v porovnání s benzínovými motory. Na druhou stranu jsou tyto motory náchylnější k vibracím a jsou hlučnější než ty benzínové.

Princip vznětového motoru spočívá v tom, že palivo je vstříkováno do válce motoru, kde se smíchá se vzduchem a za pomoci kompresního zdvihu se samovznítí. Tento proces spalování vytváří tlak, který pohání píst a generuje výkon. Vznětový motor má tedy 4 pracovní fáze (viz Obr. 2.1):

1. **Sání** – do spalovacího prostoru motoru je nasáván vzduch přes sací ventil. Při pohybu pístu směrem dolů vzniká podtlak, který způsobuje nasávání vzduchu. Jakmile píst dosáhne dolní úvrati, uzavírá se sací ventil.
2. **Komprese** – nasátý vzduch se po uzavření sacího ventilu stlačí pístem pohybující se k horní úvrati. Teplota vzduchu se zvyšuje až na 800 °C a tlak stoupá na 3 - 4 MPa.
3. **Expanze** – před horní úvrati je pomocí vstřikovací trysky přímo do válce vstříknuta pod tlakem určitá dávka paliva. Palivo začne hořet samovznícením v ohřátém vzduchu a vzniklý tlak vede k přeměně energie na mechanickou práci.
4. **Výfuk** – dojde k otevření výfukového ventilu a spálené plyny jsou vytlačeny do výfuku. [23]



Obr. 2.1 Fáze vznětového motoru

Zdroj: [23].

U naftových motorů se často používá přeplňování motoru, aby se zvýšil výkon. To se děje pomocí turbodmychadla, které zvyšuje tlak vzduchu vstupujícího do motoru. To umožňuje spálit větší množství paliva, což vede ke zvýšení výkonu motoru o více než 30 % při stejném objemu. Turbodmychadlo je poháněno spálenými látkami, které proudí do výfuku. [15]

Moderní diesellové motory jsou vybaveny zařízením, které je určeno k úpravě výfukových plynů tak, aby splňovaly emisní normy. Kvůli stále přísnějším limitům jsou tyto motory doplňovány chemicky čistým vodným roztokem, známým jako AdBlue, který snižuje

emise díky technologii selektivní katalytické redukce a pomáhá tak minimalizovat emise výfukových plynů. [15]

V poslední době jsou naftové motory kritizovány kvůli jejich emisím a dopadu na životní prostředí. Diesellové motory vypouští oxid uhličitý, oxidy dusíku a další nebezpečné částice do ovzduší, což má negativní dopad na životní prostředí. Tyto faktory vedou k vývoji alternativních pohonů, jako jsou hybridní a elektrické.

2.1.2 Plynový pohon (CNG, LNG)

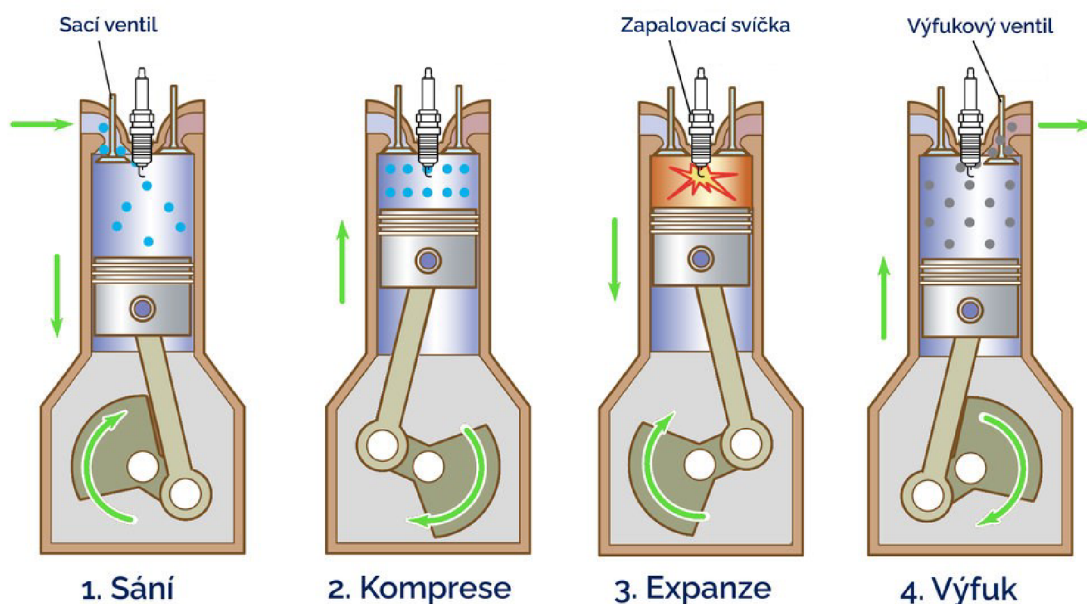
Plynový pohon u nákladních vozidel je technologie, která umožňuje spalování stlačeného zemního plynu (CNG) nebo zkapalněného zemního plynu (LNG) jako alternativní palivo namísto klasických paliv (nafta, benzín). Nákladní vozidla s plynovým pohonem jsou opatřena speciálními nádržemi, které jsou umístěny na různých místech podvozku. CNG motory jsou používány především v městské dopravě, kde jsou přínosy ekologického a hospodárného provozu velmi významné. Naopak LNG motory jsou využívány spíše na delší trasy.

Motory na CNG/LNG fungují na principu spalování plynu, který je složen především z methanu. Při vstřikování CNG/LNG do spalovacích komor motoru je smíchán s kyslíkem, který je nasátý při sání vzduchu a vznítí se pomocí jiskry, podobně jako v benzínovém motoru. Hlavním rozdílem mezi CNG/LNG a benzínovým motorem je použití jiného paliva a přizpůsobení spalovacího procesu. Pro spalování CNG jsou třeba jiné komponenty motoru, které jsou způsobilé spalovat vyšší množství kyslíku než benzínové motory a zároveň jsou odolné proti korozi. Pro spalování LNG jsou třeba komponenty, které jsou schopné snést velmi nízké teploty, při kterých je LNG skladován. [14]

Motor na stlačený a zkapalněný zemní plyn má obecně stejné fáze spalování jako benzínový motor, tedy sání, kompresi, spalování a výfuk. Konkrétně se fáze spalování v motoru běžně skládají z následujících kroků (viz Obr. 2.2):

1. **Sání** – během této fáze se otevírají sací ventily a vzduch s CNG/LNG je nasáván do motoru.
2. **Komprese** – sací ventily se uzavírají a píst motoru tlačuje směs vzduchu a plynu do malého prostoru v komoře válců. Tím se zvýší tlak a teplota směsi.

3. **Expanze** – potom, co směs dosáhne daného tlaku, zapalovací svíčka přivede jiskru a směs vzduchu a CNG/LNG se vznítí, což způsobí výrazné zvýšení tlaku a teploty. Tento proces vytváří tlak, který pohání píst a generuje výkon.
4. **Výfuk** – nakonec se otevírají výfukové ventily a spaliny jsou vypouštěny z motoru ven. [23]



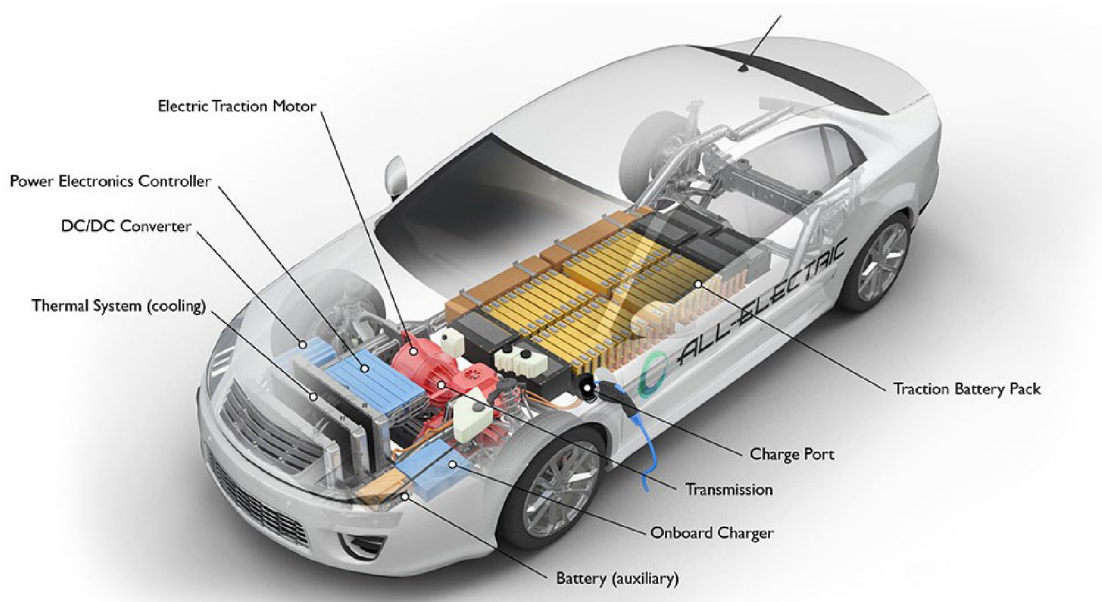
Obr. 2.2 Fáze zážehového motoru

Zdroj: [23].

Důležité je poznamenat, že existují různé typy motorů na CNG a LNG, které se mohou lišit v některých konkrétních detailech svého fungování. Avšak základní fáze spalování jsou zpravidla stejné. Spalování CNG/LNG je také čistší než spalování benzínu, protože CNG ani LNG neobsahují žádné škodlivé látky jako olovo nebo síru. Z tohoto důvodu jsou motory na CNG a LNG pokládány jako ekologičtější alternativa pro pohonné systémy s vnitřním spalováním. Navíc LNG poskytuje větší dojezd v porovnání s CNG, jelikož zkapalnění plynu snižuje jeho objem a tím umožňuje ukládání většího množství paliva na menším prostoru.

2.1.3 Elektrický bateriový pohon (BEV)

Elektrický bateriový pohon (Obr. 2.3) je technologie pohonu, která využívá elektřinu uloženou v baterii k pohonu vozidla. Základním prvkem elektrického bateriového pohonu je tedy baterie, která slouží jako zdroj elektrické energie pro elektromotor, který pohání vozidlo. Baterie může být dobíjena připojením k elektrické síti, kdy se využívá energie z obnovitelných nebo fosilních zdrojů.



Obr. 2.3 Schéma pohonné soustavy BEV vozidla

Zdroj: [24].

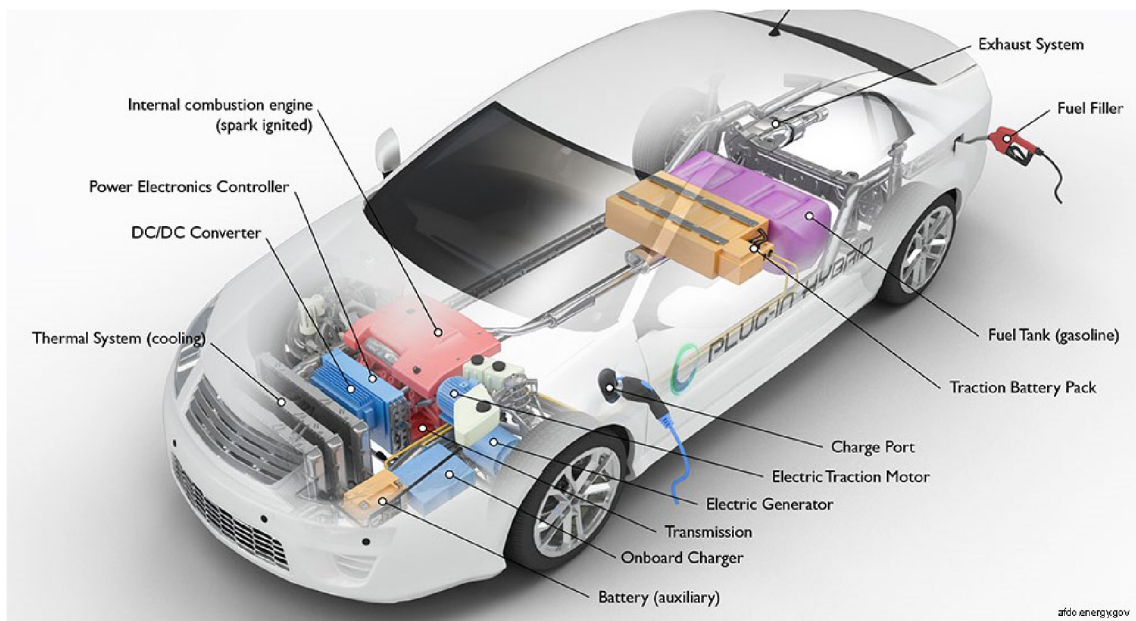
Nákladní vozidlo s elektrickým pohonem může být plně elektrické nebo hybridní, kde je kromě elektromotoru využíván i spalovací motor. Elektromotor v nákladních vozidlech může mít různé typy konstrukce a velikosti, v závislosti na požadavcích na výkon, rychlost a účinnost. Zpravidla jsou používány synchronní nebo asynchronní motory s permanentními magnety nebo s vinutím rotoru. V elektromotorech nákladních vozidel je výkon regulován pomocí elektronického řízení, které optimalizuje využití energie z baterií. To znamená, že řídicí systém sleduje aktuální zátěž a rychlost vozidla a přizpůsobuje napájení elektromotoru tak, aby bylo dosaženo maximální účinnosti a minimalizovalo se opotřebení baterií. Další podstatnou součástí elektrického pohonu je regenerativní brzdění. Při brzdění se elektromotor stává generátorem a přeměňuje kinetickou energii vozidla zpět na elektrickou energii, která se ukládá do baterií. To umožňuje vozidlům s elektromotorem dosáhnout vysoké úspory energie a zvýšit dojezd vozidla. [14]

Nákladní vozidla mají větší hmotnost a spotřebu energie než osobní vozy, proto potřebují větší a těžší baterie, aby byla vozidla vhodná na delší vzdálenosti. Tyto požadavky zvyšují náklady na samotné vozidlo a mohou snížit jeho nosnost. Výhody BEV jsou nízké emise, nižší náklady na provoz a údržbu a tichý chod. Na druhou stranu nevýhodou jsou stále vyšší náklady na samotné vozidlo a omezený dojezd na jedno nabití baterie. Elektrický bateriový pohon nákladních vozidel může být výhodný pro městskou distribuci, kde jezdí spíše na kratší vzdálenosti. Přepokládá se, že vývoj bateriových technologií v budoucnu

umožní větší dojezd a nosnost, což by mohlo vést k dalšímu rozšíření elektrických nákladních vozidel.

2.1.4 Hybridní pohon (HEV, PHEV)

Hybridní pohon je kombinací dvou různých typů pohonů, nejčastěji spalovacího a elektrického pohonu (viz Obr. 2.4), které spolupracují s cílem snížit spotřebu paliva, emisí a zlepšení výkonu a efektivity. Hybridní pohon je stále více používán v nákladních vozidlech především v městských oblastech, kde jsou častěji omezovány emisními limity.



Obr. 2.4 Schéma pohonné soustavy PHEV vozidla

Zdroj: [24].

Základem hybridního elektrického pohonu u nákladních vozidel je obvykle dieselový motor v kombinaci s elektromotorem a baterií. Dieselový motor je využíván jako primární zdroj energie pro pohon vozidla a zároveň k výrobě elektrické energie pro akumulátor. Elektromotor slouží k doplňování výkonu a zlepšení účinnosti, obvykle je umístěn mezi spalovacím motorem a převodovkou. [14]

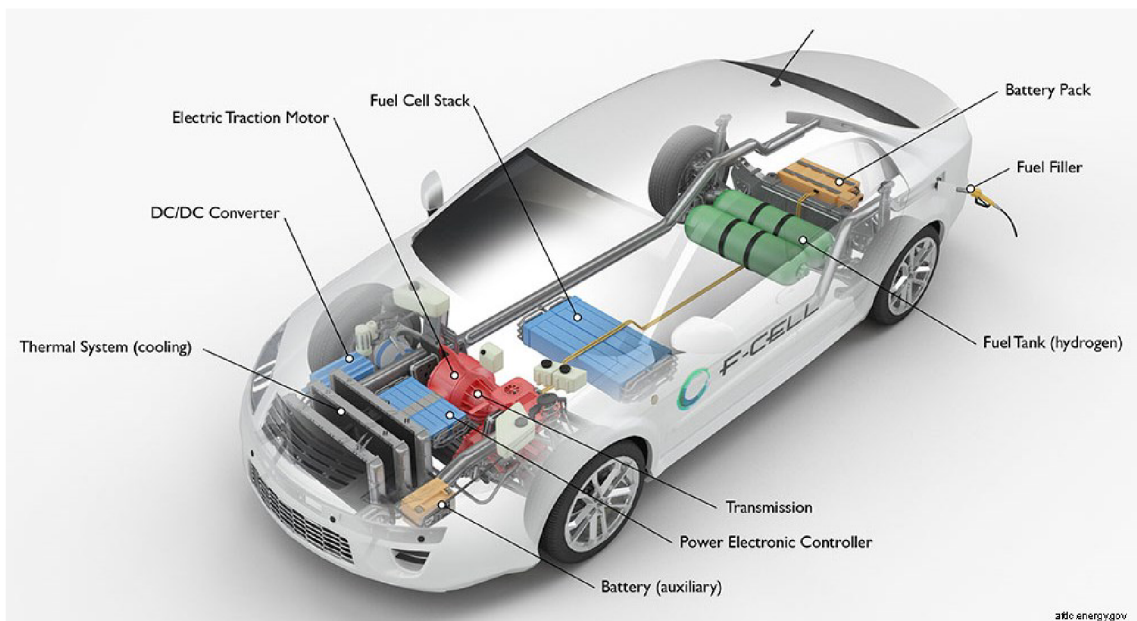
Hybridní motor využívá řídicí systém, který ovládá přepínání mezi spalovacím a elektrickým motorem a zajišťuje, aby oba zdroje energie byly využívány co nejefektivněji. Řidič může také ovlivňovat způsob, jakým se systém chová, například přepínáním mezi režimy, které umožňují maximální úsporu paliva nebo maximální výkon. Nákladní vozidlo využívá režimu na elektřinu nejčastěji při nižších rychlostech nebo při zastavení na semaforu. Během brzdění se uplatňuje rekuperace energie, která se

ukládá do akumulátoru a může být následně použita pro pohon elektromotoru nebo pro přídatná zařízení. Pokud vozidlo potřebuje větší výkon, například při zrychlení nebo při jízdě v kopcovitém terénu, vozidlo se přepne do režimu na spalovací motor. Lze říci, že hybridní pohon umožňuje vozidlům dosáhnout větší efektivity a nižších emisí, což šetří palivo a snižuje dopad na životní prostředí.

2.1.5 Vodíkový pohon

Vodíkový pohon využívá vodík jako zdroj energie pro pohon vozidel. Existují dva hlavní druhy vodíkového pohonu pro nákladní vozidla, a to vodíkové palivové články (FCEV) a spalovací motor na vodík. Jednou z hlavních výhod vodíkového pohonu je, že vozidlo má vysokou energetickou hustotu a dlouhý dojezd, protože vodík lze snadno skladovat v tlakových nádržích a rychle doplňovat. Vodíkový pohon nabízí také rychlé dobíjení, což znamená, že vozidlo může být rychleji připraveno na další jízdu než při využití elektrického bateriového pohonu.

Palivové články (viz Obr. 2.5) využívají elektrochemickou reakci mezi vodíkem a kyslíkem k vytváření elektřiny pro pohon vozidla. Palivové články jsou umístěny ve vozidle a využívají vodík uložený v nádrži. Palivové články se skládají z anody, katody a elektrolytu. Vodík je přiveden k anodě a kyslík je přiveden ke katodě. V reakci mezi vodíkem a kyslíkem vzniká elektrický proud, který pohání elektromotor vozidla. Výhodou je, že vozidlo nevypouští žádné emise, ale pouze vodu. [14]



Obr. 2.5 Schéma pohonné soustavy FCEV vozidla

Zdroj: [24].

Spalování vodíku u nákladních vozidel funguje na principu motoru s vnitřním spalováním (Obr. 2.6), podobně jako u benzínových a naftových motorů. Vodík je skladován v nádržích v kapalném nebo stlačeném stavu a je přiveden do spalovacího motoru, kde se smísí s kyslíkem ze vzduchu. Při spalování vodíku vzniká pouze voda a teplo, které se používají k pohonu vozidla. Nákladní vozidlo na vodíkový pohon je tedy velmi čisté a šetrné k životnímu prostředí. Bohužel je stále ve fázi vývoje a testování. [14]



Obr. 2.6 Vodíkový spalovací motor od společnosti Hyundai
Zdroj: [25].

2.2 Analýza alternativních pohonů u zvolených výrobců nákladních vozidel

Kvůli nekonečnému zpřísnování emisních norem jsou výrobci nákladních vozidel nuceni neustále zkoumat a vyvíjet nové alternativní pohony. Pokud města rozhodnou, že do jejich center smí pouze vozidla, která nevypouštějí žádné emise, tak jsou na výběr dvě možnosti řešení. První dostupnou variantou je plně elektrické nákladní vozidlo, které je prozatím vhodné jen pro městskou či regionální přepravu. Pokud má však vozidlo ujet velké vzdálenosti a zároveň jezdit v městských oblastech s „nulovými emisemi“ je druhou variantou hybridní nákladní vozidlo, které je kombinací vznětového a elektrického pohonu.

V současnosti jsou v nabídce tedy vozidla využívající hybridní, elektrický a plynový pohon. Nicméně několik výrobců již testuje nákladní vozidla na vodíkový pohon, ať už spalování samotného vodíku nebo palivové články. Nejdále ve vývoji jsou podle mého názoru 3 společnosti v rámci Evropy, a to DAF (vodíkový spalovací motor), Volvo (palivové články) a Mercedes Benz (palivové články). Důvodem inovací je prohlášení,

kteří podepsali výrobci nákladních vozidel, že od roku 2040 nebudou prodávat žádná nová nákladní vozidla spalující fosilní paliva.

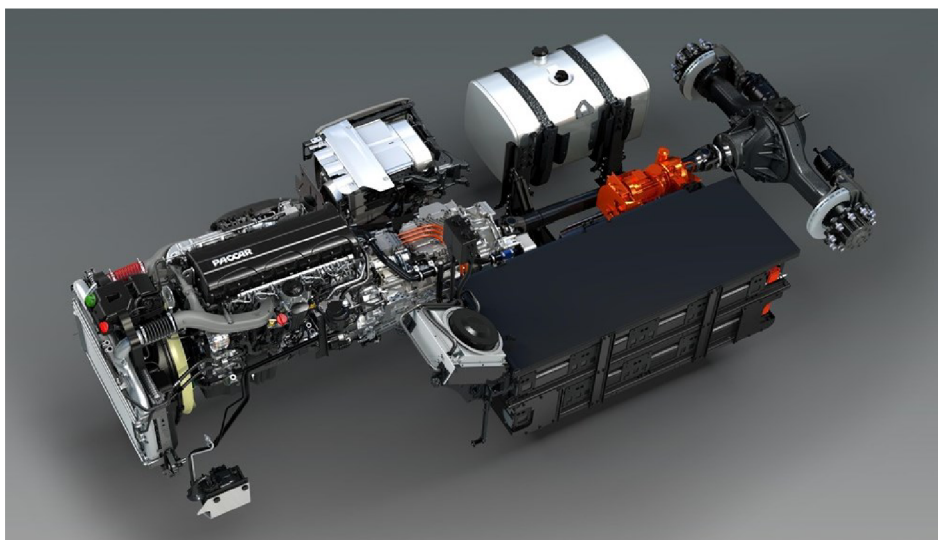
2.2.1 DAF

DAF Trucks NV je technologická společnost a jeden z největších výrobců nákladních vozidel v Evropě. Byla založena v roce 1928 Hubem van Doornem v Eindhoven. V současnosti je DAF dceřinou společností Paccar Inc., která je přední globální technologickou společností podnikající ve vývoji, výrobě a zákaznické podpoře vysoce kvalitních lehkých, středně těžkých a těžkých nákladních vozidel. Dále navrhuje a vyrábí pokročilé vznětové motory, poskytuje finanční služby a zajišťuje distribuci náhradních dílů pro nákladní automobily. Paccar prodává vozidla pod značkami DAF, Kenworth a Peterbilt. [26]

Společnost DAF vyrábí svá elitní nákladní vozidla ve výrobních závodech v Nizozemsku, Belgii, Velké Británii, Brazílii, Austrálii a Tchaj-wanu. Produkty značky DAF jsou prodávány a opravovány po celém světě. Nabízeny jsou řady vozidel od celkové hmotnosti vozidla 7,5 tuny po jízdní soupravy s celkovou hmotností až 50 tun. Všechny výrobky DAF jsou charakteristické skvělou kvalitou a uzpůsobeny pro různé podoby přepravy. Nákladní vozy DAF mají nízké provozní náklady na kilometr v porovnání s ostatními značkami, skvělou efektivitu a poskytují řidičům nejvyšší pohodlí. DAF se snaží snižovat dopad jejich činnosti na životní prostředí a nabízí množství palivově úsporných a ultračistých vznětových motorů splňující nejstříktnější emisní normy. [26]

2.2.1.1 Hybridní pohon (HEV)

DAF je jedním z mála evropských výrobců nákladních vozidel, kteří nabízí hybridní elektrická vozidla (HEV). Kombinuje plně elektrický pohon a úsporný vznětový motor, který je pokládán za velmi slibnou technologii. Těmito nákladními vozidly jsou DAF CF Hybrid Innovation, které jsou vybaveny 10,8 l naftovým motorem Paccar MX-11 a elektromotorem ZF se speciální převodovkou pro hybridní pohony (Obr. 2.7). Při používání vznětového motoru se dobíjí baterie s 85 kWh, která pohání elektromotor. Pokud je sada baterií nabitá do plna, tak je elektrický dojezd až 50 kilometrů podle zatížení. Tento dojezd je uspokojivý pro jízdu do města a zpět. Mimo městské oblasti vozidlo využívá dieselový motor, kterým je možné dosahovat delší vzdálenosti. [26]



Obr. 2.7 Rozložení pohonné soustavy DAF CF Hybrid

Zdroj: [26].

Hybridní provedení pomáhá dopravcům splňovat neustále striktnější emisní normy, které se budou nadále zpřísnovat. Tento typ pohonu vozidel je určen zejména pro středně těžká a těžká nákladní vozidla, která jsou využívána spíše na dálkové trasy mimo město. Čistý dieselový motor zajišťuje maximální dojezd a flexibilitu mimo město, zatímco technologie plně elektrického pohonu nabízí bezemisní provoz na území města. Společnost DAF tuto technologii vnímá jako snadnější způsob pro splnění emisních norem, ale také jako možnost snížení spotřeby vozidel, která je velice důležitá pro dopravní firmy. [26]

2.2.1.2 Elektrický bateriový pohon (BEV)

DAF je významným dodavatelem elektrických nákladních vozidel a jedním z prvních evropských výrobců, kteří úspěšně představili na trhu plně elektrické nákladní vozidlo. Pro společnost je důležitá vynikající kvalita a spolehlivost, proto jsou všechny technologie elektrických hnacích soustav důkladně testovány. Vozidla je možné nabíjet v domácím depu, při nakládce nebo vykládce zboží. Nevýhodou je jejich cena, která je stále vyšší než u vznětových motorů. Možností, jak tuto cenu snížit je zjištění místních a národních vládních programů na podporu elektromobility a jejich dosažení. [26]

Společnost DAF nabízí několik vozidel s plně elektrickým pohonem. Konkrétně se jedná o modely DAF LF Electric a vozidla nové generace DAF XD a XF Electric. DAF LF Electric je vybaven elektromotorem o maximálním výkonu 370 kW, který je napájen 282 kWh akumulátorem. Při úplném vybití lze baterii nabít ze síťového napětí za 12 hodin

a rychlonabíječkou zhruba za 2 hodiny, což je skvělá hodnota v této kategorii vozidel. DAF LF Electric nabízí maximální dojezd 280 km, celková hmotnost vozidlo je 19 tun s užitečným zatížení 11,7 tuny. [26]

Vozidla nové generace DAF XD a XF Electric (Obr. 2.8) jsou poháněna účinnými a spolehlivými elektrickými motory Paccar EX-D1 a EX-D2 s permanentním magnetem. Tyto motory nabízí maximální výkon 350 kW s dojezdem přes 400 km na jedno nabití. Dobití na 100 % z vybitého stavu lze za méně než 2 hodiny a z 0 % na 80 % za pouhých 45 minut. Tyto vozidla jsou vhodná zejména pro distribuci v městských a okolních oblastech. [26]



Obr. 2.8 Rozložení pohonné soustavy DAF XD Electric

Zdroj: [26].

2.2.1.3 Vodíkový pohon

V současné době společnost DAF vyvíjí vodíkový pohon, který se má do budoucna stát velmi zajímavou možností a doplnit tak nabídku alternativních nákladních vozidel. DAF vidí vodíkový pohon jako cestu k ekologičtější a udržitelnější dopravě. Aktuálně existují dvě možnosti využití vodíku a v obou případech je možné dosáhnout 100% poklesu emisí CO₂ za předpokladu použití ekologicky vyrobeného vodíku. Společnost DAF a Paccar zkoumají vodíkové pohony ve dvou variantách. Prvním způsobem je použití palivových článků využívající vodík ke generování elektřiny a napájení elektrického motoru a druhou variantou je využití vodíku jako paliva pro spalovací motor. [26]

V současnosti je vývoj ve fázi testování a nikdo není schopen dodat dopravcům vozidla s vodíkovým pohonem. Bohužel vodík je dostupný jen v omezeném množství a je potřebné jej stlačit pod velmi vysokým tlakem za velmi nízkých teplot -253°C . I přesto společnost DAF získala ocenění „Truck Innovation Award 2022“ za inovativní nákladní vůz DAF XF H₂ s vodíkovým motorem s vnitřním spalováním. [26]

2.2.2 SCANIA

Scania je jedním z největších výrobců nákladních vozidel, autobusů, lodních a průmyslových motorů. Scania AB je akciová společnost, která nabízí také služby financování, pojištění a pronájmu vozidel. Společnost Scania je součástí Traton Group, pod kterou úzce spolupracují značky Scania, MAN, Volkswagen Caminhões e Ônibus a Navistar. Společnost Scania sídlí ve městě Södertälje ve Švédsku, avšak výrobní závody se nachází po celém světě jako například v jihoafrickém Johannesburgu, v brazilském Sao Paulo nebo švédské Lulei. Scania nabízí největší počet vozidel na alternativní paliva, zároveň je lídrem v autonomních a elektrifikovaných dopravních technologiích. [27]

2.2.2.1 Hybridní pohon (HEV, PHEV)

Scania je dalším ojedinělým evropským výrobcem nákladních vozidel, který nabízí hybridní elektrická nákladní vozidla. Nicméně na rozdíl od společnosti DAF vyrábí jak hybridní (HEV), tak i plug-in hybridní (PHEV) nákladní vozidla. Tato hybridní vozidla jsou prodávána ve třech modelových řadách, a to v řadě L, P a G. Hybridní nákladní vozidla využívají silných stránek tradičního spalovacího motoru i elektronického pohonu. Výhodou hybridního pohonu je možnost bezemisního a tichého provozu a zároveň zachování prodlouženého dojezdu. Společnost Scania nabízí navíc automatizované přepínání mezi spalovacím a elektrickým pohonem na základě geografických zón a časových plánů. [27]

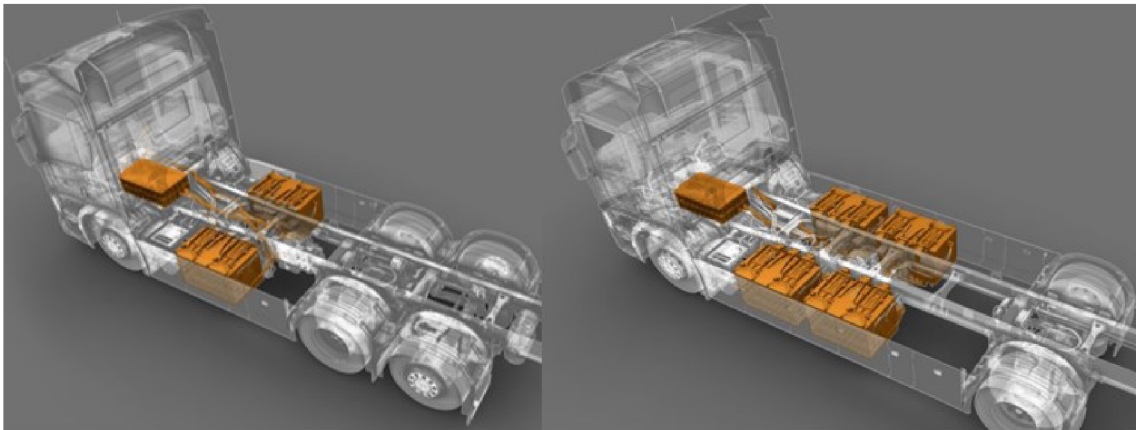
Plug-in hybridní vozidla (PHEV) jsou dodávány se 3 bateriemi a celkovou kapacitou 90 kWh. Tento typ vozidla má dojezd na čistě elektrický pohon až 60 km. Nabíjení je zajištěno pomocí konektoru CCS nebo stejnosměrného proudu, při výkonu 95 kW je možné akumulátor nabít přibližně za 35 minut. Vozidla jsou také vybavena dieselovým motorem o maximálním výkonu 360 koňských sil. Celková hmotnost soupravy může být maximálně 36 tun. [27]

Hybridní vozidlo (HEV) je bez externího nabíjení a dodává se pouze s jednou baterií, která je uložena na levé straně podvozku. Celková kapacita baterie je 30 kWh s dojezdem na elektrický pohon 15 km. Hybridní vozidlo je vybaveno stejně jako PHEV dieslovým motorem se stejným výkonem a stejnou celkovou hmotností 36 tun. [27]

2.2.2.2 Elektrický bateriový pohon (BEV)

Scania vidí budoucnost nákladních vozidel v elektrickém pohonu, ne ve vodíku. Cílem společnosti Scania je zaujmout vedoucí postavení mezi výrobci, kteří se podílí na postupném přechodu k trvale udržitelným přepravním systémům. Scania nabízí dva typy bateriových elektrických vozidel (BEV), a to pro městskou nebo regionální přepravu.

Bateriové elektrické vozidlo pro městskou přepravu je dostupné ve dvou modelových řadách P a L. Vozidlo je vybaveno sadou akumulátorů (Obr. 2.9) ve variantách 165 kWh (5 baterií) nebo 300 kWh (9 baterií) s maximálním výkonem elektromotoru 295 kW. Dojezd nákladního elektrického vozidla s 9 bateriemi je přibližně 250 km a jeho celková hmotnost je max. 29 tun. [27]



Obr. 2.9 Scania BEV 5 baterií (vlevo) a 9 baterií (vpravo)

Zdroj: [27].

Bateriové elektrické vozidlo pro regionální přepravu je nabízeno jako nákladní vozidlo s nástavbou nebo tahač s návěsem. BEV pro regionální přepravu je k dispozici v modelovém provedení R a S. Dojezd je až 350 km při 40 tunovém zatížení a 250 km při maximální hmotnosti soupravy 64 tun. Plné nabití vozidla je možné za méně než 90 minut při výkonu 375 kW. [27]

2.2.2.3 Plynový pohon (CNG, LNG)

Společnost Scania nabízí plynová nákladní vozidla, která jsou vysoce přizpůsobivá se skvělými jízdními vlastnostmi, nízkou spotřebou paliva a dojezdovou vzdáleností až 1 600 km. V nabídce jsou vozidla jak pro městskou, regionální tak i pro dálkovou dopravu. Plynová nákladní vozidla představují ideální rovnováhu mezi výkonem, nízkými emisemi a dojezdovou vzdáleností. [27]

Scania nabízí buď 13litrový plynový motor, který je určen pro dálkovou přepravu, stavebnictví a městský provoz nebo 9litrový motor s tichým chodem. Plynové motory Scania vynikají svou nízkou spotřebou paliva. Klasické nákladní vozidlo s návěsem o maximální hmotnosti 40 tun může ujet 1 100 km bez potřeby natankovat palivo. Pokud použijeme dvě palivové nádrže u vozidla s nástavbou, tak je dojezdová vzdálenost přibližně 1 600 km. Zemní plyn a bioplyn je možné zaměňovat, při použití zemního plynu se mohou emise CO₂ snížit o 20 % a při použití bioplynu až o 90 % ve srovnání s podobným vznětovým motorem. [27]

U aplikace CNG jsou k dispozici nádrže 4 x 80L, 4 x 95L nebo 4 x 118L s dojezdem přibližně 500 km. Stlačený plyn je dostupnější a má jednodušší postup tankování než LNG. Naopak u aplikování zkapalněného plynu je výhodná vysoká energetická hustota LNG, která nabízí možnost využití pro dálkovou dopravu. Při celkovém objemu nádrže 1 100 l je pravděpodobný dojezd zhruba 1 600 km. Plynová nákladní auta jsou k dispozici pro modelové řady P, G, R a S. Maximální výkon plynových vozidel je 410 koňských sil. [27]

2.2.3 VOLVO

Společnost Volvo Trucks byla založena v roce 1927, své sídlo má ve švédském městě Göteborg. Společnost se při vzniku zavázala podporovat prosperitu a vytvářet budoucnost díky udržitelné dopravě, mobilitě a infrastruktuře. Volvo Trucks je součástí koncernu Volvo Group, kam patří také Renault Trucks, Mack Trucks, Rokbak, Prevost a další. Volvo poskytuje kompletní nabídku nákladních vozidel, autobusů, stavebního vybavení, energetického řešení pro námořní a průmyslové aplikace a financování služeb. [28]

V současné době Volvo nabízí velké množství alternativních vozidel, které jsou klíčovou součástí jejich strategie k trvale udržitelné přepravě. Volvo má v nabídce vozidla na plynový pohon, která jsou vhodná k přepravě těžkého nákladu na delší vzdálenosti, dále

elektrická vozidla, která jsou využívána spíše do městských oblastí a k přepravě mezi městy. Kromě toho je možné tankovat do diesellových nákladních vozidel palivo HVO vyrobené z obnovitelných zdrojů. [28]

2.2.3.1 Elektrický bateriový pohon (BEV)

V roce 2022 vzrostl trh těžkých elektrických nákladních vozidel v Evropě o 200 % na 1 041 nákladních vozidel a Volvo Trucks má na tomto trhu nejvyšší podíl. Společnost Volvo nabízí hned několik modelových řad poskytující elektrický pohon, a to Volvo FH, FM, FMX, FE a FL Electric. [28]

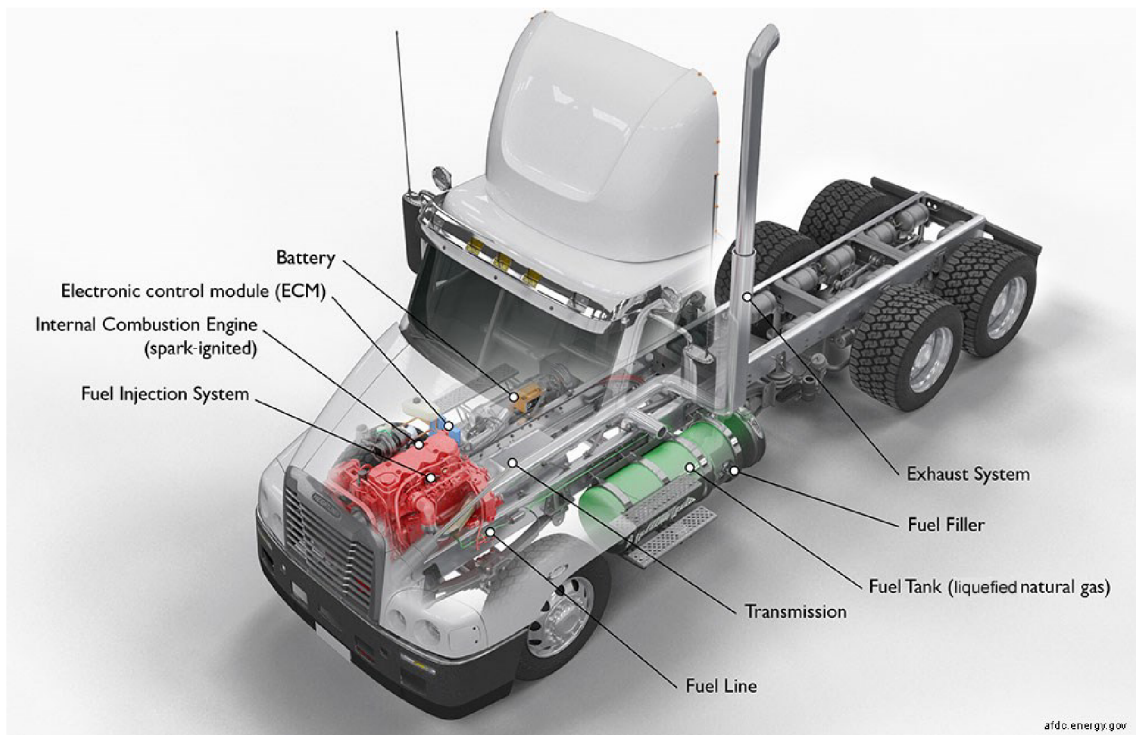
Volvo FH Electric je vhodný pro přepravu mezi městy, Volvo FM Electric je ideální pro velkokapacitní dodávky potravin, přepravu kontejnerů, jeřábové služby a další činnosti v metropolitních oblastech. Volvo FMX Electric se využívá k přepravě těžkých materiálů a strojů v citlivých částech města bez výrazného rušení okolí. Tyto tři typy jsou k dispozici jako tahače i podvozky k dostavbě, jejich celková hmotnost soupravy je až 44 tun, nejvyšší výkon 490 kW a dojezd přibližně 300 km. Vozidla disponují 2 - 3 elektromotory a 2 - 6 akumulátorů s kapacitou až 540 kWh. Tato elektronická nákladní vozidla se nabíjí 2,5 h stejnosměrným proudem a 9,5 h střídavým proudem. [28]

Dalším elektrickým vozidlem je Volvo FE Electric, které je užíváno pro náročné typy městské přepravy, jako je sběr odpadu, lehká přeprava ve stavebnictví a distribuce. Je to třínápravové nákladní vozidlo s celkovou hmotností 27 tun a výkonem až 225 kW. Dojezd vozidla je 200 km a nabíjí se 2 h stejnosměrným nebo 11 h střídavým proudem. Posledním elektrickým nákladním vozidlem od společnosti Volvo je FL Electric, které má 2 nápravy s nejvyšší hmotností 16,7 tuny. Vozidlo je vhodné pro přepravu zásilek po městě nebo svoz odpadu. Tento vůz má dojezd 300 km a jeho dobítí stejnosměrným proudem trvá pouze 1,5 h, avšak jeho výkon je jen 130 kW. [28]

2.2.3.2 Plynový pohon (CNG, LNG)

Společnost Volvo Trucks má již několik let v nabídce ekologičtější alternativu k naftovému pohonu, a to pohon na stlačený zemní plyn (CNG) a zkapalněný zemní plyn (LNG). Volvo je jednou z mála společností, která vyvinula pohonnou jednotku na zkapalněný zemní plyn (LNG) v nákladní dopravě. Tento výrobce nabízí plynový pohon na jakékoliv použití, od sběru odpadu a rozvázkové služby až po regionální a dálkovou přepravu. [28]

Pro přepravu ve městě je vhodné Volvo FE CNG s dojezdem 400 km. Nákladní vozidlo využívá technologii zapalovacích svíček a produkuje výkon 320 koní. Pro dálkovou a regionální přepravu je možné využít Volvo FM nebo FH LNG, poskytující dojezd až 1 000 km. Tato vozidla jsou nabízena s výkonem 500 koní a s celkovou hmotností soupravy 60 tun. Schéma pohonné soustavy vozidla spalující LNG je možné vidět na obrázku. 2.10. [28]



Obr. 2.10 Schéma pohonné soustavy vozidla na LNG

Zdroj: [28].

2.2.3.3 Vodíkový pohon

Volvo Trucks vstupuje do finální fáze testování těžkých nákladních vozidel poháněných palivovými články a už brzy plánuje pilotní projekty nasadit do běžného provozu u vybraných zákazníků. Nákladní vozidlo by mělo mít dojezd až 1 000 km s 15minutovým doplněním zásobníků a možností pohánět soupravy o celkové hmotnosti 65 tun. Vozidlo používá dva palivové články s kapacitou 300 kW, k dispozici je i vyrovnávací baterie při nutnosti zvýšeného výkonu. Komercializace těchto vodíkových vozidel by měla být zhruba okolo roku 2030. [29]

2.2.4 RENAULT

Renault Trucks je francouzská značka automobilů, která je ve vlastnictví společnosti Volvo Group. Renault má společný postup při vývoji alternativních pohonů se švédským Volvem, avšak Renault smí představovat vyvinuté technologie zhruba s dvouletým zpožděním na rozdíl od Volva. Renault má aktuálně ve své nabídce pouze dva alternativní pohony, kterým je elektrický pohon a CNG. Tyto pohony jsou spíše na městskou a regionální přepravu, ale společnost Renault nemá žádné alternativní řešení pro těžkou dálkovou přepravu. [30]

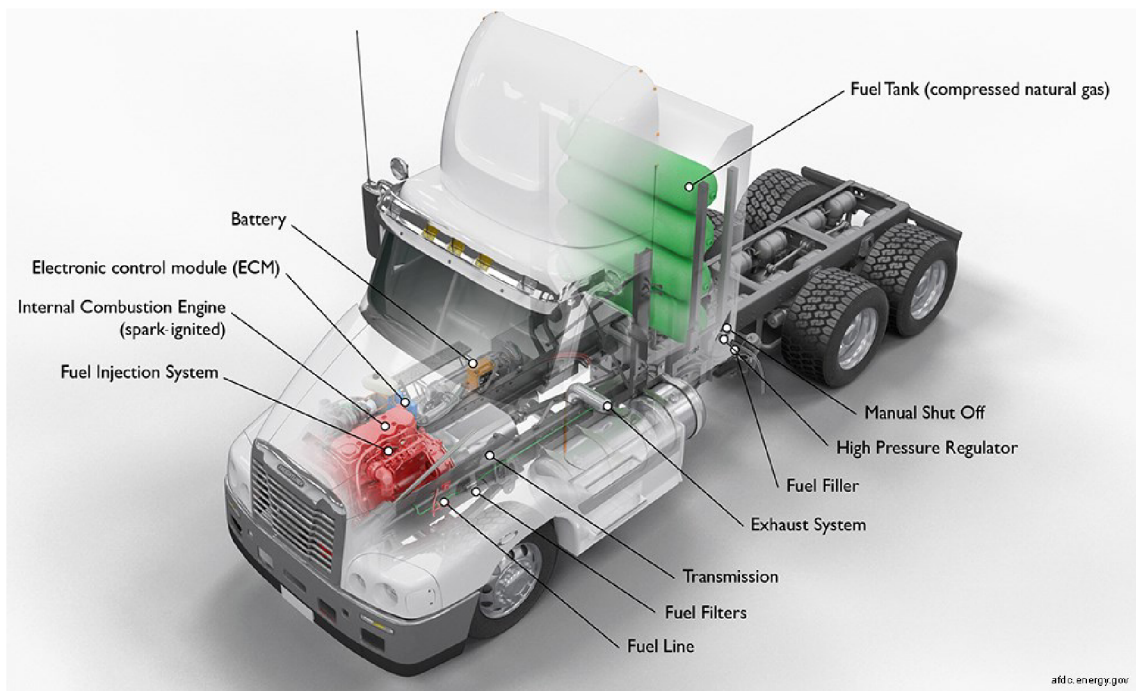
2.2.4.1 Elektrický bateriový pohon (BEV)

Výrobce vozidel Renault Trucks nabízí elektrická nákladní vozidla E-Tech ve dvou modelových řadách D a D Wide. Elektrické vozidlo Renault Trucks D Wide E-Tech je ideálním vozidlem pro svoz městského odpadu a ostatní přepravy na území města. Při rychlém nabíjení je auto připraveno za méně než 2 h a při nabíjení střídavým proudem je auto plně nabito přes noc. Užitečné zatížení vozidla je 11 tun s celkovou hmotností 19 - 26 tun podle nástavby. Maximální výkon je 370 kW a kapacita akumulátoru 375 kWh s dojezdem až 315 km. [30]

Vozidlo Renault Trucks D E-Tech je vhodný do zón s dopravním omezením nebo v zónách s nízkými emisemi. Celková hmotnost vozidla je 16 tun a užitečné zatížení 11 tun. Dojezd až 400 km, kapacita akumulátoru je 565 kWh s maximálním výkonem 185 kW. Vozidlo je plně nabito do dvou hodin nebo přes noc v závislosti na využití druhu proudu. [30]

2.2.4.2 Plynový pohon (CNG)

Renault má ve své nabídce s plynovým pohonem pouze jeden typ vozidla, a to model D Wide CNG, který je určen zejména k svozu odpadu a městskou a příměstskou distribuci. CNG technologie je nabízena se zdvihovým objemem 8,9 litrů a výkonem 320 koní, která poskytuje dojezd až 800 km. Kapacita nádrží na stlačený zemní plyn je buď 800 litrů (8 nádrží) nebo 600 litrů (Obr. 2.11). [30]



Obr. 2.11 Schéma pohonné soustavy vozidla na CNG

Zdroj: [30].

2.2.5 MAN

Společnost MAN Truck & Bus je německý výrobce nákladních aut, autobusů, dodávek, dieselových a plynových motorů a služeb souvisejících s přepravou osob a zboží. MAN patří do jednoho z největších automobilových koncernů Volkswagen Group. Sídlo společnosti MAN je v německém Mnichově, kde také probíhá výroba a vývoj nákladních vozidel. Společnost MAN se věnuje více alternativním pohonným jednotkám hlavně u autobusů, které běžně využívají elektrický, hybridní nebo CNG pohon. Nákladní vozidla MAN jsou jako alternativa za dieselové motory pouze v elektronické verzi. [31]

2.2.5.1 Elektrický bateriový pohon (BEV)

Výrobce vozidel MAN nabízí pouze jednu modelovou řadu s elektrickým pohonem MAN eTGM. Vozidlo je 100 % elektrické, vhodné pro použití v městské přepravě zboží a distribuční dopravě. MAN eTGM disponuje srovnatelným užitečným zatížením jako nákladní vůz s klasickým spalovacím motorem. Dojezd vozidla je 190 km s funkcí rychlého dobíjení, které trvá přibližně 1 hodinu. Poskytuje maximální výkon 264 kW a kapacitou akumulátoru 185 kWh. [31]

2.2.6 MERCEDES BENZ

Mercedes Benz je německý výrobce osobních automobilů, nákladních vozidel a autobusů, který je součástí divize společnosti Daimler Truck. Značka Mercedes Benz je považována za prvotřídní kvalitu produktů a služeb, hospodárnost, spolehlivost a udržitelnost. V oblasti nákladní dopravy nabízí správná řešení pro lehká, středně těžká a těžká vozidla, jak v dálkové, distribuční či stavební přepravě. Mercedes Benz má ve své nabídce dva typy elektrických vozidel eActros a eEonic. Mercedes pod záštitou Daimler Trucks v současnosti testuje a porovnává ekonomickou a ekologickou efektivitu vodíkových, bateriových a trolejových tahačů. Tato společnost vsadila vše na elektrický pohon, který je zajišťovaný bateriemi nebo vodíkem. [32]

2.2.6.1 Elektrický bateriový pohon (BEV)

Společnost Mercedes Benz poskytuje elektrické nákladní vozidlo eActros v různých výkonnostních a hmotnostních variantách. Základní typ eActros 300 nabízí užitečnou hmotnost 10,6 tun s maximálním výkonem motoru 400 kW a dojezdem 330 km. Doba nabíjení z 20 % na 80 % je 1 h 15 min. Nadstandardní variantou je eActros 400 s rozšířeným dojezdem, který má užitečné zatížení 16,6 tun se stejným výkonem jako základní typ, ale s dojezdem až 400 km. Dobití 60% trvá o 25 minut déle než u základní verze. Vozidlo je určeno pro těžkou distribuční dopravu v městských oblastech. [32]

Druhou variantou elektrického bateriového pohonu je Mercedes Benz eEonic, který je primárně určen jako popelářské auto v městském provozu. Díky nízkému nástupu a rovné podlaze kabiny řidiče je považováno za mimořádně ergonomické vozidlo, které mimo jiné disponuje spoustou asistenčních systémů. V závislosti na počasí a provoz je vozidlo schopno po městě ujet až 150 km, při užitečném zatížení 17,7 tuny s maximálním výkonem 400 kW, doba nabíjení z 20 % na 80 % je 1h 15 min. [32]

2.2.6.2 Vodíkový pohon

Před časem byl představen koncept nákladního vozidla s palivovými články Mercedes Benz GenH2 Truck, který získal od německého úřadu homologaci pro silniční provoz. Nákladní vozidlo poháněné na vodík bude koncipováno pro dojezd více než 1 000 km bez nutnosti doplnění paliva. Společnost preferuje kapalný vodík, jelikož má v porovnání s plynným vodíkem výrazně vyšší hustotu energie na jednotku objemu. Vodík bude

uskladněn ve dvou nádržích z ušlechtilé oceli, které jsou vzájemně spojeny a vakuově izolovány. Jedna nádrž pojme 40 kg vodíku a zajistí tak požadovaný dojezd. [33]

Palivové články vyrábějící elektřinu budou poskytovat maximální výkon 2 x 150 kW, sada akumulátorů bude mít výkon 400 kW. Účelem akumulátorů není pokrytí spotřeby energie, ale zvyšování výkonu palivových článků, například při přepravě plně naložené soupravy do kopce nebo při akceleraci. Pohon budou produkovat dva elektromotory s nejvyšším výkonem 2 x 330 kW. Nákladní vozidlo Mercedes Benz GenH2 Truck by měl mít celkovou hmotnost 40 tun a užitečnou až 25 tun. Avšak sériově vyrobená vozidla budou předána zákazníkům nejspíš až v roce 2027. [33]

2.2.7 Vyhodnocení nabídky alternativních pohonů u zvolených výrobců nákladních vozidel

Vzhledem k rychle se měnícímu trhu a novým technologiím se nabídka alternativních pohonů mezi výrobci nákladních vozidel neustále mění. Nicméně, většina významných evropských výrobců nákladních vozidel nabízí širokou škálu alternativních pohonů (viz Tab. 2.1).

Nejvíce alternativních pohonů má v nabídce společnost Scania, která poskytuje čtyři druhy těchto vozidel, a to plně elektrická, hybridní a plynová vozidla (CNG i LNG). Druhým významným výrobcem těchto alternativních pohonů je společnost Volvo, která poskytuje tři typy, jedná se také o plynová (CNG i LNG) a elektrická bateriová vozidla. Naopak nejméně druhů alternativních pohonů vozidel má v nabídce společnost MAN, která disponuje pouze bateriovým elektrickým vozidlem, což by do budoucna mohl být konkurenční problém.

Tab. 2.1 Nabídka alternativních pohonů u zvolených výrobců nákladních vozidel

Výrobce	BEV	HEV/PHEV	CNG	LNG	Vodík
DAF	X	X			X
SCANIA	X	X	X	X	
VOLVO	X		X	X	X
RENAULT	X		X		
MAN	X				
Mercedes Benz	X				X

Zdroj: vlastní zpracování.

V Evropě můžeme za průkopníky ve vodíkovém pohonu podle tabulky 2.1 považovat tři výrobce nákladních vozidel, těmi jsou DAF, Volvo a Mercedes Benz. Tyto společnosti se zabývají vodíkovou technologií a již představují svá vodíková vozidla. Někteří výrobci doufají, že by vozidla s vodíkovým pohonem mohla být k dispozici již kolem roku 2025. Vodíková technologie je stále ve fázi vývoje a testování, ale již teď je považována jako skvělá alternativa k elektrickému bateriovému pohonu. Vodíková technologie je tedy brána jako budoucnost nákladní dopravy, zejména pro přepravu na dlouhé vzdálenosti.

2.2.7.1 Vyhodnocení nabídky BEV vozidel

V současnosti existuje v Evropě celá řada výrobců nabízející bateriová elektrická vozidla. Mezi nejvýznamnější patří Mercedes Benz (Daimler), DAF, Renault, Scania, Volvo nebo Iveco. Tito výrobci nabízejí řadu modelů s různými výkony, kapacitou baterie a dojezdem. V poslední době se nabídka nákladních vozidel BEV značně rozšířila a jejich výkon a dojezd se neustále zvyšují díky novým technologiím baterií a elektromotorů. Výrobci také přichází s novými inovativními řešeními, jako jsou autonomní nákladní vozidla.

V tabulce 2.2 jsou srovnány nabízené typy elektrických vozidel, které jsou seřazeny podle nejvyššího dojezdu. Aktuálně nejdelší dojezd BEV vozidel nabízí 3 výrobci, a to DAF, Renault a Mercedes Benz. DAF s modelem XD a XF Electric, které poskytují uspokojivý výkon, velkou kapacitu baterie, obrovskou rychlost dobíjení a dojezd přes 400 km (u modelu XD až 500 km). Dalším vozidlem je Renault D E-TECH, který má oproti DAFu o dost menší výkon a rychlost dobíjení, ale na druhou stranu velkou kapacitu baterie se stejnou dobou dobíjení a podobným dojezdem jako zmiňovaný DAF. Třetím modelem s nejdelším dojezdem je vozidlo Mercedes Benz eActros 400, který nabízí nejvyšší výkon s uspokojivou kapacitou baterií, ale delší dobou nabíjení až 2,5 h.

Celkově lze říci, že výrobci nákladních vozidel nabízí množství alternativních pohonů, které se liší výkonem, dojezdem a pořizovací cenou. Záleží tedy na konkrétních potřebách a preferencích zákazníků, který pohon si vyberou.

Tab. 2.2 Srovnání BEV vozidel podle dojezdu

Značka vozu	Typ	Výkon (kW)	Kapacita baterií (kWh)	Rychlost dobíjení (kW)	Délka dobíjení (h)	Dojezd (km)
DAF	XD, XF Electric	350	525	350	2	400
RENAULT	D E-TECH	185	565	150	2	400
Mercedes Benz	eActros 400	400	448	160	2,5	400
SCANIA	BEV R, S	375	624	375	1,5	350
Mercedes Benz	eActros 300	400	336	160	2	330
RENAULT	D WIDE E-TECH	370	375	150	2	315
VOLVO	FH, FM, FMX Electric	490	540	250	2,5	300
VOLVO	FL Electric	130	395	150	1,5	300

Zdroj: vlastní zpracování.

3 Zpracování návrhu

Tato kapitola ověřuje data, se kterými se v diplomové práci pracuje a porovnávají se standardní a alternativní pohony silničních nákladních vozidel v reálných podmínkách. Nejprve jsou představeny tahače, které jsou následně vyslány na trasu z Prostějova do Frankfurtu nad Mohanem a zpět. Na závěr kapitoly je provedena analýza provozu těchto nákladních vozidel za 5 let.

3.1 Charakteristika nákladních vozidel

Vybraná nákladní vozidla se vždy skládají z tahače a návěsu. Kvůli zajištění stejných podmínek, mají návěsy shodné rozměry, stejný počet náprav a jsou naložené stejně těžkým nákladem. Návěsy mají standardní evropské rozměry: šířka 2,55 m, výška 4 m a délka 16,5 m. Jediným rozdílem bude pouze druh pohonu.

Pro tuto diplomovou práci jsou zvoleny čtyři druhy pohonů: naftový, CNG, LNG a elektrický bateriový pohon. Všechny tahače jsou nové a ceny byly poptávány u prodejců nákladních vozidel. Bohužel některé ceny či data o alternativních vozidlech jsou spíše odhadovaná nebo odvozená od osobních, protože automobilky s veřejností zatím sdílí pouze propagační data, která nejsou vždy přesná. V následujících kapitolách jsou uvedeny všechny ceny bez DPH a ceny nákladních vozidel jsou pouze orientační za tahač bez návěsu. Předpokladem je, že dopravní firmy mají své vlastní návěsy. Pořizovací cena jednoho plachtového návěsu se podle výbavy pohybuje kolem 1 milionu Kč.

3.1.1 Naftový pohon

Naftový pohon je v současnosti nejrozšířenějším a nejspolehlivějším typem nákladních vozidel. Pro přesnější výsledky bylo zvoleno konkrétně nákladní vozidlo DAF XG 480 Lowdeck nové generace na obrázku 3.1. Cena vozidla se pohybuje okolo 2,6 milionu korun bez DPH, nabízí dojezd více než 4 200 kilometrů s objemem nádrže 1 245 litrů. Díky tak velkému disponibilnímu dojezdu a husté síti čerpacích stanic se může naftové vozidlo vydat v podstatě kamkoliv po Evropě.

Nevýhodu se stala cena pohonných hmot, která se během dvou let zvýšila zhruba o 40 %. Aktuálně se cena nafty snižuje a pohybuje se okolo 29 korun za litr bez DPH. Další významnou položkou je pro dopravce cena AdBlue, která se v minulých letech zvýšila až na desetinásobek své původní ceny, nyní litr AdBlue stojí kolem 17 korun. Cena PHM na obrázku 3.1 je součtem ceny nafty a AdBlue na 1 km.

DAF XG 480 Lowdeck - naftový pohon



Pořizovací cena 2 600 000 Kč	Objem nádrží 1 245 l
Průměrná spotřeba 28 l / 100 km	Dojezd 4 200 km
Cena PHM 8,46 Kč / km	Emise CO₂ 739,2 g / km
Servisní náklady 0,80 Kč / km	

Obr. 3.1 Charakteristika tahače DAF XG 480 Lowdeck – naftový pohon

Zdroj: vlastní zpracování.

Naftový pohon má ještě jednu negativní stránku, kterou je množství vyprodukovaných emisí. Pro zjištění emisí byl využit vzorec pro výpočet oxidu uhličitého. Množství vyprodukovaného CO₂, který tahač vypouští do ovzduší je přímo úměrné spotřebě paliva a kyslíku. Důležitý je tedy obsah uhlíku, který má daný typ paliva. Obecný vzorec pro výpočet CO₂ je níže na obrázku 3.2 a následuje výpočet průměrné emise CO₂ při použití naftového nákladního vozidla.

$$\frac{\text{kombinovaná spotřeba} \text{ [litr/100 km]}}{100} * \text{množství oxidu uhličitého vzniklého při spálení 1 litru paliva [g]} = \text{průměrné emise CO}_2 \text{ [g/km]}$$

Obr. 3.2 Vzorec pro výpočet emisí CO₂

Zdroj: [34].

Výpočet emisí CO₂

$$\frac{28}{100} \cdot 2640 = 739,2 \text{ g/km}$$

Naftové nákladní vozidlo splňuje nejpřísnější emisní normu EURO VI, ale i tak vyprodukuje zhruba 739,2 gramů na kilometr.

3.1.2 CNG pohon

První vhodnou alternativou naftového pohonu je stlačený zemní plyn, který se v Evropě využívá již řadu let. Díky tomu je možné se spolehnout na vyhovující infrastrukturu směrem na západ a dostačující směrem na jih a sever od ČR. Směrem na východ se rozvinutost infrastruktury plnicích stanic CNG liší podle států viz Obr. 1.2.

Jako zástupce CNG pohonu byl zvolen nový tahač Scania R 410 (Obr. 3.3), který disponuje dojezdem až 600 km na jedno plnění. Nový CNG tahač je dražší oproti diesellovému zhruba o 30 %, takže jeho pořizovací cena se pohybuje kolem 3,38 milionu korun.

Scania R 410 - CNG		
	Pořizovací cena 3 380 000 Kč	Objem nádrží 472 l
	Průměrná spotřeba 26 kg / 100 km	Dojezd 600 km
	Cena PHM 8,58 Kč / km	Emise CO₂ 693,16 g / km
	Servisní náklady 1 Kč / km	

Obr. 3.3 Charakteristika tahače Scania R 410 – CNG

Zdroj: vlastní zpracování.

Aktuálně vychází náklady na pohonné hmoty na kilometr podobně jako u naftového tahače. Avšak velkou nevýhodou je proměnlivá cena stlačeného zemního plynu, který během roku zdražil o neskutečných 100 %, proto se aktuálně stal méně atraktivním alternativním pohonem pro dopravce. V současné době se cena CNG pohybuje okolo

33 Kč/kg bez DPH. Zásadní výhodou je nižší produkce emisí CO₂ o 7 % oproti dieselovému pohonu a splnění normy EURO VI.

3.1.3 LNG pohon

Druhým vybraným alternativním pohonem na delší vzdálenosti je pohon spalující zkapalněný zemní plyn. Tento typ pohonu je využíván již desítky let v USA, ale v Evropě se užívá pouze krátce. Proto je třeba počítat s méně rozvinutou infrastrukturou plnicích stanic a pečlivě plánovat své trasy. Podle obrázku 1.3 je nejvíce rozvinutá infrastruktura opět směrem na západ a v Itálii, bohužel směrem na východ od ČR je infrastruktura plnicích stanic LNG téměř nulová, což je zatím obrovskou nevýhodou tohoto pohonu.

Pro srovnání byl jako představitel LNG pohonu zvolen tahač od výrobce VOLVO z modelové řady FH (viz Obr. 3.4), který je stejně jako CNG dražší oproti naftovému tahači, a to o 40 %. Pořizovací cena nového tahače VOLVO s pohonem LNG vyjde zhruba na 3,64 milionu korun s disponibilním dojezdem více než 1 200 km.

VOLVO FH - LNG	
	
Pořizovací cena 3 640 000 Kč	Objem nádrží 545 l
Průměrná spotřeba 25 kg / 100 km	Dojezd 1 200 km
Cena PHM 11,25 Kč / km	Emise CO₂ 666,5 g / km
Servisní náklady 1 Kč / km	

Obr. 3.4 Charakteristika tahače VOLVO FH – LNG

Zdroj: vlastní zpracování.

Stejně jako u předchozích tahačů je nevýhodou cena pohonných hmot, která se u LNG zvýšila nejvíce, a to o neuvěřitelných 160 % během roku. Cena LNG byla počátkem roku 2021 okolo 25 Kč/kg, avšak v roce 2022 dosahovala již přes 66 Kč/kg bez DPH. Nyní se cena LNG pohybuje okolo 45 korun za kilo bez DPH.

3.1.4 Bateriové elektrické vozidlo

Posledním vybraným alternativním pohonem je nejnovější technologie nákladní dopravy, a to elektrické bateriové vozidlo. Jeho výhodami jsou nízké emise, tichý provoz a nižší náklady na údržbu. Na druhou stranu jsou stále vysoké náklady na samotné vozidlo a omezený dojezd na jedno nabití baterií, což může být problém pro delší vzdálenosti. Další nevýhodou jsou větší a těžší baterie, které zvyšují náklady na samotné vozidlo a mohou snížit nosnost vozidla.

Jako zástupce elektrických bateriových vozidel byl pro tuto práci vybrán tahač DAF XF Electric (Obr. 3.5) s dojezdem okolo 400 km. Tento dojezd je však pouze přibližný, protože vozidla BEV mají rekuperaci, tedy při brždění se baterie automaticky dobíjí a tím může být dojezd vyšší, naopak při extra chladném či horkém počasí se dojezd zkracuje. Ideální teplotní podmínky pro provoz BEV vozidla jsou totiž 10 – 25°C.

DAF XF Electric	
	
Pořizovací cena 5 200 000 Kč	Kapacita baterií 525 kWh
Průměrná spotřeba 140 kWh / 100 km	Dojezd 400 km
Cena PHM 18,20 Kč / km	Emise CO₂ 0 g / km
Servisní náklady 0,52 Kč / km	

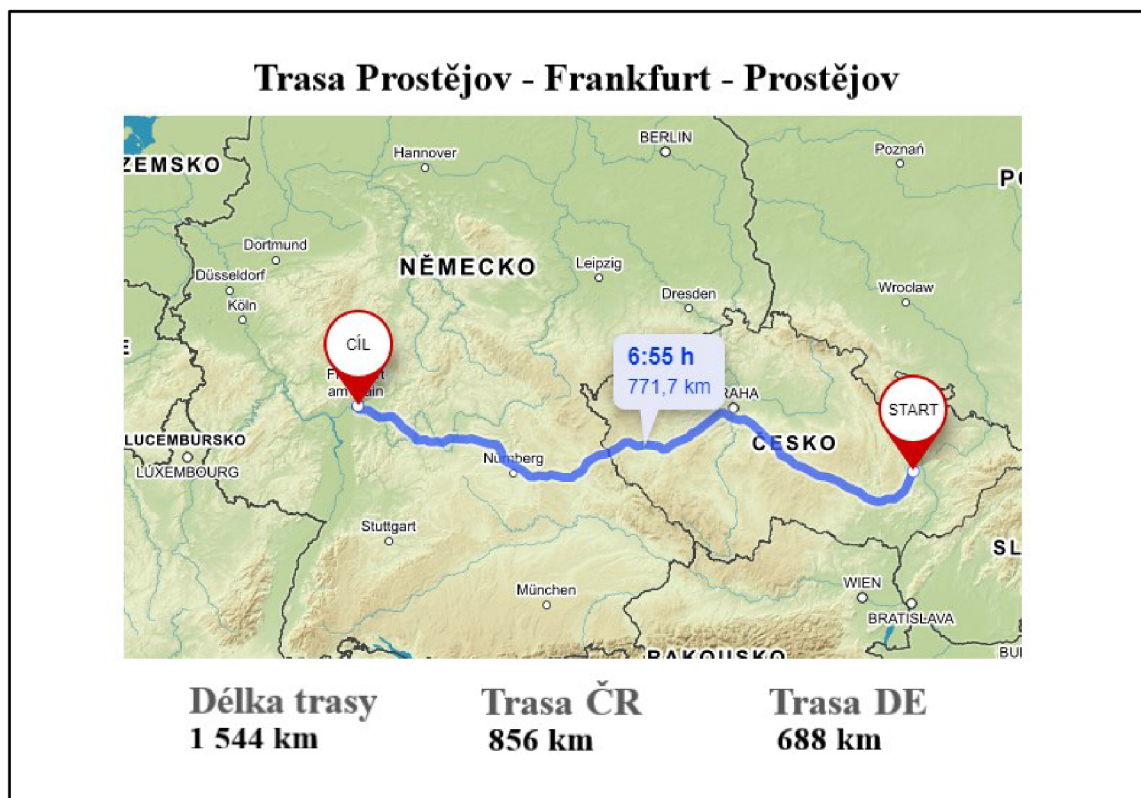
Obr. 3.5 Charakteristika tahače DAF XF Electric

Zdroj: vlastní zpracování.

Odhadovaná pořizovací cena tohoto nákladního vozidla by měla být kolem 5,2 milionu korun, jelikož elektrická vozidla půjdou teprve do prodeje a distributoři těchto vozidel nemají stále ceníky. Byla mi poskytnuta informace, že by cena měla být dvojnásobná v porovnání s naftovým tahačem. Náklady na kilometr jsou nejvyšší ve srovnání s ostatními porovnávanými vozidly, a to 18,20 Kč/km. Samozřejmě bylo počítáno s cenou za rychlonabíjecí stanici, aby byla doba nabíjení elektrického tahače co nejmenší. Nejvíce rychlonabíjecích stanic je opět v západní Evropě, takže směrem na západ od ČR by neměl být problém s dobitím vozidla za zhruba 2 hodiny.

3.2 Trasa CZ – DE

Pro srovnání nákladních vozidel byla vybrána trasa z Prostějova (CZ) do Frankfurtu nad Mohanem (DE) a zpět. Trasa vede konkrétně z logistického centra HOPI v Prostějově do kontejnerového překladiště Contargo Rhein ve Frankfurtu, oba areály jsou umístěny přímo u dálnice. Celková délka trasy je 1 544 km, z toho v ČR je dlouhá 856 km a v Německu 688 km (viz Obr. 3.6). Trasa vede téměř celá po dálnici, proto průměrná rychlost je 80 km/h. Značnou ekonomickou výhodou vozidel s alternativním pohonem při cestách do Německa je osvobození od placení mýtného. V České republice je mýto při použití CNG nebo LNG pohonu pouze o něco nižší oproti naftovému pohonu, výjimkou jsou bateriová elektrická vozidla, která neplatí mýto na území ani jednoho z těchto států.



Obr. 3.6 Profil trasy Prostějov – Frankfurt – Prostějov

Zdroj: vlastní zpracování.

Výběr takhle dlouhé trasy bude moci prověřit alternativní pohony z hlediska disponibilního dojezdu, ale také z pohledu zdržení při plnění či nabíjení nákladních vozidel. Tato trasa byla zvolena vzhledem k nejvíce rozvinuté infrastruktuře plnicích/nabíjecích stanic pro vybraná alternativní vozidla.

Všechny soupravy vyjíždí s plně naloženým návěsem dne 26. 4. 2023 v 6 hodin z logistického centra HOPI v Prostějově. Vozidla vyráží s plně natankovanými nádržemi či nabitými bateriemi, ale celkovou trasu tam i zpět zvládne bez natankování pouze dieselové nákladní vozidlo. Předpokládá se rozdílná technologie při plnění nádrží nebo nabíjení baterií, proto tato činnost bude jinak dlouhá u každého vozidla. Na trase předpokládáme mírný provoz, bez zdržení, dopravních nehod apod. Počítá se pouze s povinnou bezpečnostní přestávkou a denní dobou odpočinku řidiče, která je u všech vozidel stejná a potřebou tankovat pohonné hmoty. Srovnávaná vozidla mají tedy totožné podmínky a jediným rozdílem jsou odlišné druhy pohonů. Pomocí těchto podmínek je možné docílit relevantních výsledků a srovnání.

3.2.1 Naftový pohon

Naftový tahač DAF XG 480 Lowdeck s naloženým návěsem vyjíždí 26. 4. 2023 v 6:00 z logistického centra HOPI v Prostějově s plnými nádržemi nafty. Celková délka trasy je 1 544 kilometrů. Tahač má k dispozici dojezd přesahující 4 200 km, proto je schopen zvládnout celou trasu bez zbytečného zdržení v podobě tankování nafty.

Podstatným výdajem při využití naftového pohonu je cena mýtného. Směrem do Frankfurtu vychází mýtné poplatky na území České republiky 1 743 Kč a v Německu 65,30 Eur (asi 1 535 Kč).

Shrnutí nákladů na trase:

- Přibližné množství vyprodukovaných emisí CO₂: 1 141 kg
- Počet tankování během trasy: 0
- Mýtné v České republice: 3 486 Kč
- Mýtné v Německu: 3 070 Kč
- Celkem mýtné: 6 556 Kč
- Celkové náklady na pohonné hmoty: 13 062 Kč
- Celkové náklady na údržbu vozu: 1 235 Kč
- **Náklady celkem: 20 853 Kč**

Celkové náklady naftového tahače DAF XG 480 Lowdeck s návěsem vychází z Prostějova do Frankfurtu nad Mohanem a zpět na 20 853 Kč bez DPH.

3.2.2 CNG pohon

CNG tahač Scania R 410 s naloženým návěsem vyjíždí ve stejný den, čas a ze stejného místa s plnými nádržemi stlačeného zemního plynu. Vzhledem k délce trasy 1 544 km bude třeba po cestě natankovat. Maximální dojezd CNG nákladního vozidla je 600 km to znamená, že musíme doplnit palivo 2krát. První tankování CNG proběhne po 550 km ve městě Norimberk, druhé tankování bude na stejné stanici cestou zpět po ujetí 460 km, a to nám vystačí až do Prostějova.

Plynová nákladní vozidla mají v Německu značnou ekonomickou výhodu, tím je osvobození těchto vozidel od poplatků za využití silnic. Tento benefit samozřejmě neplatí pro silnice v Česku, mýtné je sice o něco nižší než pro dieselový pohon, ale i tak je tato částka dost vysoká.

Shrnutí nákladů na trase:

- Přibližné množství vyprodukovaných emisí CO₂: 1 070 kg
- Počet tankování během trasy: 2
- Doba tankování: 20 min x 2 = 40 min
- Mýtné v České republice: 3 268 Kč
- Mýtné v Německu: 0 Kč
- Celkem mýtné: 3 268 Kč
- Celkové náklady na pohonné hmoty: 13 248 Kč
- Celkové náklady na údržbu vozu: 1 544 Kč
- **Náklady celkem: 18 060 Kč**

Celkové náklady CNG tahače Scania R 410 s návěsem vychází z Prostějova do Frankfurtu nad Mohanem a zpět na 18 060 Kč bez DPH.

3.2.3 LNG pohon

LNG tahač VOLVO FH s návěsem vyráží z Prostějova ve stejný den a čas jako předchozí vozidla s plnými nádržemi zkapalněného zemního plynu. Dojezdová vzdálenost LNG tahače je 1 200 km, což znamená že na trase dlouhé 1 544 km bude muset 1krát tankovat. LNG plnicí stanice se nachází ve městě Norimberk, kde řidič zastaví po cestě zpět do ČR po 1 000 km. Stejně jako nákladní vozidlo na stlačený plyn je i LNG v Německu osvobozeno od placení mýta, avšak v České republice je tento poplatek vyžadován.

Shrnutí nákladů na trase:

- Přibližné množství vyprodukovaných emisí CO₂: 1 029 kg
- Počet tankování během trasy: 1
- Doba tankování: 20 min
- Mýtné v České republice: 3 268 Kč
- Mýtné v Německu: 0 Kč
- Celkem mýtné: 3 268 Kč
- Celkové náklady na pohonné hmoty: 17 370 Kč
- Celkové náklady na údržbu vozu: 1 544 Kč
- **Náklady celkem: 22 182 Kč**

Celkové náklady LNG tahače VOLVO FH s návěsem vychází z Prostějova do Frankfurtu nad Mohanem a zpět na 22 182 Kč bez DPH.

3.2.4 Bateriové elektrické vozidlo

Elektrický tahač DAF XF Electric s návěsem vyjíždí ve stejný den, čas a ze stejného místa s plně nabitými bateriemi. Na celkové délce trasy 1 544 km bude muset elektrický tahač s dojezdem 400 km nabíjet 3krát. Jedno nabití na ultrarychlé nabíjecí stanici trvá i tak necelé 2 hodiny. První nabití proběhne za Plzní po 385 km, druhé nabití bude už ve Frankfurtu po 387 km, třetí nabití proběhne po 390 km před Plzní a za ideálních podmínek elektrické nákladní vozidlo dojede až do cílového logistického centra.

Elektrická nákladní vozidla mají značnou ekonomickou výhodu v Německu, ale i v České republice, kterou je osvobození těchto vozidel od placení mýtného za využití zpoplatněných silnic.

Shrnutí nákladů na trase:

- Přibližné množství vyprodukovaných emisí CO₂: 0 kg
- Počet nabíjení během trasy: 3
- Doba tankování: 120 min x 3 = 360 min = 6 hodin
- Celkem mýtné: 0 Kč
- Celkové náklady na pohonné hmoty: 28 100 Kč
- Celkové náklady na údržbu vozu: 803 Kč
- **Náklady celkem: 28 903 Kč**

Celkové náklady elektrického bateriového tahače DAF XF Electric s návěsem vychází z Prostějova do Frankfurtu nad Mohanem a zpět na 28 903 Kč bez DPH, ale obrovskou nevýhodou je doba nabíjení, která je nejméně 6 hodin.

3.3 Analýza provozu vozidel podle druhu pohonu za 5 let

Celkové náklady spojené s provozem vozidla jsou zapotřebí, aby bylo možné relevantně porovnat standardní a alternativní pohony silničních nákladních vozidel a vyhodnotit nejlepší variantu z hlediska ekonomického i ekologického. Důležité je si určit stejný počet ujetých kilometrů za dané časové období. Pro tuto práci si stanovíme, že průměrný roční nájezd nákladních vozidel je 100 000 km a počítáme s tím, že nákladní vozidla budou v užívání dopravní společnosti 5 let a následně budou prodána. Rozhodující jsou tedy celkové provozní náklady vozidla na 500 000 km.

Důležitou vstupní hodnotou je pořizovací cena vozidla, která je největším jednorázovým výdajem a představuje hlavní rozhodovací parametr. Všeobecně je dané, že naftová nákladní vozidla jsou levnější než vozidla na alternativní pohon (viz Tab. 3.1 Pořizovací cena).

Tab. 3.1 Provozní náklady tahačů za 5 let

Vozidlo	Pohon	Pořizovací cena	Náklady na PHM	Náklady na údržbu a servis	Celkem
DAF XG 480 Lowdeck	Nafta	2 600 000 Kč	4 230 000 Kč	400 000 Kč	7 230 000 Kč
Scania R 410	CNG	3 380 000 Kč	4 290 000 Kč	500 000 Kč	8 170 000 Kč
Volvo FH	LNG	3 640 000 Kč	5 625 000 Kč	500 000 Kč	9 765 000 Kč
DAF XF Electric	Elektrina	5 200 000 Kč	9 100 000 Kč	260 000 Kč	14 560 000 Kč

Zdroj: vlastní zpracování.

Druhým rozhodovacím kritériem při volbě nákladního vozidla je cena pohonných hmot a s tím související i jejich dostupnost. Cena pohonných hmot je zkoumána, jak ta aktuální, tak i její výkyvy v průběhu několika let. Dostupnost je velmi důležitá u alternativních pohonů, kdy CNG stanice jsou situovány spíše v blízkosti měst a pro LNG chybí stále

dostatečně rozvinutá infrastruktura. Poslední významnou výdajovou položkou jsou náklady na údržbu a servis, které vychází nejdraže u vozidel na CNG a LNG pohon (viz Tab. 3.1). V těchto nákladech je započítána např. výměna oleje, opotřebení pneumatik a ostatní pravidelná údržba.

V tabulce 3.2 jsou porovnány jednotlivé pohony z ekologického hlediska podle množství vyprodukovaných škodlivých emisí CO₂ za 5 let provozu při nájezdu 500 000 km. Z tabulky 3.2 můžeme odvodit, že CNG pohon je šetrnější zhruba o 7 % a LNG pohon až o 10 % v porovnání s naftovým pohonem. Elektronické bateriové vozidlo nevytváří žádné lokální emise CO₂.

Tab. 3.2 Vyprodukované emise CO₂ za 5 let

Vozidlo	Pohon	Emise CO₂
DAF XG 480 Lowdeck	Nafta	369,6 t
Scania R 410	CNG	346,58 t
Volvo FH	LNG	333,25 t
DAF XF Electric	Elektrina	0 t

Zdroj: vlastní zpracování.

4 Ekonomické a ekologické vyhodnocení návrhu

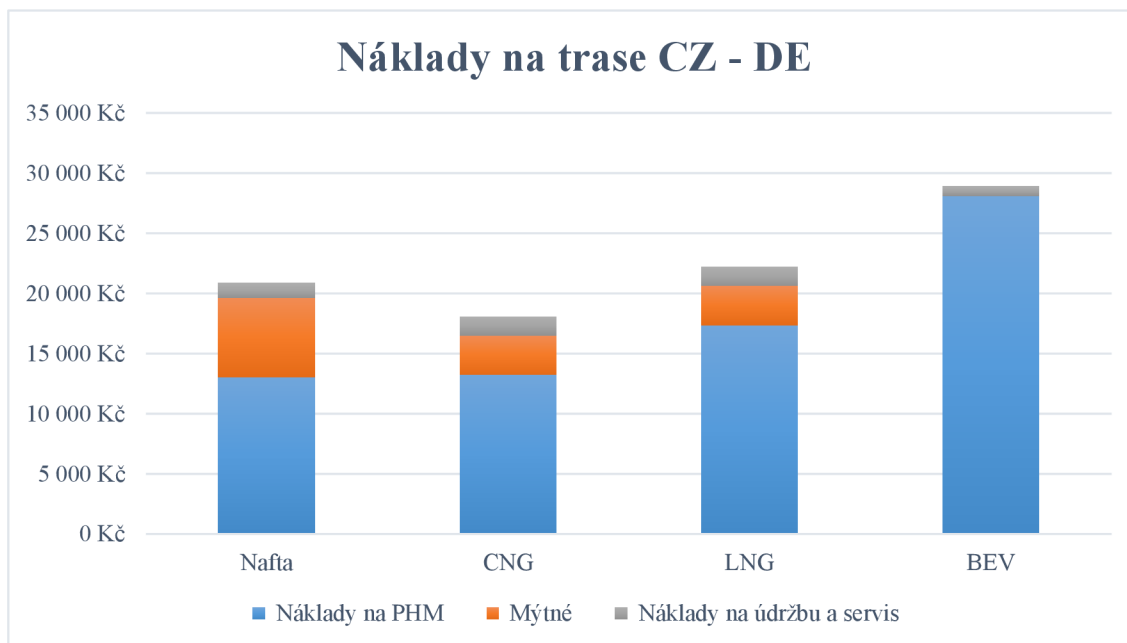
Vyhodnocení vychází na základě poznatků z předchozích kapitol. Nejprve je vyhodnocena trasa z České republiky do Německa a zpět, následně provoz vozidel za 5 let a na závěr kapitoly je celkové ekonomické a ekologické vyhodnocení.

4.1 Vyhodnocení trasy CZ – DE

V předchozí kapitole byly porovnány vybrané nákladní vozy na trase z HOPI v Prostějově do kontejnerového překladiště Contargo Rhein ve Frankfurtu nad Mohanem a zpět. Celková délka trasy byla 1 544 km, v ČR byla dlouhá 856 km a v Německu 688 km (viz Obr. 3.6).

Disponibilní dojezd vozidel a také rozdílné technologie při plnění nádrží či nabíjení baterií hráli rozhodující roli při zdržení. Oproti naftové soupravě, která zvládla celou trasu bez tankování se nejvíce zdrželo bateriové elektrické vozidlo, které muselo dobíjet baterie na této trase 3krát, což ve výsledku činilo zdržení 6 hodin. Druhým vozidlem s větším zdržením bylo nákladní vozidlo s CNG pohonem, které muselo tankovat 2krát a jeho zdržení bylo 40 minut. Nejrychlejším alternativním pohonem se stalo LNG nákladní vozidlo, které díky svému dojezdu 1 200 km tankovalo pouze 1krát zhruba 20 minut. Předvídatelně nejrychleji zvládlo celou trasu naftové nákladní vozidlo, ale velmi dobrou alternativou se jeví i vozidlo s LNG pohonem, které dokázalo nejvíce konkurovat klasickému naftovému pohonu.

Na uvedené trase z Prostějova do Frankfurtu a zpět dosáhlo nejnižších celkových nákladů vozidlo Scania R 410 s CNG pohonem (viz Graf 4.1). Důvodem bylo především osvobození od placení mýtného v Německu. Podle grafu 4.1 můžeme vidět, že celkové náklady CNG vozidla byly nižší o 15 % v porovnání s naftovým pohonem. Druhým vozidlem s nejnižšími náklady byl tedy dieselový DAF XG 480, který kvůli placení plného mýtného měl vyšší náklady zhruba o 2 800 Kč na trase. Podle grafu 4.1 se umístilo jako třetí vozidlo Volvo FH s LNG pohonem, které mělo i přes osvobození od placení poplatků za německé dálnice vyšší náklady oproti CNG o 23 %. Jako nejméně ekonomicky výhodné vozidlo na této dálkové trase se stalo elektrické vozidlo DAF XF Electric, které mělo vyšší náklady na rozdíl od CNG vozidla o 60 % i přesto, že neplatí mýtné v ČR ani v Německu.



Graf 4.1 Náklady na trase CZ – DE

Zdroj: vlastní zpracování.

Z ekologického hlediska bylo jasně nejlepší bateriové elektrické nákladní vozidlo, které nevyprodukovalo žádné lokální emise CO₂. V závislosti na spotřebě a množství oxidu uhličitého vzniklého při spalování 1 litru paliva bylo druhým nákladním vozidlem s nejméně emisemi Volvo FH s LNG pohonem, které vyprodukovalo 1 029 kg emisí CO₂ za trasu. O něco více vypuštěných emisí mělo vozidlo Scania R 410 s CNG pohonem, které vypustilo 1 070 kg emisí CO₂. Nejvíce emisí vyprodukovalo nákladní vozidlo DAF XG 480 s naftovým pohonem a to 1 141 kg.

Podle mého názoru si na této trase vedlo nejlépe vozidlo Scania R 410 s CNG pohonem, které vyšlo z ekonomického hlediska nejlépe, avšak nevýhodou je malý disponibilní dojezd, tím pádem nutnost častějšího tankování a větší zdržení na trase. Druhou možností je naftové nákladní vozidlo DAF XG 480, které trasu zvládne bez zbytečného zdržení v podobě tankování a náklady na trase nejsou zase o tolik vyšší. Rozhodujícím faktorem může být množství vyprodukovaných emisí, které CNG pohon vyprodukuje o něco méně.

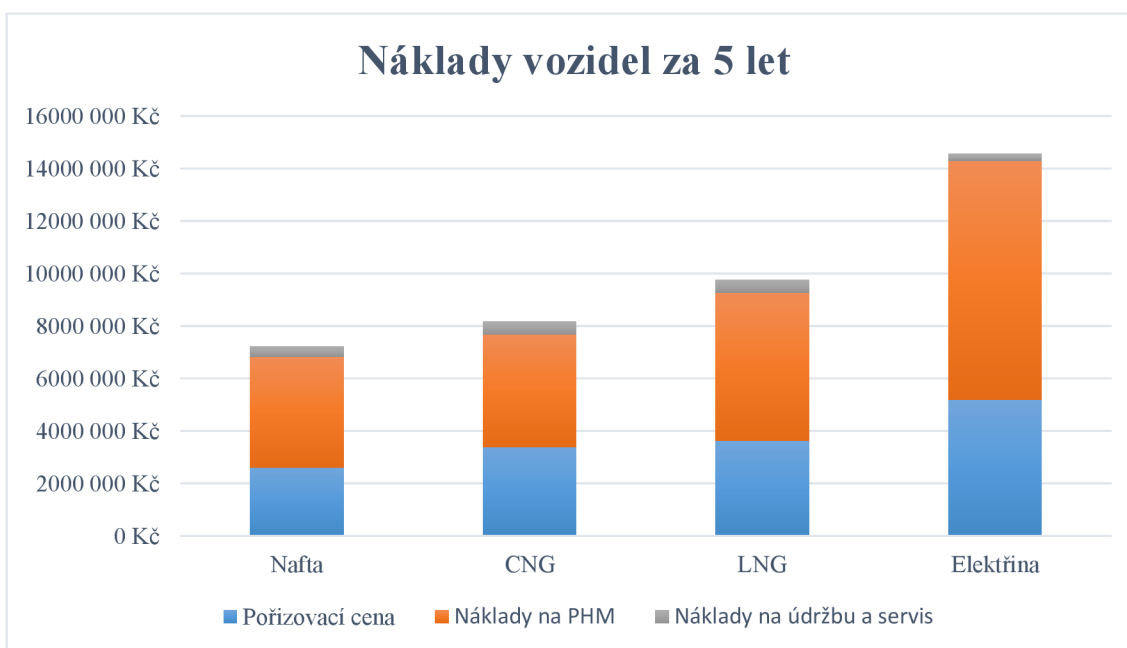
4.2 Vyhodnocení provozu vozidel za 5 let

Z důvodu relevantního porovnání vybraných pohonů byla provedena analýza vozidel při pětiletém provozu s průměrným nájezdem 500 000 kilometrů. Největším jednorázovým výdajem jsou pořizovací náklady za tahače, které se liší podle typu pohonu. Nejlevnějším

typem je naftový tahač DAF XG 480, který lze pořídit za 2,6 milionu korun bez DPH viz Graf 4.2. Scania R 410 s CNG pohonem vychází o 30 % draž a Volvo FH LNG stojí zhruba o 40 % více než naftový. Tahač s největší pořizovací cenou je DAF XF Electric, který může být dražší až o 100 % v porovnání s naftovým tahačem.

Dalším obrovským nákladem při provozu nákladních vozidel jsou náklady na pohonné hmoty. Nejnižší náklady na pohonné hmoty má opět naftový tahač DAF XG 480, v kterých jsou započítány i náklady na AdBlue. Téměř srovnatelné náklady na PHM má tahač Scania R 410 s CNG pohonem. LNG tahač Volvo FH kvůli vysoké ceně zkapalněného zemního plynu má vyšší náklady na PHM v porovnání s naftovým tahačem o 33 %. Bohužel elektrický tahač opět zaostává, jelikož kalkulují pouze s cenou za rychlonabíjecí stanice, aby mohl být tahač na delší vzdálenost konkurenceschopný z hlediska zdržení na trase. Z grafu 4.2 vidíme, že DAF XF Electric má náklady na PHM zhruba o 100 % vyšší než naftový pohon.

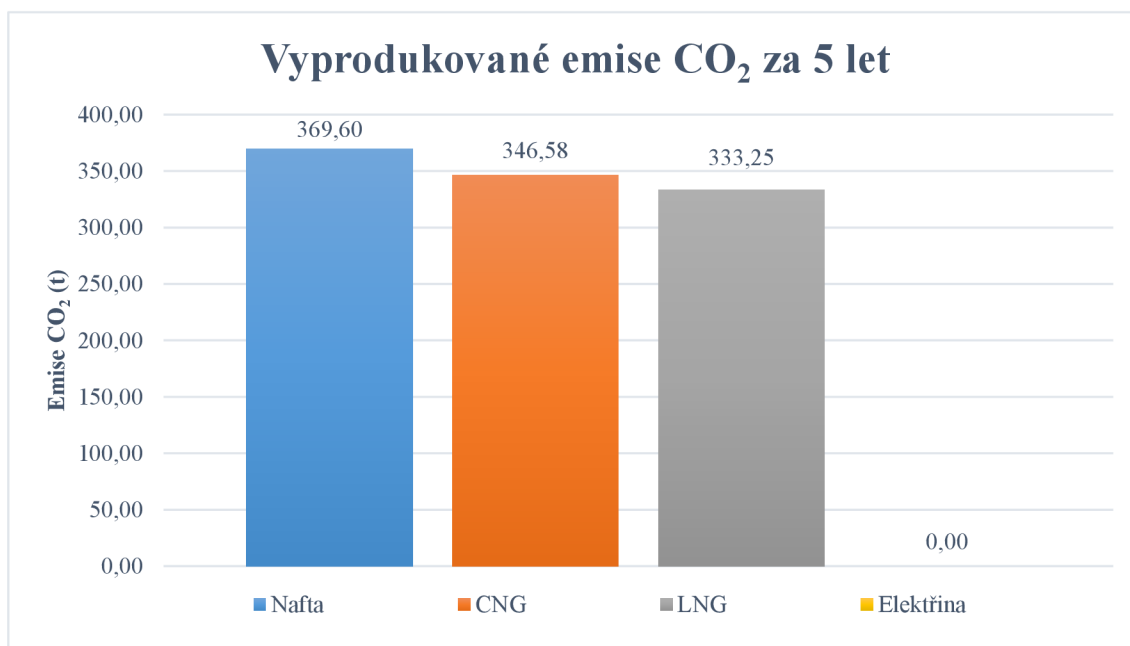
Náklady na údržbu a servis má nejnižší elektrický tahač, ale i tak vychází jako nejdražší varianta na 5 let. Tahače na zemní plyn mají vyšší náklady na údržbu o 35 % v porovnání s naftovým. Celkové náklady má tedy nejnižší naftový tahač, CNG tahač má o 13 % vyšší náklady, LNG tahač o 35 % a BEV tahač o neuvěřitelných 100 %. Z ekonomického hlediska vychází jako nejlepší možnost naftový tahač DAF XG 480, který má nejnižší celkové náklady za 5 let (viz Graf 4.2).



Graf 4.2 Náklady vozidel za 5 let

Zdroj: vlastní zpracování.

Pokud se na provoz těchto vozidel díváme z pohledu ekologického, tak je samozřejmě nejlepší variantou DAF XF Electric (Graf 4.3), který neprodukuje žádné lokální emise. Avšak jeho využití bude lepší spíše v městských oblastech, kde není nutný velký disponibilní dojezd a je zde kladen velký důraz na nulové emise. Srovnání vyprodukovaných emisí za 5 let je vidět na grafu 4.3, kde jsou seřazeny tahače podle nejvíce vyprodukovaných emisí CO₂. Pokud vynecháme elektrický tahač, tak na dlouhé vzdálenosti je nejlepší Volvo FH LNG, které vyprodukuje o 10 % méně emisí CO₂ než standardní naftový tahač DAF XG 480.



Graf 4.3 Vyprodukované emise CO₂ za 5 let

Zdroj: vlastní zpracování.

4.3 Ekonomické vyhodnocení

Z ekonomického hlediska vychází stále jako nejlepší varianta naftové nákladní vozidlo. Konkrétně srovnávaný tahač DAF XG 480, který nabízí obrovský disponibilní dojezd, nejnižší pořizovací cenu a relativně nízké náklady na kilometr. Přestože se cena nafty v průběhu pár let zvýšila o 40 %, tak to není tak hrozné jako cena CNG, která šla nahoru o 100 % a cena LNG až o neskutečných 160 %. Tento růst cen prakticky znemožnil rozvoj a konkurenceschopnost plynových alternativních pohonů. Vyšší pořizovací ceny u nových tahačů na alternativní pohon lze očekávat, ale kvůli výraznému zvýšení cen CNG a LNG se aktuálně nevyplatí tyto nákladní vozidla na alternativní pohon kupovat.

Požizovací cena by však mohla s vyšší poptávkou klesat, ale to jen za předpokladu zlevnění těchto pohonných hmot.

V rámci zjištěných dat lze dospět k závěru, že dnes dostupné alternativní pohony na stlačený (CNG) a zkapalněný (LNG) zemní plyn mohou být na určitých trasách adekvátní náhradou standardního naftového pohonu. I přes menší překážky jako je málo rozvinutá infrastruktura v případě LNG pohonu a infrastruktura přizpůsobená zvláště osobní dopravě u CNG pohonu. Bateriové elektrické vozidlo je prozatím nevyužitelné na dálkové trasy, avšak tohle by mohla změnit vodíková technologie. Elektrické nákladní vozidlo je určené spíše na střední a krátké vzdálenosti zejména při obsluze městských a příměstských oblastí.

4.4 Ekologické vyhodnocení

Z ekologického pohledu je absolutně nejlepší možností z porovnávaných tahačů bateriové elektrické vozidlo, které neprodukuje žádné lokální škodlivé emise. Avšak ekologický pohled by měl uvažovat i nad samotnou výrobou elektřiny a těžbou cenných kovů, jako lithia či hliníku.

Další dva alternativní plynové pohony představují menší zátěž pro životní prostředí, což je nepochybně jedním z hlavních cílů při hledání alternativ diesellového pohonu. Nicméně CNG i LNG pohony produkují pořád některé lokálně měřené emise a je také nutná těžba nerostného bohatství k získání těchto paliv. Přestože je LNG pohon vhodným ekologickým zástupcem nafty, tak řeší pouze restrikcí negativních dopadů na životní prostředí, ale ne jejich celkové odstranění.

Podle předchozích zjištěných dat se mi jako ideální pohon budoucnosti jeví vodíková technologie, která nabízí velký disponibilní dojezd, nulové emise a rychlé plnění paliva. Avšak využití vodíkové technologie v nákladní dopravě čelí pořád několika výzvám. Vodík je stále relativně drahé palivo a je také omezená infrastruktura pro jeho tankování. Navíc tato technologie vyžaduje velmi specifickou údržbu a školení pro řidiče a techniky. Tyto faktory zvyšují počáteční náklady na pořízení a provoz vodíkových nákladních vozidel. Pro uvedení na trh vodíkových tahačů bude klíčový rozvoj vodíkových technologií a infrastruktury pro tankování.

Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na problematiku týkající se emisních norem v silniční nákladní dopravě. V první kapitole byla popsána teoretická východiska řešeného problému. V druhé kapitole byla zpracována analýza pohonů silničních nákladních vozidel a principy jejich fungování. Dále byla provedena analýza nabízených alternativních pohonů vybraných výrobců nákladních vozidel. V třetí části zpracování návrhu byly porovnány standardní a alternativní nákladní vozidla v reálných podmínkách. Nejdříve byly představeny tahače, které se následně vyslaly na trasu z Prostějova do Frankfurtu nad Mohanem a zpět, potom byla provedena analýza pětiletého provozu vozidel. V poslední kapitole bylo na základě poznatků provedeno vyhodnocení z ekonomického a ekologického hlediska. Nejprve byla vyhodnocena trasa, následně provoz nákladních vozidel za 5 let, a nakonec bylo provedeno celkové vyhodnocení z pohledu ekonomického a ekologického. Cílem práce bylo zpracovat analýzu standardních a alternativních pohonů silničních nákladních vozidel a vyhodnotit nejlepší variantu z hlediska ekonomického a ekologického.

Z ekonomického hlediska vychází jako nejlepší varianta naftové nákladní vozidlo DAF XG 480, které nabízí obrovský disponibilní dojezd, nejnižší pořizovací cenu a relativně nízké náklady na kilometr. Na základě zjištěných dat lze říci, že dnes dostupné alternativní pohony na stlačený (CNG) a zkapalněný (LNG) zemní plyn mohou být na určitých trasách adekvátní náhradou standardního naftového pohonu, a to i přes menší překážky v podobě málo rozvinuté infrastruktury. Bateriové elektrické vozidlo je prozatím určené spíše na střední a krátké vzdálenosti, na dálkové trasy je aktuálně nevyužitelné, avšak tohle by mohla v budoucnosti změnit vodíková technologie.

Z ekologického pohledu je nejlepší možností z porovnávaných tahačů bateriové elektrické vozidlo DAF XF Electric, které neprodukuje žádné lokální škodlivé emise. Avšak je nutné uvažovat i nad samotnou výrobou elektřiny a těžbou cenných kovů. Další dva alternativní plynové pohony představují menší zátěž pro životní prostředí, což je určitě jedním z cílů při hledání alternativ diesellového pohonu. Nicméně CNG i LNG pohony produkují pořád lokálně měřené emise a je také nutná těžba nerostného bohatství k získání těchto paliv. Přestože je LNG pohon vhodným ekologickým zástupcem nafty, tak řeší pouze omezení negativních dopadů na životní prostředí, ale ne jejich celkové odstranění.

Podle zjištěných dat se zdá, že nejlepším pohonem budoucnosti je vodíková technologie, která nabízí velký dojezd, rychlé plnění paliva, a hlavně nulové emise. Nicméně využití vodíkové technologie v nákladní dopravě čelí několika problémům. Vodík je stále relativně drahé palivo a existuje pouze omezená infrastruktura pro jeho tankování. Navíc je pro tuto technologii potřebná specifická údržba a školení pro řidiče a techniky. Tyto faktory zvyšují počáteční náklady na pořízení a provoz vodíkových nákladních vozidel. Pro úspěšné uvedení těchto nákladních vozidel na trh bude klíčový rozvoj vodíkových technologií a infrastruktury pro tankování.

Seznam zdrojů

- [1] GERŠL, Milan a spol. *Zjištění hodnot koncentrací znečišťujících látek (TZL) u vybraných zařízení a podklady k návrhu závěrů o BAT FDM BREF* [online]. Brno, 2018 [cit. 2023-02-24]. Závěrečná zpráva. Mendelova univerzita v Brně. Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/file/609905/Zjisteni_hodnot_koncentraci_znecistujicich_latek_TZL_u_vybranych_zarizeni_a_podklady_k_navrhu_zaveru_o_BAT_FDM_BREF.pdf.
- [2] RUDA, Aleš. Atmosféra jako složka životního prostředí. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2014 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/06-ziv-prostredi.html
- [3] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0350-5.
- [4] Emise CO₂ z aut: fakta a čísla (infografika). *Zpravodajství - Evropský parlament* [online]. Praha: Evropský parlament, 2019 [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>
- [5] SAJDL, Jan, © 2023. Emise výfukových plynů. *Autolexicon.net* [online]. autolexicon.net [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/emise-vyfukovych-plynu/>
- [6] NOVÁK, Radek. *Mezinárodní kamionová doprava a zasilatelství*. V Praze: C.H. Beck, 2013. ISBN 978-80-7400-514-5.
- [7] SAJDL, Jan, © 2023. Emisní norma EURO. *Autolexicon.net* [online]. autolexicon.net [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>
- [8] Pařížská dohoda o změně klimatu. *Evropská rada a Rada EU* [online]. Brusel: Generální sekretariát Rady, 2023 [cit. 2023-03-04]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/climate-change/paris-agreement/>
- [9] *Zelená dohoda pro Evropu* [online]. Brusel: Evropská komise, 2019 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0010.02/DOC_1&format=PDF
- [10] *Zelená dohoda pro Evropu*. *Evropská komise* [online]. Brusel: Generální ředitelství pro komunikaci, 2023 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_cs
- [11] Balíček „Fit for 55“. *Evropská rada a Rada EU* [online]. Brusel: Generální sekretariát Rady, 2023 [cit. 2023-03-04]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/#package>

- [12] „Fit for 55“: plnění klimatického cíle EU pro rok 2030 na cestě ke klimatické neutralitě [online]. Brusel: Evropská komise, 2021 [cit. 2023-03-04]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=CS>
- [13] *Národní akční plán čisté mobility (NAP CM)* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54377/62106/640972/priloha001.pdf>
- [14] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [15] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 8023964615.
- [16] ČAPPO [online]. Praha: Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu, © 2021 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.cappo.cz/>
- [17] Alternativní paliva. *Přestavby a servis LPG, CNG, E85* [online]. Praha: Automotokout [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <http://www.magicacoustic.cz/wordpress/alternativni-motorova-paliva/>
- [18] *Stations map* [online]. Brusel: NGVA Europe [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.ngva.eu/stations-map/>
- [19] Co je LNG? *LNG GasNet* [online]. GasNet, © 2022 [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://www.lng.cz/co-je-lng>
- [20] Základní informace k vodíku. *Česká vodíková technologická platforma* [online]. Husinec: Česká vodíková technologická platforma, © 2023 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/o-vodiku/ve-zkratce>
- [21] H2. *H2.LIVE: Hydrogen Stations in Germany & Europe* [online]. Berlin: H2 MOBILITY Deutschland [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://h2.live/en/>
- [22] Druhy elektromobilů – znáte je všechny? *Škoda Storyboard* [online]. Škoda Auto, 2023 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/emobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>
- [23] *Cebia.cz* [online]. Praha: Cebia, © 2023 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.cebia.cz/>
- [24] *ENERGY.GOV* [online]. Washington: Department of Energy [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/>
- [25] *Hyundai Doosan Infracore zahájí v roce 2025 sériovou výrobu vodíkových motorů* [online]. Praha: TVstav.cz, © 2023 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://tvstav.cz/clanek/7256-hyundai-doesan-infracore-zahaji-v-roce-2025-seriovou-vyrobu-vodikovych-motoru>
- [26] *DAF Trucks CZ* [online]. Říčany: DAF Trucks CZ, © 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.daftrucks.cz/cs-cz>
- [27] *Scania Česká republika* [online]. Chrástřany: Scania Czech Republic, © 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.scania.com/cz/cs/home.html>
- [28] *Volvo Trucks* [online]. Göteborg: Centrála Volvo Trucks, © 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.volvo Trucks.cz/cs-cz/>

- [29] *Volvo Trucks jde do vodíku. Začne s ním už brzy* [online]. fDrive.cz, © 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/volvo-trucks-jde-do-vodiku-zacne-s-nim-uz-brzy-9147>
- [30] *Renault Trucks široká nabídka dopravních řešení* [online]. Volvo Group, © 2021 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.renault-trucks.cz/>
- [31] *MAN Trucks, Buses, Vans and Services* [online]. Mnichov: MAN, © 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.man.eu/de/en/homepage.html>
- [32] *Mercedes-Benz Trucks - Trucks you can trust* [online]. Leinfelden-Echterdingen: Daimler Truck, © 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.man.eu/de/en/homepage.html>
- [33] *Daimler Trucks věří jen elektřině a vodíku. Transport a Logistika* [online]. Luxur media, © 2023 [cit. 2023-04-01]. ISSN 1337-8813. Dostupné z: <https://transport-logistika.cz/zpravy/silnicni-doprava/daimler-trucks-veri-jen-elektre-a-vodiku/>
- [34] SAJDL, Jan, © 2023. Výpočet emisí CO₂. *Autolexicon.net* [online]. autolexicon.net [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/vypocet-emisi-co2/>

Seznam grafických objektů

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Emise produkované v dopravě	12
Obr. 1.2 Počet plnicích stanic CNG v Evropě	24
Obr. 1.3 Počet čerpacích stanic LNG v Evropě	25
Obr. 1.4 Mapa plnicích stanic vodíku v Evropě	28
Obr. 1.5 Srovnání jednotlivých typů vozidel	29
Obr. 2.1 Fáze vznětového motoru	32
Obr. 2.2 Fáze zážehového motoru	34
Obr. 2.3 Schéma pohonné soustavy BEV vozidla	35
Obr. 2.4 Schéma pohonné soustavy PHEV vozidla	36
Obr. 2.5 Schéma pohonné soustavy FCEV vozidla	37
Obr. 2.6 Vodíkový spalovací motor od společnosti Hyundai	38
Obr. 2.7 Rozložení pohonné soustavy DAF CF Hybrid	40
Obr. 2.8 Rozložení pohonné soustavy DAF XD Electric	41
Obr. 2.9 Scania BEV 5 baterií (vlevo) a 9 baterií (vpravo)	43
Obr. 2.10 Schéma pohonné soustavy vozidla na LNG	46
Obr. 2.11 Schéma pohonné soustavy vozidla na CNG	48
Obr. 3.1 Charakteristika tahače DAF XG 480 Lowdeck – naftový pohon	54
Obr. 3.2 Vzorec pro výpočet emisí CO ₂	54
Obr. 3.3 Charakteristika tahače Scania R 410 – CNG	55
Obr. 3.4 Charakteristika tahače VOLVO FH – LNG	56
Obr. 3.5 Charakteristika tahače DAF XF Electric	57
Obr. 3.6 Profil trasy Prostějov – Frankfurt – Prostějov	58

Seznam grafů

Graf 4.1 Náklady na trase CZ – DE	65
Graf 4.2 Náklady vozidel za 5 let	66
Graf 4.3 Vyprodukované emise CO ₂ za 5 let	67

Seznam tabulek

Tab. 1.1 Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO	14
Tab. 2.1 Nabídka alternativních pohonů u zvolených výrobců nákladních vozidel	50
Tab. 2.2 Srovnání BEV vozidel podle dojezdu	52
Tab. 3.1 Provozní náklady tahačů za 5 let	62
Tab. 3.2 Vyprodukované emise CO ₂ za 5 let.....	63

Seznam zkratek

BEV	Bateriové elektrické vozidlo
CNG	Stlačený zemní plyn
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
EGR	Recirkulace výfukových plynů
EPA	Agentura pro ochranu životního prostředí
EU	Evropská unie
FAME	Fatty acid methyl ester
FCEV	Elektrické vozidlo s palivovými články
HC	Nespálené uhlovodíky
HEV	Hybridní elektrické vozidlo
HVO	Hydrogenovaný rostlinný olej
LNG	Zkapalněný zemní plyn
LPG	Zkapalněný ropný plyn
MEŘO	Methylester řepkového oleje
NAP CM	Národní akční plán čisté mobility
NO _x	Oxidy dusíku
OSN	Organizace spojených národů
PHEV	Plug-in hybridní elektrické vozidlo
PHM	Pohonné hmoty
PM	Pevné částice
SCR	Selektivní katalytická redukce
SO ₂	Oxid siřičitý

Autor/ka DP	Bc. Lenka Pospíšilová
Název DP	Emisní normy v silniční nákladní dopravě
Studijní program	Logistika (LRDP)
Rok obhajoby DP	2023
Počet stran	62
Počet příloh	0
Vedoucí DP	prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.
Anotace	V diplomové práci je zpracována problematika emisních norem v silniční nákladní dopravě. V první kapitole jsou popsána teoretická východiska řešeného problému. Další kapitola se věnuje analýze pohonů silničních nákladních vozidel. Třetí kapitola obsahuje zpracování návrhu a poslední částí je ekonomické a ekologické vyhodnocení návrhu. Cílem diplomové práce je zpracovat analýzu standardních a alternativních pohonů silničních nákladních vozidel a vyhodnotit nejlepší variantu z hlediska ekonomického a ekologického.
Klíčová slova	nákladní vozidlo, naftový pohon, alternativní pohon, emise, CNG, LNG
Místo uložení	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
Signatura	