



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra techniky a kybernetiky

Bakalářská práce

LNG palivo ve vozidlech – porovnání s konvenčním
dieslovým motorem v nákladním vozidle

Autor práce: Petr Krebs

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Tupý, Dis.

České Budějovice
2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....

Petr Krebs

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá porovnáním motoru spalujícího kapalný zemní plyn (LNG) s motorem spalujícím motorovou naftu v kontextu nákladní dopravy. Cílem práce je analyzovat ekonomické, enviromentální a technické aspekty obou typů motorů a poskytnout doporučení pro potenciální investice do flotil vozidel a infrastruktury.

V rámci studie byly provedeny analýzy provozních nákladů, emisí skleníkových plynů a technických parametrů motorů spalujících LNG a motorovou naftu. Zjistilo se, že motor spalující LNG má potenciál snížit provozní náklady a emise skleníkových plynů ve srovnání s motorem spalujícím motorovou naftu.

Výsledky této práce poskytují ucelený pohled na problematiku a využití LNG a motorové nafty jako paliv v nákladní dopravě a nabízejí doporučení pro rozhodování v oblasti investic a strategického plánování.

Klíčová slova: zkapalněný zemní plyn (LNG); nafta; alternativní palivo; doprava; spalovací motor; ekonomická efektivnost; enviromentální dopad

Abstract

This bachelor thesis deals with the comparison of a liquid natural gas (LNG) engine with a diesel engine in the context of freight transport. The aim of the thesis is to analyse the economic, enviromental and technical aspects of both engine types and provide recommendations for potential investments in vehicle fleets and infrastructure.

The study analysed the operating costs, greenhouse gas emissions and technical parameters of LNG and diesel engines. It was found that the LNG engine has the potential to reduce operating costs and greenhouse gases emissions compared to a diesel engine.

The results of this work provide a comprehensive view of the issues and use of LNG and diesel as fuels in freight transport and offer recommendations for investment decision making and trategic planning.

Keywords: liquefied natural gas (LNG); oil; alternative fuel; transport; internal combustion engine; economic efficiency; enviromental impact

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Ondřeji Tupému, Dis. za jeho ochotu, čas a přínosné rady poskytované v průběhu vedení této bakalářské práce. Dále bych také rád poděkoval jednatele společnosti Giomir s.r.o., která poskytla veškeré informace pro provedení analýzy obou typů pohonů a za vřelý přístup při spolupráci.

Obsah

Úvod	6
1 Literární přehled	7
1.1 Rozdělení motorů podle druhů spalování	7
1.1.1 Motory s vnějším spalováním	7
1.1.2 Motory s vnitřním spalováním	10
1.2 Rozdělení paliv podle stavu	14
1.2.1 Kapalná paliva	15
1.2.2 Plynná paliva	17
1.3 Budoucnost LNG paliva	20
1.3.1 Vlastnosti	20
1.3.2 BioLNG	21
1.3.3 Infrastruktura	21
1.3.4 Plnění stanice LNG	24
1.3.5 Skladování	24
1.3.6 Rizika při používání LNG plnicích stanic a jejich opatření	25
1.3.7 Výhody použití LNG jako paliva spalovacího motoru	26
1.3.8 Budoucnost v dopravě	26
2 Cíle bakalářské práce	27
3 Praktická část	28
3.1 Porovnání nákladních vozidel poháněných na motorovou naftu a LNG	29
3.1.1 Nákladní automobil s naftovým motorem	30
3.1.2 Nákladní automobil s LNG motorem	34
3.2 Plnění palivových LNG nádrží	36
3.2.1 Mobilní LNG stanice	36
3.2.2 Plnění LNG nádrže Iveco S-WAY NP	37
4 Výsledky	41
4.1 Porovnání výsledků měření - náklady na jízdu	41
4.2 Porovnání výsledků měření - množství vyprodukovaných emisí CO ₂	42
4.3 Porovnání plnění LNG nádrže s tankováním dieselového vozidla	43
5 Diskuse	44
Závěr	46

Úvod

V dnešní době se svět energetiky a dopravy stále vyvíjí, přičemž stále rostoucí tlak na snižování emisí skleníkových plynů a hledání ekologičtějších alternativ vedl k rozvoji alternativních paliv a pohonů. V tomto kontextu zaujímá svou pozici mj. kapalný zemní plyn (LNG) a jeho využití jako alternativa k tradičnímu naftovému palivu v dopravě.

Tato práce se zaměřuje na porovnání dvou hlavních typů motorů používaných v nákladní dopravě, konkrétně motoru spalujícího alternativní palivo LNG a motoru spalujícího motorovou naftu. Cílem je analyzovat jejich výhody a nevýhody z hlediska ekonomické efektivity, environmentálního dopadu a technických parametrů.

Práce je rozdělena na dvě části. V první části bude zpracován literární přehled, ve kterém bude přiblížena problematika spalovacích motorů, které jsou dnes v dopravě používány jako hlavní zdroj pohybové energie. Budou popsány základní principy, včetně rozdělení a popisu pracovních fází pro pochopení jejich funkce. Dále bude provedeno rozdělení paliv používaných v dopravě, včetně popisu vlastností, složení a způsobu výroby těchto paliv. Vzhledem k charakteristice bakalářské práce bude v závěrečné části literárního přehledu popisován podrobněji zkapalněný zemní plyn. Zde budou popsány vlastnosti tohoto paliva, jeho alternativa v podobě BioLNG, podmínky pro jeho bezpečné skladování a v neposlední řadě analýza současného stavu infrastruktury LNG a možnosti budoucího rozvoje.

Ve druhé části bude zpracována praktická část bakalářské práce, ve které budou probírány klíčové aspekty týkající se obou typů motorů, včetně jejich provozních nákladů, výkonu, dostupnosti paliva, emisí a ekologické udržitelnosti. V úvodní části nebude chybět představení společnosti Giomir s.r.o., která umožnila srovnání obou typů pohonu na stanovené trase, za specifických podmínek, které budou dále rozebrány v bakalářské práci. Společnost poskytla většinu dat, ze kterých se vychází dále v textu. Dále bude detailně popsán proces plnění nádrží nákladního vozidla na LNG pohon. V závěrečné části práce bude provedeno shrnutí výsledků a celkové porovnání obou typů pohonů.

Porovnání těchto dvou technologií poskytne ucelený pohled na jejich přínosy a omezení v rámci současného a budoucího prostředí dopravy. Závěry této práce mohou být užitečné pro rozhodování při plánování investic do flotil vozidel a infrastruktury alternativního pohonu LNG.

Téma bakalářské práce jsem si vybral především vzhledem k mému blízkému vztahu k nákladní dopravě. Sám jsem držitelem profesního průkazu a v nákladní dopravě se tak pohybuji. Zároveň jsem se od útlého věku zajímal o automobilový průmysl a techniku, především o tu těžkou. Současně jsem toho názoru, že by se měl brát ohled na životní prostředí a snižovat environmentální dopady dopravy. Na druhou stranu si uvědomuji, že pouze silniční doprava svět nespasí. Ale každý krok se počítá.

1 Literární přehled

Tato část práce se bude zabývat problematikou spalovacích motorů, které jsou dnes v dopravě široce využívány jako hlavní zdroj pohybové energie. Budou popsány základní principy funkce těchto motorů, včetně jejich rozdělení a popisu pracovních fází, za účelem lepšího pochopení jejich činnosti. Dále budou charakterizována paliva používaná v dopravě, včetně popisu jejich vlastností, složení a způsobu výroby. Závěrečná část literárního přehledu bude zaměřena na zkapalněný zemní plyn, jako alternativní palivo v silniční dopravě.

1.1 Rozdělení motorů podle druhů spalování

Spalovací motory jsou dnes nejpoužívanějším zdrojem mechanické energie a v budoucnu se s nimi budeme stále potýkat. Neustále se proto provádí vývoj na zdokonalování využití energie z paliva a zefektivnit tak chemickou přeměnu energie (převážně hořením), která ve spalovacím motoru probíhá (Rauscher, 2005).

Přímá definice spalovacího motoru zní: „*Je to tepelný stroj, který spalováním paliva získává tepelnou energii a využitím vhodného plynného média ji převádí na mechanickou práci. Energie plynného média je využívána buď jako potenciální energie (tlak) u pístových spalovacích motorů, nebo energie kinetická (rychlost proudu) u spalovacích turbin.*“ (Rauscher, 2005).

Spalovací motory lze podle přenosu tepelné energie rozdělit na:

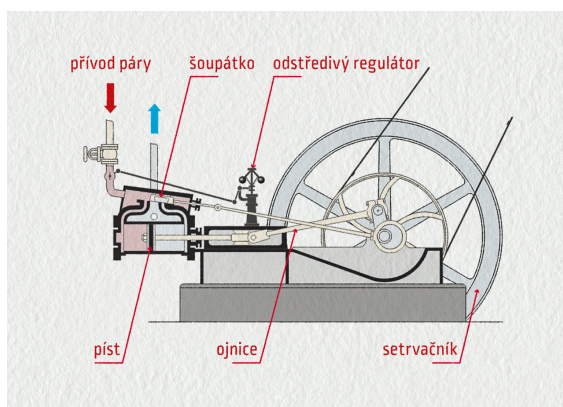
- motory s vnitřním spalováním – využití tlakové energie plynu získané spálením paliva mimo motor který vykonává mechanickou práci;
- motory s vnějším spalováním – palivo se spaluje přímo v pracovním prostoru motoru a získaná tlaková energie následně přímo působí na mechanismus, který tlakovou energii přemění na energii mechanickou (Horejš a Motejl, 2008).

1.1.1 Motory s vnějším spalováním

Aby mohl tento typ motoru konat práci, získává se pohonná energie vnějším zdrojem. Spalováním paliva je tento zdroj zahříván a získaná energie je dopravena k motoru pomocí média. Nejčastěji je využívána vodní pára (Rauscher, 2005).

Parní stroj

Parní stroj (viz obrázek 1.1) je hlavní představitel motorů s vnějším spalováním. Je definován jako tepelný stroj, který přeměňuje tepelnou energii vodní páry na energii mechanickou. Nejčastěji pomocí klikového mechanismu dále na rotační pohyb. Pohon pomocí páry existoval již dříve, ale vynalezení pístového parního stroje v 18. století zcela ovlivnil budoucí mechanizaci a práci člověka. Z principu funkce parního stroje vyplývá také konstrukce pístových motorů s vnitřním spalováním, které dnes používáme jako pohonnou jednotku v dopravních prostředcích (Pavlíček, 2010).



Obrázek 1.1: Parní stroj
(emanuel.cz, 2023)

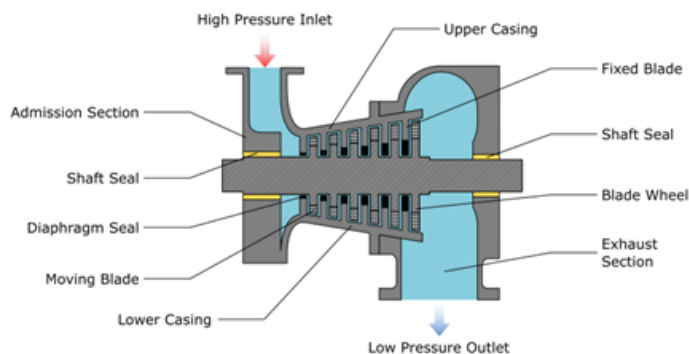
Pístové parní stroje měly široké využití. V dopravě byly využívány především na železnicích, ale byly využívány také pro pohon automobilů (viz obrázek 1.2) nebo parních válců. Parní stroje se také využívaly v lodní dopravě, a to v podobě tzv. parníků (např. Titanic) (Pavlíček, 2010).



Obrázek 1.2: Parní automobil Škoda Sentinel
(pardubicerozhlas.cz, 2016)

Parní turbína

Parní tepelný stroj, který přeměňuje kinetickou energii proudící páry na rotační pohyb přenášený pomocí lopatek na osu turbíny. Tyto parní turbíny (viz obrázek 1.3) mají vysokou účinnost (až 50 %) a jsou dodnes používány v tepelných a jaderných elektrárnách (viz obrázek 1.4). Turbína pohání elektrický generátor, který následně generuje elektrickou energii do elektrické sítě (Kornia, 2019).



Obrázek 1.3: Parní turbína
(savree.com, 2023)



Obrázek 1.4: Parní turbína v jaderné elektrárně
(pinterest.fr, 2023)

1.1.2 Motory s vnitřním spalováním

Tyto motory spalují palivové směsi přímo v jeho pracovním prostoru. Shořením paliva dochází k expanzi rozehřátého plynu ve velmi krátké době a tím působí na mechanismus, který přemění kinetickou energii na práci. Tyto motory jsou dodnes nejpoužívanějším zdrojem mechanické energie (Horejš a Motejl, 2008).

Pístové motory s posuvným vratným pohybem pístu

Pístové motory s vnitřním spalováním můžeme rozdělit dle pracovního oběhu takto:

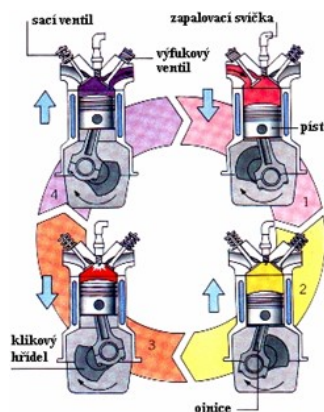
1. **čtyřdobé** – pracovní oběh je složen ze 4 fází v každém zdvihu pístu, na každý jeden pracovní oběh kliková hřídel koná 2 otáčky;
2. **dvoudobé** – pracovní oběh motoru probíhá jen jednu otáčku a při každém zdvihu pístu probíhají 2 fáze – použití u malých motocyklů nebo motorových pil (Jan a Ždánský, 2008).

Čtyřdobé pístové motory s vnitřním spalováním

- **Zážehový čtyřdobý pístový motor** – jako palivo se používá benzin, zemní plyn, nebo propan-butan – u atmosférického motoru se tvorba směsi paliva a vzduchu smísí mimo pracovní prostor motoru (Horejš a Motejl, 2008).

V průběhu pracovního oběhu čtyřdobého pístového spalovacího motoru kliková hřídel koná 2 otáčky a celý pracovní oběh se uskutečňuje v těchto 4 fázích:

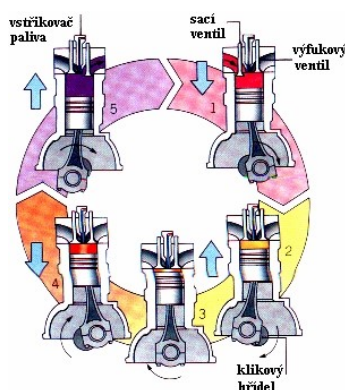
1. **sání** – píst koná pohyb z horní úvratě do dolní při otevřeném sacím ventilu (ovládaném rozvodovým systémem), palivo je pod tlakem přes trysku karburátoru vysáváno v přesném poměru se vzduchem přes sací potrubí do pracovního prostoru motoru;
2. **komprese** – sací ventil se uzavírá, píst koná pohyb z dolní úvratě do horní, narůstá tlak a tím i teplota směsi v pracovním prostoru motoru;
3. **expanze** – jiskra vytvořena od zapalovací svíčky zažehne směs, která hořením způsobí prudký nárůst tlaku, který působí na píst a tím jej stlačuje z horní úvratě do dolní – toto je pracovní fáze motoru;
4. **výfuk** – otevírá se výfukový ventil, píst koná pohyb z dolní úvratě do horní a vytlačuje spálené plyny do výfukového potrubí – po této fázi se celý oběh opakuje (viz obrázek 1.5), (Horejš a Motejl, 2008).



Obrázek 1.5: Pracovní oběh čtyřdobého zážehového motoru
(Kateřina Švandová, 2011)

- **Vznětový čtyřdobý pístový motor** – rozdíl mezi zážehovým a vznětovým čtyřtaktním motorem je pouze ve tvorbě směsi, kdy se u vznětového motoru pod tlakem vstříkuje nafta do expanzní fáze oběhu a tím dojde k samovznícení nafty. Pracovní oběh se uskutečňuje v těchto 4 fázích:

1. **sání** – píst koná pohyb z horní úvratě do dolní při otevřeném sacím ventilu (ovládaném rozvodovým systémem), vzduch je pod tlakem nasáván do pracovního prostoru motoru;
2. **komprese** – sací ventil se uzavírá, píst koná pohyb z dolní úvratě do horní, narůstá tlak a tím i teplota vzduchu v prostoru motoru;
3. **expanze** – nafta je pod tlakem vstříknuta vysokotlakou vstříkovací tryskou přímo do pracovního prostoru motoru, nafta se vlivem vysokého tlaku a teploty vznítí a způsobí prudký nárůst tlaku který působí na píst a stlačuje jej z horní úvratě do dolní – toto je pracovní fáze motoru;
4. **výfuk** – otevírá se výfukový ventil, píst koná pohyb z dolní úvratě do horní a vytlačuje spálené plyny do výfukového potrubí – po této fázi se celý oběh opakuje (viz obrázek 1.6), (Horejš a Motejl, 2008).



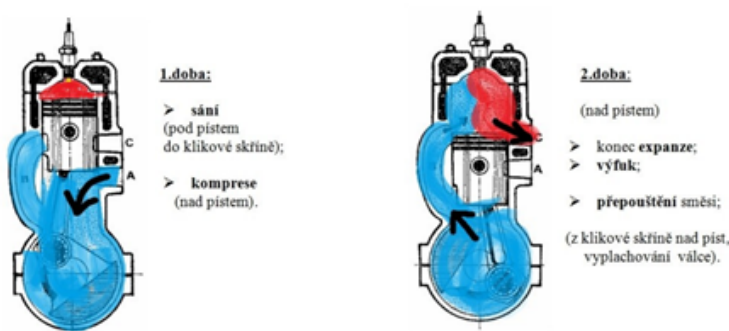
Obrázek 1.6: Pracovní oběh čtyřdobého vznětového motoru
(Kateřina Švandová, 2011)

Dvoudobé pístové motory s vnitřním spalováním

- **Zážehový dvoudobý pístový motor** – při pracovním oběhu dvoudobého zážehového motoru je využíván prostor nad i pod pístem a je tak i konstrukčně navržen. Aby bylo zajištěno mazání pohyblivých částí motoru, je do paliva přidáván speciální motorový olej (Jan a Ždánský, 2008).

Pracovní oběh dvoudobého pístového spalovacího motoru zahrnuje všechny 4 fáze, jako je tomu u čtyřdobého motoru. Tyto 4 fáze jsou spojeny do dvou a za celý pracovní oběh koná kliková hřídel pouze jednu otáčku:

1. **sání a komprese** – píst koná pohyb z dolní úvratě do horní, pokud je rozvod řízený pístem, v klikové skříně vzniká podtlak, sací kanál je otevřený a tímto kanálem je nasávána směs paliva a vzduchu do prostoru klikové skříně a současně se v pracovním prostoru nad pístem stlačuje již připravená směs a narůstá tlak a teplota;
2. **expanze a výfuk** – stlačená směs nad pístem je zapálena od zapalovací svíčky, vzniklý tlak stlačuje píst z horní úvratě do dolní, po odkrytí výfukového kanálu dochází k prudkému poklesu tlaku nad pístem – zároveň se během tohoto procesu uzavírá sací kanál do prostoru klikové skříně, v tomto prostoru vzniká mírný přetlak a po odkrytí přepouštěcího kanálu z klikové skříně do pracovního prostoru dochází k tzv. výplachu válce – čerstvá směs vytlačuje výfukové plyny (viz obrázek 1.7), (Horejš a Motejl, 2008).

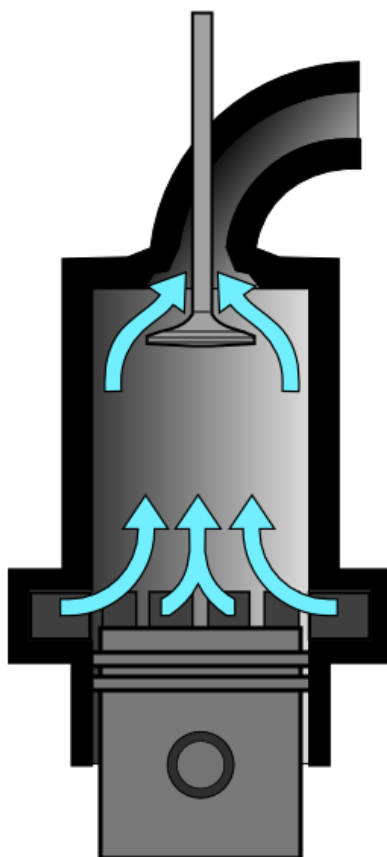


Obrázek 1.7: Činnost dvoudobého zážehového motoru (publi.cz, 2023)

- **Vznětový dvoudobý pístový motor** – shodně jako u dvoudobého zážehového motoru probíhá pracovní oběh jednu otáčku klikové hřídele a je tak docílen vyšší výkon při nižších otáčkách než u vznětového motoru čtyřdobého – dodnes použití ve velkých lodních motorech. Pracovní oběh probíhá v těchto 2 fázích:

1. **sání a komprese** – plnění válce čerstvým vzduchem dochází při odkrytí sacích průduchů na stěnách válce těsně před dolní úvratí pístu (aby bylo možné plnit pracovní prostor válce vzduchem, musí být motor přeplňován vzduchem – nucený přívod čerstvého vzduchu kompresorem nebo turbodmychadlem), následně při zavřeném výfukovém ventilu píst koná pohyb z dolní úvratě do horní a vzduch v pracovním prostoru válce stlačuje a zahřívá;

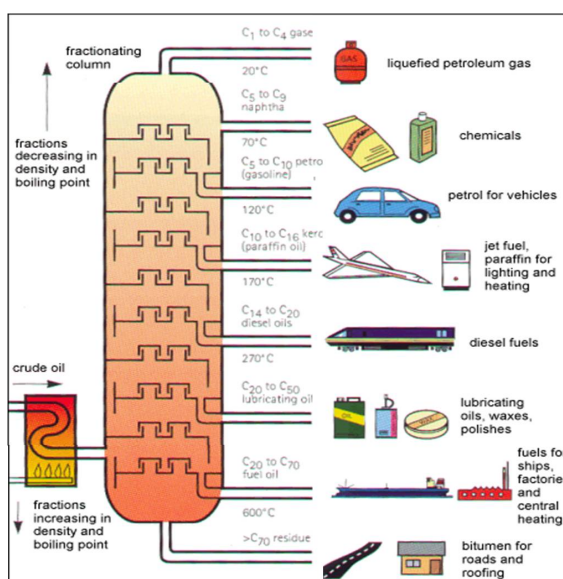
2. **expanze a výfuk** – do stlačeného a ohřátého vzduchu se pod tlakem vstříkací tryskou vstříkne palivo (nejčastěji nafta nebo topný olej) a tím dojde ke vznícení a následnému rozpínání plynů v pracovním prostoru válce, píst činí pohyb z horní úvratě do dolní a vykonává pracovní fázi, před dosažením úrovně pístu v dolní úvratě se otevírá výfukový ventil a po odkrytí sacího potrubí je uskutečněn výplach válce - po tomto procesu se celý průběh opakuje (viz obrázek 1.8), (Hromádko, 2012).



Obrázek 1.8: Činnost dvoudobého vznětového motoru
(cswikipedia.org, 2023)

1.2 Rozdělení paliv podle stavu

Pohonné látky, které jsou využívány v automobilové dopravě pro spalovací motory, jsou směsí chemických látek (zejména uhlovodíků). Tyto směsi jsou zdrojem energie, která se získává exotermní chemickou reakcí. Tímto se chemická energie mění přes mechanickou konstrukci motoru na energii mechanickou a pohybovou. Většina uhlovodíkových paliv se získává rafinací ropy (viz obrázek 1.9). Avšak ne všechny uhlovodíky jsou vhodné pro spalování ve spalovacích motorech. Musí být tedy ještě velká část ropy chemicky upravována a celá destilace ropy je rozdělena do frakcí, které se od sebe liší určitými rozmezími bodů varu (Jan a Ždánský, 2008).



Obrázek 1.9: *Proces rafinace ropy*
(seehint.com, 2011)

Ropa je v dnešní době, déle než jedno století, největším a nejvýznamnějším zdrojem energie ve většině odvětví průmyslu a dopravy. Ropa je výsledkem anaerobních fermentací odumřelých bakterií a řas, a proto o palivech vyrobených rafinací ropy hovoříme jako o fosilních palivech. Největší výhodou ropných paliv je jejich vysoká míra energetické výtěžnosti oproti např. elektrickým článkům v poměru hmotnosti a energie (Hromádko, 2012).

Spalování uhlíkových paliv má také za následek vysoké emise v podobě skleníkových plynů a nečistot, které znečišťují životní prostředí. Je proto snaha o snížení míry tvorby těchto emisí a nečistot v mnoha směrech. Motory jsou stále vyvíjeny tak, aby splňovaly přísnější limity vypouštěných znečišťujících látek a jsou hledány alternativní zdroje energie a paliv do spalovacích motorů (Jan a Ždánský, 2008).

1.2.1 Kapalná paliva

Benzin

Benzin jako palivo pro zážehové spalovací motory vznikl již koncem 19. století destilací z ropy. Původní benziny ale měly odlišné vlastnosti, které se odvíjely od vlastností ropy. Z každého zdroje má ropa jiné vlastnosti a mírně se liší také její chemické složení. Postupem času se začal benzin vyrábět sofistikovanější metodou, zvanou frakční destilace, která umožnila získat benzin při specifických teplotách (Kateřina Švandová, 2010).

Zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, definuje benzin jako žlutavou kapalinu získávanou frakční destilací ropy s přidáním izooktanu či aromatických uhlovodíků. Tento druh paliva se primárně využívá v zážehových motorech s vnitřním spalováním, a to jak u dvoudobých, tak i čtyřdobých. Automobilový benzin má základní parametry kvality - oktanové číslo, karburační schopnost a odpařivost. Čím je oktanové číslo vyšší, tím je benzin odolnější proti samovolnému vznícení, které je nežádoucí. Čím je tedy oktanové číslo větší, je umožněn větší kompresní poměr a tím je mj. docílen vyšší výkon motoru. Benzin se v silniční dopravě uplatňuje především v osobních automobilech a motocyklech. Použití v nákladní dopravě není příliš výhodné, jelikož účinnost zážehového motoru ve vysokém zatížení klesá (Jan a Ždánský, 2008).

Benzin obsahuje přibližně 32 MJ/l energie. Většina benzínu se získává frakční destilací ropy při teplotách v rozmezí 30 až 115 °C, kde z jednoho barelu ropy (přibližně 159 litrů) lze vyrobit celkem 74 litrů benzínu (Matějovský, 2005).

Kvalita benzínu je důležitá a je regulována normou ČSN EN 228+A1: Motorová paliva - Bezolovnaté automobilové benziny - Technické požadavky a metody zkoušení v platném znění, která zajišťuje dodržení základních jakostních vlastností. Čerpací stanice označují benzin zelenými výdejními pistolemi. Za účelem snižování emisí jsou do paliv přidávány biosložky, do benzínu konkrétně etanol. Stojan je dále opatřen označením nalepovacím štítkem značícím název paliva a zároveň podíl biosložky. Do konce roku 2023 byl automobilový benzin s oktanovým číslem 95 a 98 označován E5 a obsahoval maximální podíl biosložky 5 % (cappo.cz, 2023).

Od 1. ledna 2024 je na trhu benzin s označením E10, u kterého podíl biosložky činí maximálně 10 %. Etanol přidávaný do benzínu je alkohol vyrobený v biorafinériích z biomasy alkoholovým kvašením. Toto palivo vzniká zejména z obilovin (pšenice, kukuřice, ječmen, žito, tritikale), cukrové řepy a dalších zemědělských zdrojů. Jeho výroba je účinným prostředkem ke snižování uhlíkové stopy benzínu a zvyšování účinnosti a výkonu motoru. Etanol je považován za obnovitelný zdroj v důsledku schopnosti rostlin absorbovat oxid uhličitý (CO₂) z atmosféry během růstu. To kompenzuje emise CO₂ při spalování a tím produkuje etanol nižší emise uhlíku ve srovnání s fosilními palivy. Kromě toho lze k výrobě etanolu využít i odpad a zbytky a to přispívá k udržitelnosti a snižuje množství odpadu. Etanolové biorafinerie využívají také tzv. pokročilý etanol, který se vyrábí ze zemědělských zbytků, jako je sláma, lignocelulózní materiály a další odpad. Tyto inovace vedou k ještě efektivnějšímu využití surovin a dalšímu snižování negativních dopadů na životní prostředí (e10info.eu, 2024).

Vyšší koncentrace etanolu s sebou však nese mj. nová rizika, konkrétně pro starší vozy vyrobené do roku 2000 a veterány. Důvodem je, že líc působí také jako rozpouštědlo a pro pryžové materiály staršího data výroby je jeho přítomnost nežádoucí. Může docházet

k netěsnostem v palivové soustavě. Zpravidla se jedná o praskání palivových hadiček a těsnění. Vhodnou alternativou mohou být 100 oktanové benziny, které díky svému složení ani podíl biosložky tvořit nemusí. Označení E10 totiž není založeno jen na podílu biosložky s palivem, ale odvíjí se také od obsahu kyslíku. V případě označení E10 může dosáhnout koncentrace kyslíku až 3,7 hmotnostního procenta a u E5 až 2,7 hmotnostního procenta. Pokud benzin splní alespoň jednu z těchto podmínek (buď obsah etanolu, nebo obsah kyslíku), spadá do kategorie E10 a musí být takto označen prodejcem. Např. prémiové palivo Verva 100 (které má mimo jiné vyšší oktanové číslo než běžné benziny) neobsahuje etanol, ale přidané aditivum je založeno na bázi ETBE (ethyl-tert-butyl ether). Jedná se o kyslíkatou sloučeninu, která benzin okysličuje až nad hodnotu 2,7 hmotnostního procenta, ale zároveň nepřesahuje mezní hodnotu 3,7 hmotnostního procenta paliva. I když toto palivo neobsahuje nařízenou biosložku, splňuje druhou z podmínek pro označení E10. Tento benzin je tak vhodný pro vozy nekompatibilní s benzinem E10 s přidaným podílem etanolu (Tomáš Hrbek, 2024).

Motorová nafta

Motorová nafta je složena z kapalných uhlovodíků a řadí se mezi deriváty středního typu. Je určena jako palivo pro vznětové motory a její kvalita se udává cetanovým číslem. Cetanové číslo udává míru schopnosti vznícení a následného hoření ve válci motoru. Další z parametrů, které se u motorové nafty sledují, je skladovatelnost, filtrovatelnost a mazací schopnost součástí palivového systému. Kvalita motorové nafty je kontrolována normou ČSN EN 590: Motorová paliva - Motorové nafty - Technické požadavky a metody zkoušení v platném znění (Jan a Ždánský, 2008).

V současné době je motorová nafta označována štítkem B7, přičemž číslo, obdobně jako u benzínu, označuje maximální procentuální podíl biosložky. V souvislosti s výrobou ekologické motorové nafty je klíčové zajistit odsířené frakce plynového oleje a petrolejové frakce. Ve snaze snížení obsahu oxidů síry ve výfukových plynech, především oxid siřičitý (SO_2), musí motorové nafty splňovat normu s maximálním obsahem síry 10 mg/kg. To snižuje emise a četnost pevných částic ve výfukových plynech. Dále se zvyšuje zájem o biosložky, zejména estery mastných kyselin FAME (Fatty Acid Methyl Ester), které zlepšují spalování paliva a snižují emise CO_2 a jsou nezbytné pro splnění legislativních požadavků na podíl obnovitelných zdrojů v palivech. Mezi biosložky definované jako FAME patří například MEŘO (MEtylester Řepkového Oleje). Povinnost obsahu biosložek v motorové naftě je min. 6,1 %, nesplnění je sankcionováno (cappo.cz, 2024b).

MEŘO, používaný jako biosložka v motorové naftě pro výrobu paliva z obnovitelných zdrojů pro vznětové motory, obsahuje méně kyslíku, což snižuje energii při hoření. Je méně výhřevná než nafta, má kratší oxidační stabilitu a zhoršuje zimní vlastnosti nafty. Další přidávanou biosložkou do motorové nafty jsou hydrogenované rostlinné oleje HVO (Hydrogenated Vegetable Oil). Ty jsou vhodné k mísení s motorovou naftou pro vylepšení vlastností paliva, především zvýšení cetanového čísla a zlepšení nízkoteplotních vlastností (např. filtrovatelnost). Nevýhodou je menší hustota této biosložky a tím i horší mazací vlastnosti, proto není vhodné v nynějších palivových systémech používat pouze čisté HVO z hlediska nedostatečného mazání pohyblivých částí. Testováním použití čisté biosložky HVO jako paliva v osobním vozidle, konkrétně na voze Škoda Octavia 2 1.9 TDI-PD, byl zjištěn pokles kouřivosti o 41 %, za to však ale mírný pokles maximálního výkonu a nárůst spotřeby paliva o necelá 4 %. Motor na HVO startoval bez charakteristického otřesu

a projevil klidnější chod i při nízkých otáčkách. To naznačuje zlepšení vlastností motoru. Přizpůsobení časování vstříků paliva může eliminovat nárůst spotřeby paliva a zároveň vést k efektivnějšímu využití paliva, avšak s možným nárůstem emisí oxidů dusíku. Tento problém může být řešen pomocí systému SCR (Selective Catalytic Reduction), který je dnes již v automobilech využíván a efektivně snižuje obsah oxidů dusíku ve výfukových plynech (cappo.cz, 2024c).

Výrobky obsahující HVO jsou již dostupné na trhu. Jedná se o směsi s FAME, nebo čisté výrobky obsahující HVO, které jsou dodávány samostatně. Prémiové motorové nafty splňují vysoké požadavky na jakost a mají nadstandardní aditivaci pro ochranu palivového systému. Na kvalitu motorové nafty dohlíží Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu a kontrolu provádí Česká obchodní inspekce (cappo.cz, 2024b).

V České republice je výrazně vyšší spotřeba nafty než benzinu, především z důvodu četného nákladního vozového parku, který je poháněn dieselovými motory a také svou pozicí, kdy je tranzitní zemí uprostřed Evropy. Motorová nafta je klíčovým palivem v energetickém mixu dopravy. I přes zvažované zákazy prodeje nových osobních automobilů po roce 2030 zůstává nafta důležitá jako palivo pro nákladní dopravu, veřejnou dopravu, záchranné složky vč. armády, zemědělskou mechanizaci a další odvětví. Kvalita motorové nafty je monitorována a je prodávána v souladu s evropskými normami (cappo.cz, 2024d).

1.2.2 Plynná paliva

Plynná paliva se využívají především v zážehových spalovacích motorech, které pro chod motoru využívají systém lambda regulace a není třeba provádět výrazné změny v konstrukčním řešení motoru. Je také možnost využívat plynných paliv ve vznětových motorech, kde bývá vznícení plynného paliva docíleno vstříknutím malého pilotního vstříku motorové nafty, které se samo vznítí a tím zapálí hlavní plynné pohonné palivo (Jan a Ždánský, 2008).

LPG (Liquified Petroleum Gas)

LPG je směs zkapalněných uhlovodíkových plynů, které vznikají během destilace ropy jako vedlejší produkt. Od toho se také odvíjí cena, která je oproti benzínu za litr, o více než polovinu levnější. Hlavními složkami ropného plynu je propan a butan, které jsou v plynném skupenství těžší než vzduch. Z výše uvedeného důvodu bývá provozovatelem podzemních garáží omezen vjezd vozidel poháněných palivem LPG do zmíněných prostor. V případě mimořádné události by, bez vysokých finančních nákladů na pořízení zabezpečovací technologie spjaté s provozem vozidel na LPG, mohlo dojít ke kontaminaci prostor a znemožnění efektivního odvětrání prostor garáží, tzn., snížení výbušné koncentrace pod dolní mez výbušnosti. Vozidla poháněná LPG musí být označena dle Přílohy č. 6, odst. 1, písm. b) vyhl. č. 153/2023 Sb., o schvalování technické způsobilosti vozidel a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích ve znění pozdějších předpisů (viz obrázek 1.10). Mimo jiné může toto označení pomoci záchranným složkám identifikovat rizika spojená s alternativním pohonem při mimořádné události. Toto alternativní palivo je vhodné pro zážehové motory po patřičné úpravě systému vstříkávání. Oproti benzínu je jeho objemová výtěžnost nižší, naopak antidetonační vlastnosti jsou lepší (Hromádko, 2012).



Obrázek 1.10: *LPG označení automobilu*
(Martin Frei, 2018)

Relativně novým produktem na trhu je palivo BioLPG, které je vyráběno z obnovitelných zdrojů, na rozdíl od klasického LPG, které je fosilního původu. Vyrábí se především z hydrogenovaných olejů (HVO) jako vedlejší produkt a má potenciál snížit emise CO₂ až o 90 %. BioLPG lze míchat s běžným LPG a může ho dokonce zcela nahradit, aniž by bylo třeba upravovat existující infrastrukturu. BioLPG představuje palivo budoucnosti a významný nástroj pro snižování emisí v silniční dopravě (prumyslovaekologie.cz, 2021).

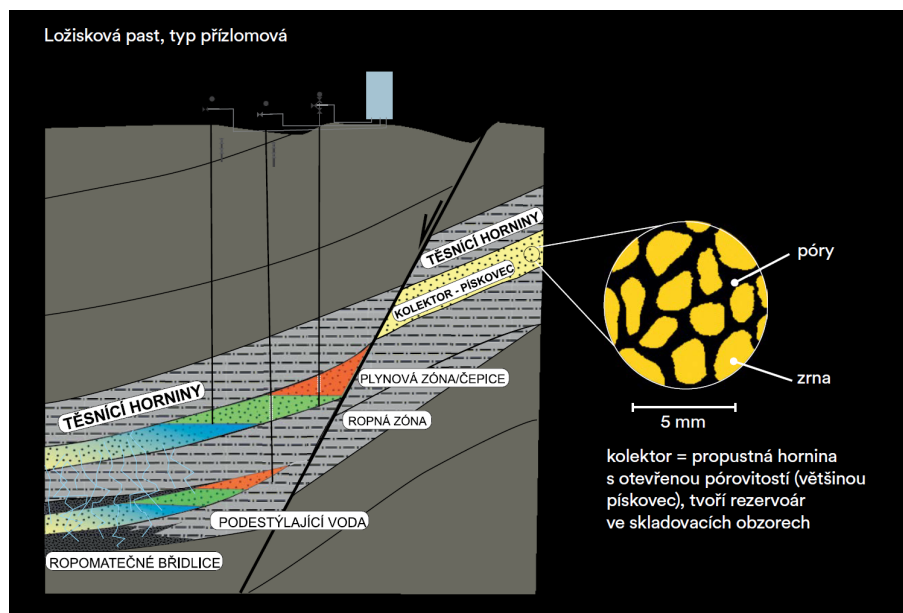
Výrobci již zahájili dodávky bioLPG, prozatím v malých, avšak trvale rostoucích množstvích. Na evropských silnicích je prozatím podíl vozidel s alternativními pohony pouze kolem 4,1 %. Studie Vize pro LPG naznačuje, že s adekvátní podporou by se podíl vozů na LPG do roku 2040 mohl zvýšit na 10,7 %. Tím by se do roku 2050 mohly snížit emise CO₂ o 401 milionů tun, prachové částice o 5 913 tun a NO_x o 459 tisíc tun. Je zde možnost přestavby běžného zážehového spalovacího motoru automobilu. Náklady na přestavbu vozidla na LPG jsou relativně nízké, uvádí se od 15 000 Kč do 40 000 Kč. Jednou z nejvýraznějších výhod, oproti běžným fosilním palivům, je jeho konkurenceschopná cena. Prodejní cena za jeden litr LPG v Evropě byla v roce 2019 v průměru o 57 % levnější než benzín a o 53 % levnější než nafta. V ČR byl tento rozdíl obdobný a dnes, kdy jsou průměrné ceny benzínu a nafty ve stejné výši, je LPG stále o 57 % v průměru levnější (calpg.cz, 2019).

Evropská asociace LPG vyzývá politické představitele k urychlení implementace infrastruktury pro alternativní paliva, zvýšení povědomí o jejich výhodách a dostupnosti, a přijetí podpůrných opatření pro vozidla s alternativními pohony. Okrajová opatření mohou zahrnovat výjimky z dálničních poplatků, parkování zdarma a preferenci při veřejných zakázkách. Tato opatření jsou také součástí Národního akčního plánu čisté mobility (prumyslovaekologie.cz, 2021).

Zemní plyn

Zemní plyn je směsí převážně metanu a dalších uhlovodíků, vznikajících v porézních sedimentárních horninách (viz obrázek 1.11). Dělí se na vlhký a suchý, podle obsahu uhlovodíků. Vlhký obsahuje více uhlovodíků a méně metanu, zatímco suchý má vysoký podíl metanu (95-98 %). Suchý plyn je významným ekologickým palivem z důvodu nízkého podílu emisí CO₂ při spalování. Těžba plynu probíhá pomocí sond a vrtných

kolon. Po těžbě následuje separace od nečistot a kapalných fází. Sušení se provádí absorpcí glykolu nebo nízkoteplotní separací (muzeumropy.cz, 2023).



Obrázek 1.11: Těžba zemního plynu
(muzeumropy.cz, 2023)

Zemní plyn má podobně jako LPG vynikající antidetonační vlastnosti. To umožňuje při konstrukci zážehových motorů na zemní plyn, jako alternativní palivo, zvýšit kompresní poměr oproti zážehovým motorům na benzin. Plnicí tlak u přeplňovaných motorů proto může být vyšší a tím docílit vyššího výkonu. Díky čistému složení, které tvoří ve velké většině pouze metan, má zemní plyn vynikající emise z hlediska vypouštěných nečistot po spálení (Jan a Ždánský, 2008).

LNG (Liquefied Natural Gas)

LNG je zemní plyn ve zkapalněné formě. Na proces zkapalnění je zapotřebí dodat velké množství energie, jelikož teplota zkapalněného zemního plynu je $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zároveň má LNG ve zkapalněné formě mnohem větší objemovou hustotu a tím i energetickou hodnotu. Z hlediska charakteristiky bakalářské práce je tento alternativní pohon dále rozveden v kapitole 1.3 (Hromádka, 2012).

CNG (Compressed Natural Gas)

Největším a nejdůležitějším rozdílem z hlediska efektivního využití obou variant zemního plynu je jejich rozdílný objem. LNG má objem 600krát menší než zemní plyn v přirozeném stavu, CNG poté o téměř 200krát menší objem. Vlivem zkapalnění se tedy objem plynu zmenší třikrát více než při stlačení. Výsledkem je, že vozidlo na LNG může ujet téměř třikrát větší vzdálenost než vozidlo se shodně velkou nádrží na CNG. Vozidla, která jsou poháněna stlačeným zemním plynem, musí být, stejně jako vozidla poháněna LPG, opatřena označením štítkem (viz obrázek 1.12), (cngplus.cz, 2013).



Obrázek 1.12: CNG označení automobilu
(e-safetyshop.eu, 2024)

1.3 Budoucnost LNG paliva

Zkapalněný zemní plyn, známý také pod zkratkou LNG (Liquefied Natural Gas), představuje významný pokrok v oblasti alternativních paliv získávaných prostřednictvím zemního plynu. Procedura jeho získávání zahrnuje proces zchlazení na teplotu přibližně $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tím způsobenou následnou kondenzaci a přeměnu do kapalného skupenství. LNG je převážně složeno z metanu, avšak procentuální složení se může lišit v závislosti na geografickém původu. Dále složení tvoří prvky etanu, propanu, dusíku a dalších uhlovodíků. Fyzicky se zkapalněný zemní plyn jeví jako průzračná, namodralá kapalina, která nedisponuje toxicitou či korozivitou (Vlk, 2004).

LNG tvoří ekologicky založenou alternativu pro naftové palivo, ideální zejména pro pohon těžkých vozidel v dálkové silniční a autobusové dopravě. Použití tohoto alternativního paliva je také vhodné pro dopravu železniční a námořní. Přestože zkapalnění a skladování LNG představuje ekonomicky i technologicky náročné operace (extrémně nízké teploty), tato palivová technologie si získala důvěru a osvědčenou pozici, zejména v dopravním sektoru Evropy, Spojených státech amerických a Kanadě. V Evropě je nejvýznamnější přítomnost LNG patrná zejména v Itálii, Španělsku, Francii a Nizozemsku (cappo.cz, 2024a).

1.3.1 Vlastnosti

Význačným atributem LNG, zaujímavým klíčové místo v kontextu skladování a přepravy, je jeho podstatně menší objem ve srovnání s plynným zemním plynem. Řádově se bavíme o 600 násobku objemu LNG oproti CNG. Tato skutečnost přispívá k výrazně delšímu dojezdu vozidel poháněných na LNG palivo v kontrastu s vozidly poháněnými CNG. Z hlediska energetické hustoty je LNG srovnatelné s palivy získávanými z ropy, čímž je umožněno kompaktní skladování a efektivní doprava (cappo.cz, 2024a).

1.3.2 BioLNG

BioLNG je efektivním a dostupným řešením pro snížení emisí v dopravě a souvisejících nákladů na emisní povolenky, které začnou platit v roce 2027. Český distributor plynu, GasNet, se zaměřuje na zvyšování podílu obnovitelných plynů, jako je biometan a vodík, což je klíčové pro udržitelnost energetiky a přechod na obnovitelné zdroje energie. Společnost GasNet v Česku vybudovala šest plnicích stanic pro BioLNG, přičemž poslední je v Klecanech u Prahy. BioLNG je vyroben z biologicky rozložitelného odpadu a má významné ekologické výhody v porovnání s naftou, včetně nižších emisí oxidů dusíku, nižší množství pevných částí ve výfukových plynech a nižší hlučnosti nákladních vozů spalujících biometan. Česká republika se zavázala k redukci emisí skleníkových plynů v dopravě o 14,5 % a k dosažení podílu obnovitelných zdrojů energie ve výši 29 % do roku 2030 dle evropských směrnic (lidovky.cz, 2023).

V ČR je kolem 450 bioplynových stanic, které vyrábějí elektřinu a teplo, avšak jen jedna umožňuje dopravovat biometan do plynové sítě. Nedostatek podpory pro biometan v minulosti způsobil jeho nedostatečnou konkurenceschopnost vůči zemnímu plynu. Transformace některých stanic na výrobu biometanu by mohla řešit tento problém, ale infrastruktura a geografická poloha stanic představují výzvu. Existuje potenciál, že biometan může do roku 2030 nahradit až 15 % spotřeby zemního plynu. Podpora pro biometan se rozšiřuje i v legislativě, včetně zavedení zeleného bonusu a požadavku na podíl biometanu v dopravě. Důležitou roli hraje Ministerstvo pro místní rozvoj, které podporuje nákup autobusů na biometan. Výzvou zůstává zajištění stabilních podmínek pro výrobu a distribuci biometanu, aby se mohl plně využít jeho potenciál v dekarbonizaci energetiky a dopravy v ČR (Alena Adámková, 2022).

1.3.3 Infrastruktura

Evropská unie systematicky směřuje k taktickému nasazení zkapalněného zemního plynu jako významného nástroje pro diverzifikaci dodavatelského portfolia a tranzitních koridorů. Tento strategický krok se stává mimořádně klíčovým ve světle aktuálního geopolitického dění. Během první poloviny roku 2022 EU úspěšně zrealizovalo dovoz více než 65 miliard m³ LNG. Významným importérem LNG byla Francie, následovaná Španělskem a Belgií, čímž tyto země zajišťovaly značnou část celkových dovozů a posílily tak svou energetickou odolnost (consiliumeuropa.eu, 2022).

Značným faktorem napomáhajícím obchodnímu toku LNG směrem k Evropské unii se staly Spojené státy americké, jež během prvního pololetí roku 2022 pokryly téměř polovinu celkového dovozu. Výrazný nárůst amerických exportů LNG do Evropy se během jednoho roku více než zdvojnásobil, což svědčí o dynamice tohoto trhu. Celková kapacita Evropské unie pro příjem a zkapalňování LNG se odhaduje na zhruba 157 miliard m³ ročně, což v praxi pokrývá cca 40 % celkové poptávky. Je však nutno podotknout, že přístupnost k infrastruktuře pro LNG se nespojila se stejnou mírou vyváženosti napříč evropskými státy (consiliumeuropa.eu, 2022).

Současná politická a energetická situace tlačí členské státy Evropské unie k intenzivnějšímu rozvoji infrastrukturálních projektů pro zkapalňování zemního plynu. V tomto ohledu se členské státy EU rozhodly přistupovat k plánovaným investicím jako ke společným projektům, využívajícím rámec „Nástroj pro propojení Evropy (CEF)“, což má

usnadnit a zrychlit realizaci těchto klíčových infrastrukturních iniciativ (consiliumeuropa.eu, 2022).

Logistika a dostupnost

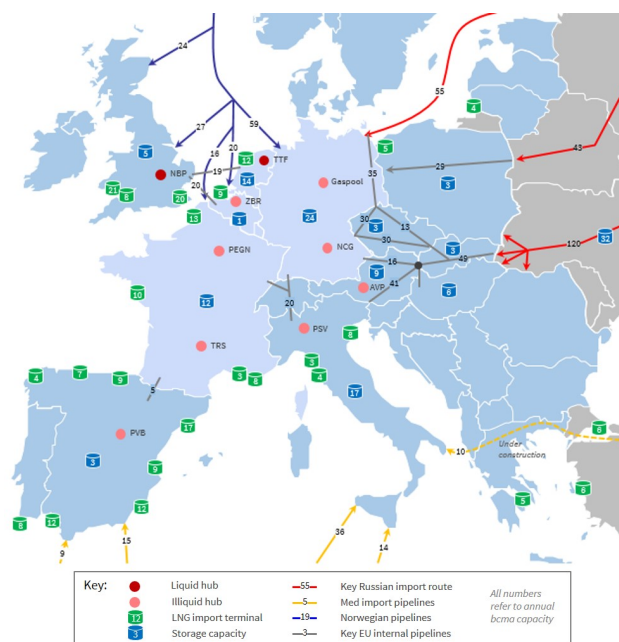
Mezikontinentální přeprava zemního plynu vyžaduje jeho zkapalnění, neboť jiné skupenství by nebylo ekonomicky účinné. Proces zkapalňování probíhá při nakládce a poté je plyn distribuován k odběrateli. Energeticky náročný charakter zkapalňování však zabraňuje opakovaným změnám skupenství během přepravy, které by vedlo k ekonomicky nevýhodné situaci (Dufek et al., 2019).

Import LNG do České republiky je tedy realizován tak, že v zámořském skladu LNG určeném pro následnou lodní expedici, je uloženo palivo připravené k transportu. Samotná námořní přeprava je realizována speciálním tankerem (viz obrázek 1.13), který má schopnost využívat LNG nejen jako přepravované palivo, ale také jako své vlastní pohonné médium (Dufek et al., 2019).



Obrázek 1.13: Nákladní loď převážející LNG
(autoweb.cz, 2023)

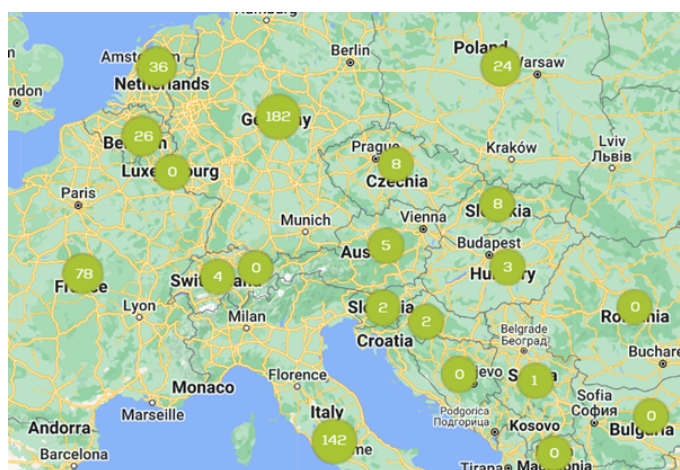
Po připlutí tankeru do cílového evropského přístavu je realizováno přečerpání LNG do místní skladovací nádrže, kde je palivo skladováno do doby, než je připraveno k expedici do České republiky. Aby byla zajištěna bezpečná a efektivní doprava, je následně vybrán vhodný dopravní prostředek pro přepravu LNG z evropského přístavu do cílové destinace v České republice. Pro přepravu je využívána jak kamionová, železniční, tak i lodní doprava. Tímto způsobem je zajištěna spolehlivá dodávka LNG do České republiky, která je klíčová pro energetickou stabilitu. Zároveň je také zavedena vnitrostátní potrubní síť na území, kde je potrubní systém výhodné využít (viz obrázek 1.14), (Dufek et al., 2019).



Obrázek 1.14: Infrastruktura LNG v EU
(timeraenergy.com, 2019)

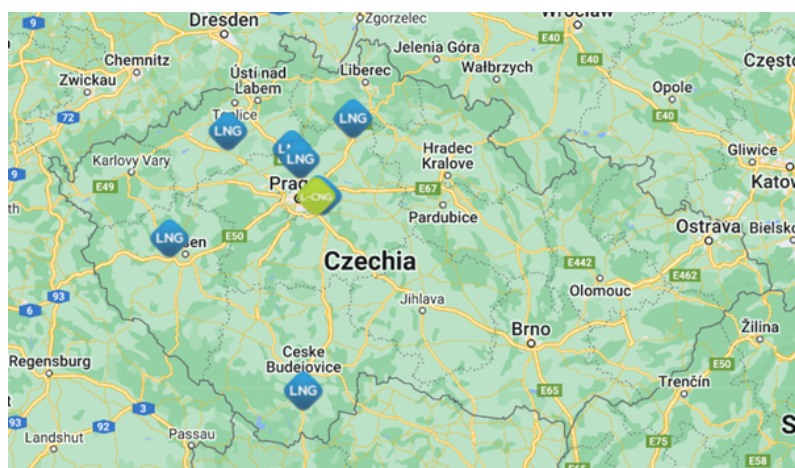
I přes značné náklady spojené s výstavbou zkapalňovacích a odpařovacích stanic a flotil nákladních lodí, získává přeprava LNG stále větší význam, oproti CNG. Zejména v nedávných letech je pozorován značný vývoj této metody, který souvisí se snahou rozvinutých zemí o diverzifikaci svých energetických zdrojů ve všech odvětvích (cngplus.cz, 2013).

Zajištění optimálního využití LNG vyžaduje efektivní a četnou síť čerpacích stanic a terminálů pro jeho distribuci. Nicméně pro další rozvoj využívání LNG v dopravě není rozhodující nutnost stavět nové terminály v přístavech na pobřeží. Mnohem zásadnější je budování dostatečného počtu čerpacích stanic na LNG. Síť těchto stanic postupně roste, zejména na západě Evropské unie (viz obrázek 1.15). Očekává se postupné naplnění cílů stanovených Evropskou unií a členskými státy, jež přispěje k nárůstu celkového počtu stanic (Dufek et al., 2019).



Obrázek 1.15: Plnicí LNG stanice v Evropě
(ngva.eu, 2023)

Pro Českou republiku má velký význam rozvoj LNG infrastruktury v Německu. Je patrné, že Německo aktivně buduje nové stanice pro LNG, což je kladný trend pro Českou republiku a její dopravce. To otevírá možnosti pro dopravce k využití LNG zejména v západní části České republiky. Na druhé straně, východní část Evropy a Evropské unie v tomto ohledu prozatím zaostává. Nicméně i v těchto oblastech se budují plány na výstavbu nových LNG stanic. Na území Slovenska proběhla poměrně rychlá výstavba stanic (celkem 8) a to také přispívá k posílení transevropských sítí a podpoře dopravců ve využívání nákladních automobilů s LNG pohonem. Dnes se na území České republiky vyskytuje dohromady 8 plnicích LNG stanic (viz obrázek 1.16), (Dufek et al., 2019).



Obrázek 1.16: Plnicí LNG stanice v České republice (ngva.eu, 2023)

1.3.4 Plnění stanice LNG

Při procesu připojení a odpojení cisternového vozidla a stáčení LNG je klíčovým prvkem řidič vozidla, který musí mít vhodné osobní ochranné prostředky. Hlavní částí je čištění přípojovacích koncovek, aby nedošlo k jejich poškození vlivem nízkých teplot. Kontrola tlaku a hladiny v zásobníku je nezbytná i při automatickém plnění. Řidič potvrzuje svou přítomnost tlačítkem bdělosti. Cisternové vozidlo musí být označeno a kompatibilní s certifikovanými materiály. Dodávky z Evropské unie vyžadují certifikát „Potvrzení o shodě“. LNG musí dále splňovat požadavky na kvalitu. Plnicí hrdlo musí být mimo záchytný prostor. Stáčecí místo musí mít ukazatel hladiny a tlaku. Dále je nutností, aby měla stanice uzemňovací bod pro cisternové vozidlo (Beneš et al., 2020).

1.3.5 Skladování

Jak již bylo zmíněno, LNG přináší výhodu velké objemové hustoty energie a představuje tak revoluční způsob uložení a přepravy energie. Hlavním přínosem této technologie je schopnost efektivně přenášet a skladovat energii na dlouhé vzdálenosti. Dlouhodobá stabilita dodávky je zajištěna velkými zásobami LNG, uchovávanými ve válcových, izolovaných nádržích. Při skladování dochází k nepatrnému odpařování, uvádí se 0,17 % objemu LNG za den, což ovlivňuje energetickou náročnost. Odpařený plyn může být znovu zkapalněn, ale to vyžaduje dodat značnou energii (cappo.cz, 2023).

Zásobníky na skladování LNG jsou konstruovány tak, aby kapalina uvnitř zásobníku udržovala stálou teplotu a nepřekračovala teplotu varu, která při atmosférickém tlaku činí $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jejich konstrukce je proto vybavena kvalitní tepelnou izolací, která minimalizuje přenos tepla z okolního prostředí. Tepelná izolace je docílena výplní tepelně izolačního materiálu (vakuum, nebo keramzit) mezi vnějším a vnitřním pláštěm zásobníku. Nicméně i přes izolaci dochází k mírnému tepelnému toku z okolního prostředí, který má vliv na energetickou náročnost celého procesu (Dufek et al., 2019).

Během odpařování se část LNG transformuje do plynného skupenství, a to má za následek zvýšení tlaku uvnitř zásobníku. Pro udržení stability systému je tento zásobník vybaven přetlakovým ventilem. Ten zajišťuje, aby tlak v zásobníku nepřekročil hodnotu 1 MPa. Uniklý plyn je možné opět nechat zkapalnit v externím zkapalňovacím zařízení. Jak již bylo zmíněno, tento proces je energeticky nákladný a tím se zvyšují náklady na skladování. Pokud je podnik, nebo zařízení ve kterém se LNG skladuje, vybaven strojem nebo zařízením, které spotřebovává zemní plyn, je možné, tento dříve nežádoucí vliv, využít ve vlastní prospěch. Pokud však není možné tento plynný vedlejší produkt efektivně využít, může docházet k únikům do atmosféry (Dufek et al., 2019).

1.3.6 Rizika při používání LNG plnicích stanic a jejich opatření

Při provozu plnicí stanice LNG je nezbytné brát v úvahu několik bezpečnostních opatření. Jedním z rizik způsobeným odpařováním zkapalněného plynu je příliš vysoký tlak. Ten je kontrolován pomocí pojistných ventilů a dalších bezpečnostních zařízení, například automatických havarijních uzavíracích ventilů (Beneš et al., 2020).

Dalším rizikovým faktorem může být elektrostatický výboj. K jeho eliminaci je nutno dodržovat nařízení platných norem, které zahrnují opatření pro vyrovnání rozdílných potenciálů a především správné uzemnění. Elektrostatické napětí ale nemusí být jediným zdrojem elektrického výboje. Mezi potenciální zdroje vznícení při provozu plnicí stanice LNG patří elektrické jiskry způsobené elektrickým obloukem například při zkratu nebo spínání kontaktů. Dále jsou rizikem jiskry způsobené mechanickým působením, jako jsou nárazy nebo tření, vysoké teploty povrchů způsobené třením nebo průchodem elektrického proudu a samozřejmě i možnost otevřeného plamene. Ochrana proti těmto rizikům zahrnuje zákaz manipulace s otevřeným plamenem, zákaz kouření v blízkosti stanice a udržování pořádku v okolí. To vše má za následek eliminaci hořlavých látek a předmětů v okolí stanice a tím minimalizovat rizika, která by mohla způsobit nebezpečí vznícení (Beneš et al., 2020).

Dalším opatřením k redukci rizika je umístění predepsaných hasebních prostředků dle schválené dokumentace požární ochrany. Hasební prostředky zahrnují přenosné i pojízdné hasicí přístroje, které se umísťují dle článku 13.9 normy ČSN 73 0804 ed.2: Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty (2023), ve smyslu ustanovení §13 vyhl. č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb ve znění pozdějších předpisů (Beneš et al., 2020).

V neposlední řadě je důležité při plánování stavby plnicí stanice zajistit přístupové komunikace pro požární techniku, které budou splňovat legislativní požadavky a zpracovat postupy pro předcházení požáru a postupy vymezující jednání v případě vzniku požáru. Výše uvedené postupy budou zahrnuty v dokumentaci požární ochrany. Tyto postupy mohou zahrnovat například požární poplachové směrnice a evakuační plány, nebo také vhodné umístění vypínacích tlačítek (GasNet, 2021).

1.3.7 Výhody použití LNG jako paliva spalovacího motoru

LNG se dnes řadí mezi klíčové formy zdroje energie pro dálkovou silniční, lodní a železniční dopravu a také pro průmyslové energetické a tepelné procesy mimo zemní plynové sítě. V České republice má využití LNG v silniční dopravě zásadní význam, zejména pro těžká nákladní vozidla. LNG je výhodnou volbou pro dopravce, logistické firmy a technické služby. Modernizace vozového parku nákladních vozidel směrem k pohonu na LNG je ekonomicky prospěšná alternativa k dnes nejzásadnějším palivům v nákladní kamionové dopravě, konkrétně motorové naftě. Oproti naftě je LNG šetrnější k životnímu prostředí a zároveň ekonomicky efektivnější. Vozidla na LNG pohon mohou od naplnění palivové nádrže ujet až 1500 km. Tato vzdálenost je srovnatelná s dojezdem nákladních automobilů s dieselovým motorem. Samotné plnění LNG nádrže trvá v rozmezí 5–10 minut. Tato doba tankování je srovnatelná s běžným tankováním motorové nafty. Rozdíl je v procesu plnění, kdy musí být osoba provádějící plnění LNG nádrže řádně proškolená v rámci speciálního školení (Ing.cz, 2022).

1.3.8 Budoucnost v dopravě

Zemní plyn zaujímá klíčovou pozici jako ekologicky šetrné palivo pro spalovací motory s vnitřním spalováním s mnoha důležitými ekonomickými i ekologickými výhodami. Emise oxidů dusíku spáleného LNG jsou až o 70 % nižší než emise u nafty a množství pevných částic, které jsou také velké téma v poslední době, jsou oproti běžným fosilním palivům redukovány až o 99 %. Tímto způsobem přináší výrazné zlepšení kvality vzduchu a to vede k pozitivnímu dopadu na životní prostředí. Dalším z klíčových aspektů je příspěvek LNG k omezení globálního oteplování. Díky výrazně nižším emisím oxidu uhličitého, ve srovnání s tradičními palivy, má zemní plyn významný podíl na snižování celkových emisí skleníkových plynů. Z hlediska dlouhodobé udržitelnosti a ochrany klimatu je jeho použití klíčovým krokem směrem k čistší budoucnosti (Dufek et al., 2019).

Vlivem minimalizace závislosti na fosilních palivech a snahou o snižování emisí v automobilové dopravě, se některé přední společnosti v oblasti kamionové přepravy připravují na změny v používaných pohonech a palivech. Zdroje ropy klesají, což zvyšuje zájem o alternativní paliva. Společnosti jako Daimler, Volvo, IVECO a Scania investují do vývoje alternativních pohonů. První dvě zmiňované společnosti se zaměřují spíše na alternativní technologie elektrizovaného pohonu, jako jsou palivové články a elektropohony. Zbývající dvě společnosti, IVECO a Scania, investují do vývoje motorů vozidel pozemní dopravy, jejichž palivem je zemní plyn. IVECO představilo svůj model nákladního automobilu pro mezinárodní a vnitrostátní dálkovou dopravu, Stralis NP (Natural Power), která je poháněna zemním plynem. Tato změna paliva dle výrobce znamená snížení emisí a efektivnější provoz. Tento typ tahače byl použit pro porovnání vlastností a ekonomického provozu s dieselovým nákladním automobilem v praktické části bakalářské práce (Branko Remek, 2021).

2 Cíle bakalářské práce

Cílem této práce je provést komplexní analýzu a porovnání dvou typů motorů používaných v nákladní dopravě. Bude porovnáván motor spalující motorovou naftu a motor spalující zkapalněný zemní plyn (LNG). Konkrétně se bakalářská práce bude zaměřovat na porovnání jízdních vlastností a ekonomické efektivity těchto dvou pohonů, dále bude posouzen enviromentální dopad z hlediska produkce skleníkového plynu, konkrétně oxidu uhličitého (CO₂). Nebudou chybět ani zhodnocení technických parametrů, včetně porovnání vlastností obou typů motorů. Výstupem bude zhodnocení výše uvedených bodů analýzy práce, které může poskytnout ucelený pohled na využitelnost alternativního pohonu ve srovnání s klasickým dieselovým pohonem.

3 Praktická část

V praktické části budou porovnávány konvenční motory v nákladních automobilech společnosti Giomir s.r.o., která bude představena v úvodu této praktické části. Byly vybrány a porovnávány nákladní automobily shodného charakteru a po totožné trase přepravovaly také identický typ nákladu. Tím bylo umožněno porovnání vlastností dvou typů pohonů nákladních automobilů, konkrétně motoru spalujícího motorovou naftu a motoru spalujícího alternativní palivo LNG. Data získaná analýzou budou zpracována prostřednictvím matematických vztahů pro získání směrodatných výsledků a následně subjektivní zhodnocení. V závěru praktické části bude detailně popsán proces plnění LNG nádrží tahače pro srovnání s běžným tankováním motorové nafty.

Představení společnosti Giomir s.r.o.

Společnost Giomir s.r.o. byla založena roku 1995 se sídlem v Kaplici-Nádraží, kde má společnost vlastní zázemí. Od roku 2015 se zaměřuje na nákladní automobilovou dopravu a provozuje ji dodnes. Jejich flotila nákladních automobilů je určena na přepravu sypkých materiálů. Realizují mezinárodní dopravu, konkrétně na území České republiky a Rakouské republiky. Jedním z jednatelů společnosti je pí. Smudková, se kterou se na řízení podílí i její manžel. Jedná se o osoby, kterým není čistota a kvalita našeho životního prostředí lhostejná. Zajímají se o dopady průmyslu a dopravy na životní prostředí a také o technologie, které znečištění minimalizují. To byl jeden z hlavních důvodů nákupu a provozování nákladního automobilu s alternativním LNG pohonem. Společnost Giomir s.r.o. byla vůbec prvním autodopravcem v jihočeském kraji vlastním nákladním automobil na LNG pohon.

Z počátku provozu společnost vlastnila 2 dieselové tahače a již v tuto dobu bylo plánováno, že nákup dalších vozidel bude směřovat „zeleným směrem“. Prodejci nákladních automobilů nabízeli v oblasti alternativních pohonů jen koncept CNG, který však nevyhovoval požadavkům společnosti - zejména s ohledem na nižší dojezdovou vzdálenost v porovnání s dieselovým pohonem.

Ve chvíli rozhodnutí o nákupu dalšího vozidla již byla v nabídce vozidla s technologií LNG a společnost se rozhodla pro nákup nákladního vozu značky IVECO. Jednatelé se pro tohoto výrobce rozhodli především na základě jednoduššího provedení motoru oproti konkurenčním výrobcům vyrábějících nákladní vozy na LNG pohon. Byl realizován nákup prvního zkušební vozu IVECO S-WAY (viz obrázek 3.1), který je vybaven dvěma sdruženými nádržemi na zkapalněný zemní plyn a jeho dojezd je až 1 100 km. Tato skutečnost reálného dojezdu je srovnatelná s nákladními vozy s dieselovými agregáty. To byla jedna z nejdůležitějších podmínek při rozhodování pro nákup nákladního automobilu, který bude mít potřebné tahové vlastnosti a zároveň bude šetrnější k životnímu prostředí.



Obrázek 3.1: Nákladní automobil společnosti Giomir s.r.o.
(ceskokrumlovskydenik.cz, 2020)

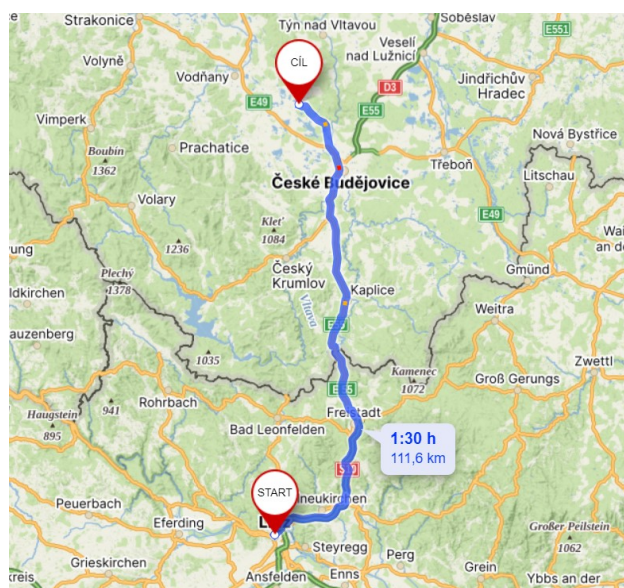
Společnost nyní vlastní pět souprav poháněných pohonem LNG a jednu soupravu s naftovým pohonem. Vozidlo s diesellovým motorem je v tuto chvíli na prodej, autodopravce tak bude vlastnit pouze flotilu tahačů s alternativním LNG palivem.

3.1 Porovnání nákladních vozidel poháněných na motorovou naftu a LNG

Trasa Linec-Mydlovary

Aby byl docílen co nejrelevantnější výsledek, měření byla provedena na shodné trase u obou typů tahačů. Tím, že firma provozuje oba typy pohonů vozidel, nebyl problém tato data získat z palubních počítačů vozidel, které zaznamenávají veškerá data o jízdě. Data byla získána prostřednictvím webu IVECO ON pro oba tahače s rozdílným pohonem, avšak shodným typem návěsu a totožným typem nákladu a jeho obdobným množstvím. Data z palubních počítačů pomáhají zaměstnavatelům sledovat výkony svých zaměstnanců a mohou přispět k zefektivnění a snížení nákladů na dopravu.

Jedná se o stálou zakázku společnosti Giomir s.r.o. Jak již bylo uvedeno v kapitole 3, dopravce přepravuje sypké zboží - na této trase konkrétně strusku. Trasa (viz obrázek 3.2), o délce 111,60 km, vede z velké části po silnici 1. třídy E55, která protíná obci Kaplice-Nádraží, kde společnost sídlí. Tím, že společnost vlastní a provozuje vlastní plnicí LNG stanici, jsou řidiči ušetřeni hledáním plnicích stanic na trase. Z hlediska délky trasy stále zakázky je tak relativně komfortní kontrola stavu paliva v nádrži, což může mít pozitivní vliv na psychickou stránku řidiče.



Obrázek 3.2: Mapa trasy Linec-Mydlovary
(Mapy.cz, 2024)

3.1.1 Nákladní automobil s naftovým motorem

Měření bylo provedeno na nákladním vozidle IVECO S-WAY 460, který je opatřen motorem IVECO Cursor 11. Vozidlo je ve shodné výbavové konfiguraci, jako je tomu u vozidel s LNG agregáty. Motory mají velice podobné parametry a srovnání obou typů paliv je proto relevantní.

Vznětový spalovací motor IVECO Cursor 11

Jízdní souprava s dieslovým pohonem plní emisní normu Euro 6 a je opatřena motorem IVECO Cursor 11 (viz obrázek 3.3) o výkonu 353 kW a točivým momentem 2 150 N·m v rozmezí od 950 do 1 500 otáček klikové hřídele za minutu. Dieslový motor je charakteristický pro tvorbu oxidů dusíku, které jsou pro lidské tělo toxické a pro normu Euro 6 jsou již tyto emise přísně limitovány. Tahač je z těchto důvodů opatřen výfukovým systémem HI-SCR, který výfukové plyny upravuje a škodlivé látky eliminuje na povolenou mez. Aby byl tento systém funkční, je nutností vstřikování AdBlue, což zvyšuje provozní náklady. Spotřeba AdBlue se u nákladního vozidla uvádí v průměru 7 % ve srovnání se spotřebou nafty (ivecotc.cz, 2024).



Obrázek 3.3: *Iveco Cursor 11*
(directindustry.com, 2024)

Jízda nákladního automobilu s naftovým pohonem

Nákladní vozidlo s dieslovým pohonem přepravovalo náklad strusky o celkové hmotnosti jízdní soupravy 27 060 kg, konkrétně strusku prostřednictvím sklápěcího návěsu. Trasa byla popsána již v úvodní části kapitoly 3.1.

Spotřeba paliva a náklady na dopravu

Délka trasy jízdy byla dlouhá 111,60 km, jak bylo popsáno v předchozí kapitole. Z dat získaných prostřednictvím webu IVECO ON činila průměrná spotřeba dieslového nákladního vozidla na této trase 41,20 l/100 km.

Spotřebované palivo vypočítáme jako podíl součinu průměrné spotřeby s délkou trasy a vydělením sta kilometrů. Výsledný vztah bude vypadat takto:

$$S_{diesel} = \frac{(\varnothing S \cdot l)}{100}, \quad (3.1)$$

kde:

S_{diesel} – spotřebované palivo [l];

$\varnothing S$ – průměrná spotřeba nafty[l];

l – vzdálenost trasy [km].

Po dosazení:

$$S_{diesel} = \frac{(41,20 \cdot 111,60)}{100}, \quad (3.2)$$

$$S_{diesel} = 45,98 \text{ l}. \quad (3.3)$$

Z výsledku vyplývá, že bylo spotřebováno celkem 45,98 litrů nafty. Cena nafty v den provozu činila 36,50 Kč/l, s touto cenou bude počítáno v nákladech na provoz ve srovnání s LNG.

Emise CO₂

Jelikož nákladní vozidlo s dieselovým pohonem nedisponuje přímým měřením emisí CO₂, je potřeba vypočítat vyprodukované emise oxidu uhličitého nepřímou metodou ze vzorce uvedeného v Nařízení vlády č. 189/2018 Sb. - Nařízení vlády o kritériích udržitelnosti biopaliv a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot ve znění pozdějších předpisů (dále jen NV č. 189/2018 Sb.). Tím bude umožněno porovnat vyprodukované množství emisí CO₂ s LNG pohonem, který je již přímým měřením emisí výfukových plynů vybaven (zakonyprolidi.cz, 2018).

Nejprve je pro výpočet potřeba zjistit výhřevnost nafty. Ta se uvádí v jednotkách MJ/kg. Jelikož bude počítáno s produkcí CO₂ v závislosti na množství spotřebované nafty, bude hodnota výhřevnosti získána z normy (ČSN 73 0824. Požární bezpečnost staveb. Výhřevnost hořlavých látek., 1992), převedena z jednotky MJ/kg na jednotku MJ/l pomocí následujícího matematického vztahu:

$$E_l = E_{kg} \cdot \rho, \quad (3.4)$$

kde:

E_l – energie nafty v jednotce [MJ/l];

E_{kg} – energie nafty v jednotce [MJ/kg];

ρ – hustota nafty [kg/m³].

Dle (fyzika.in, 2024) činí střední hodnota hustoty motorové nafty 0,84 g/cm³. Aby bylo možné počítat s hodnotami v předešlém matematickém vztahu, bude jednotka převedena z g/cm³ na jednotku kg/l:

$$\rho = 0,84 \text{ g/cm}^3 = 0,00084 \text{ kg/l}. \quad (3.5)$$

Nyní je možné dosadit do matematického vztahu pro výpočet energetické hodnoty nafty v jednotce MJ/l:

$$E_l = 42 \cdot 0,00084, \quad (3.6)$$

$$E_l = \mathbf{35,28 \text{ MJ/l}}. \quad (3.7)$$

Hodnotu celkové energie, která byla spotřebována v projeté naftě při přepravě nákladu na sledované trase, získáme součinem množství spotřebované nafty S_{diesel} a výslednou hodnotou energie nafty E_l :

$$MJ_{MN} = S_{diesel} \cdot E_l, \quad (3.8)$$

kde:

MJ_{MN} – celková energie z motorové nafty pro dopravní účely [MJ/l];

S_{diesel} – spotřebované palivo [l];

E_l – energie nafty v jednotce [MJ/l].

Po dosazení:

$$MJ_{MN} = 45,98 \cdot 35,28, \quad (3.9)$$

$$MJ_{MN} = \mathbf{1\,623,54\ MJ}. \quad (3.10)$$

V tuto chvíli jsou získány veškeré potřebné hodnoty pro výpočet množství emisí CO₂, které budou vypočteny prostřednictvím následujícího vztahu, použit matematický vztah převzatý z NV č. 189/2018 Sb. (zakonprolidi.cz, 2018):

$$E_{PHM} = \frac{\sum(GHG_{MN} \cdot AF \cdot MJ_{MN}) - UER}{\sum MJ_{MN}}, \quad (3.11)$$

kde:

E_{PHM} – množství emisí skleníkových plynů [gCO_{2ekv}/MJ];

GHG_{MN} – produkce emisí skleníkových plynů z motorové nafty pro dopravní účely [gCO_{2ekv}/MJ];

AF – opravný faktor zohledňující účinnost hnacích ústrojí podle Přílohy č. 2 k nařízení vlády, bod 7;

MJ_{MN} – celková energie z motorové nafty pro dopravní účely [MJ];

UER – množství snížených emisí z těžby [gCO_{2ekv}].

V NV č. 189/2018 Sb. jsou uvedeny následující hodnoty (zakonprolidi.cz, 2018). Pro:

- $GHG_{MN} = 83,80$ gCO_{2ekv}/MJ;
- $AF = 1$;
- $UER = 11,30$ gCO_{2ekv}.

Po dosazení:

$$E_{PHM} = \frac{(83,80 \cdot 1 \cdot 1623,54) - 11,30}{1623,54}, \quad (3.12)$$

$$E_{PHM} \doteq 83,99 \text{ gCO}_{2ekv}/\text{MJ}. \quad (3.13)$$

Nyní bude vypočtena hodnota celkového množství vyprodukovaného oxidu uhličitého součinem množství emisí skleníkových plynů E_{PHM} a MJ_{MN} :

$$E_{MN} = E_{PHM} \cdot MJ_{MN}, \quad (3.14)$$

kde:

E_{MN} – celkové emise CO₂ vyprodukované za trasu [kg];

E_{PHM} – množství emisí skleníkových plynů [gCO_{2ekv}/MJ];

MJ_{MN} – celková energie z motorové nafty pro dopravní účely [MJ].

Po dosazení:

$$E_{MN} = 83,99 \cdot 1623,54, \quad (3.15)$$

$$E_{MN} = \mathbf{136,29\ kg}. \quad (3.16)$$

Při délce trasy 111,60 km pak průměrné emise vyprodukovaného CO₂ na ujetý kilometr činí:

$$\varnothing E_{MN} = \frac{E_{MN}}{l}, \quad (3.17)$$

kde:

$\varnothing E_{MN}$ – průměrné emise CO₂ na 1 km [g/km];

E_{MN} – celkové emise CO₂ vyprodukované za trasu [g];

l – vzdálenost trasy [km].

Po dosazení:

$$\varnothing E_{MN} = \frac{136290}{111,6}, \quad (3.18)$$

$$\varnothing E_{MN} \doteq 1221,83 \text{ g/km}. \quad (3.19)$$

3.1.2 Nákladní automobil s LNG motorem

Nákladní automobil IVECO S-WAY Natural Power je defacto na první pohled identický typ tahače. Prakticky jediný způsob, jak lze poznat, že se jedná o vozidlo poháněné na zkapalněný zemní plyn, je dle rozdílných palivových nádrží.

Zážehový spalovací motor IVECO Cursor NP 13

Modely IVECO S-Way Natural Power (NP), které společnost Giomir s.r.o. vlastní, jsou poháněny jednotkou IVECO Cursor NP 13 (viz obrázek 3.4). Ačkoli se jedná prakticky o zážehový motor, jeho vlastnosti jsou srovnatelné s konvenčními dieselovými agregáty. Jeho maximální výkon dosahuje 338 kW a točivého momentu 2 000 N·m v rozmezí od 1 100 do 1 600 otáček klikové hřídele za minutu. Skutečností, že se jedná o zážehový spalovací pístový motor, odpadá nutnost úpravy výfukových plynů pomocí výfukového systému HI-SCR, aby byla dodržena emisní norma. To znamená také absenci vstřikování AdBlue, tím je jednodušší celý systém pohonné jednotky a tím jsou sníženy náklady na provoz. Výfukový systém je opatřen pouze třicestným katalyzátorem, který je dnes v benzinových motorech zcela běžný a tahač tak splňuje emisní normu Euro 6.



Obrázek 3.4: Iveco Cursor NP 13
(automobilrevue.cz, 2020)

Nové modely vozů, jako je IVECO S Way, nabízejí bohaté vybavení a moderní technologie, včetně předvídativé strategie řazení a vysokého výkonu při zachování nízké hladiny hluku a dalších elektronických asistentů jízdy. Šestiválcový motor Cursor 13 NP je zážehový a pracuje se stechiometrickou směsí plynu a vzduchu, dosahuje vysoké tepelné účinnosti na hranici klepání a zachovává srovnatelný točivý moment a výkon jako původní vznětový motor. Splňuje emisní normu Euro 6 výrazným snížením emisí, včetně 60% snížení oxidů dusíku a 99% snížení pevných částic. IVECO je jedním z prvních výrobců, který nasadil vozidla s alternativním pohonem do provozu. S tím se pojí rozsáhlé zkušenosti firmy IVECO s provozem vozů na alternativní paliva a nabízí komplexní systém finančních a servisních služeb (Branko Remek, 2021).

Jízda nákladního automobilu s LNG pohonem

Abychom mohli vozy s rozdílnými pohony porovnat, budou porovnáována totožná data jako u tahače s dieselovým pohonem. Nákladní automobil vykonával práci na identické trase, která byla popsána výše v kapitole 3.1, se shodným typem návěsu a nákladem strusky. Celková hmotnost jízdní soupravy činila 27 320 kg.

Prostřednictvím dialogu s řidičem vozidla na LNG pohon, který také dříve užíval dieselové nákladní vozidlo, byl zjištěn jeho následující subjektivní dojem. Výkonnostní dojem během jízdy je oproti dieselovému pohonu „línější“, na druhou stranu je ale jízda s nákladním vozidlem na LNG pohon výrazně tižší a to je z dlouhodobého hlediska velmi příjemné a méně unavující pro fyzickou i psychickou pohodu.

Spotřeba paliva a náklady na dopravu

Délka trasy jízdy byla dlouhá 111,60 km. Z dat získaných prostřednictvím IVECO ON činila průměrná spotřeba LNG na této trase 32,50 kg/100 km. Povětrnostní podmínky zde byly shodné, v tomto ohledu je tedy srovnání relevantní a nemá na výsledek vliv.

Spotřebované palivo vypočítáme jako podíl součinu průměrné spotřeby s délkou trasy a vydělením sta kilometrů. Výsledný vztah bude vypadat takto:

$$S_{LNG} = \frac{(\varnothing S \cdot l)}{100}, \quad (3.20)$$

kde:

S_{LNG} – spotřebované palivo [kg],

$\varnothing S$ – průměrná spotřeba LNG [kg/100km],

l – vzdálenost trasy [km].

Po dosazení:

$$S_{LNG} = \frac{(32,50 \cdot 111,60)}{100}, \quad (3.21)$$

$$S_{LNG} = \mathbf{36,27 \text{ kg}} \quad (3.22)$$

Z výsledku bylo zjištěno, že na dopravu bylo celkem spotřebováno 36,27 kg. V době provozu cena za 1 kg LNG činila 41,50 Kč. S touto cenou bude počítáno v nákladech na provoz ve srovnání s dieselovým pohonem.

Emise CO₂

Z údajů na webové stránce IVECO ON lze získat informace o vyprodukovaných emisích CO₂ LNG vozidlem. U nákladního automobilu, který byl využit pro účely měření, byla naměřena hodnota průměrné produkce CO₂ do ovzduší 849,90 g/km. Aby bylo dosaženo výsledku celkové produkce emisí za celou jízdu nákladního vozu, bude použit následující matematický vzorec:

$$E_{LNG} = \varnothing E_{LNG} \cdot l, \quad (3.23)$$

kde:

E_{LNG} – celkové emise CO₂ vyprodukované za trasu [g],

$\varnothing E_{LNG}$ – průměrné emise CO₂ na 1 km [g/km],

l – vzdálenost trasy [km].

Po dosazení:

$$E_{LNG} = 849,90 \cdot 111,60, \quad (3.24)$$

$$E_{LNG} = 94\,848,84 \text{ g} \doteq \mathbf{94,90 \text{ kg}}. \quad (3.25)$$

3.2 Plnění palivových LNG nádrží

Jelikož je LNG, jakožto alternativní palivo pro nákladní dopravu, užíváno relativně krátce, považují za vhodné v této práci popsat celý proces plnění LNG nádrží nákladního vozidla. Veškerá fotodokumentace v této kapitole byla pořízena z vlastních zdrojů.

3.2.1 Mobilní LNG stanice

Společnost Giomir s.r.o. je v rámci LNG zcela soběstačná především provozováním vlastní mobilní plnicí stanice (viz obrázek 3.5). Zásobování zajišťuje společnost GasNet s.r.o., jeden z největších dodavatelů LNG v České republice a perioda plnění zásobní nádrže je v průměru jednou za týden.



Obrázek 3.5: Mobilní LNG stanice

V tuto chvíli jsou na trhu tři výrobci nákladních automobilů, kteří nabízejí motory spalující alternativní palivo v podobě LNG. Jedná se o výrobce značky Volvo, Scania

a IVECO. Systém plnění nádrží je u výrobce nákladních automobilů značky Volvo rozdílný oproti výrobcům značek Scania a IVECO. Obsluha pouze na obslužném stojanu (viz obrázek 3.6) zvolí jaký typ nákladního vozu bude plnit a plnicí systém si poté proces plnění LNG nádrže řídí samostatně.



Obrázek 3.6: Obslužný stojan plnicí stanice LNG

3.2.2 Plnění LNG nádrže Iveco S-WAY NP

Nejdůležitější na celém plnění LNG nádrží je bezpečnost obsluhy. Každý řidič vozidla na pohon LNG, je proškolen pověřenou osobou ze strany provozovatele plnicí stanice. Obsluha a ostatní lidé v bezprostředním okolí plnicí stanice LNG jsou povinni při plnění užívat čelní štít, ochranné rukavice k tomu určené a pevnou pracovní obuv s tvrzenou špičkou. Pracuje se s velmi podchlazeným, nebezpečným, výbušným plynem, a proto je nejvyšší úroveň bezpečnosti na místě.

Před samotným nasazením plnicích hadic je nutné stykové plochy řádně očistit a odstranit případné nečistoty. Nejprve se provede odkrytí krytů veškerých obslužných systému zásobní nádrže nákladního automobilu (viz obrázek 3.7), následně se řádně očistí stykové plochy hlavního plnicího ventilu a ventilu pro vyrovnání tlaku v nádržích proudem stlačeného vzduchu, který je k dispozici na obslužném stojanu. Tento krok je velmi důležitý, jelikož při plnění nádrží dochází k podchlazení těchto součástí až na teplotu rovnou plněného plynu, tedy až na teplotu $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$. V případě případného výskytu vlhkosti může dojít k přimrznutí plnicí hadice a plnicího ventilu a je obtížné tyto díly od sebe odpojit. Zároveň v důsledku výskytu nečistoty v oblasti stykových ploch je riziko netěsnosti spoje.



Obrázek 3.7: Palivová LNG nádrž

Jelikož se v tomto případě jedná o vozidlo s konfigurací se sdruženými nádržemi, je nutné pro naplnění obou nádrží otevřít kohout propojení sdružených nádrží. Poté je umožněno plnit obě nádrže současně a docílit tak doplnění nádrží na maximum.

Po provedení veškerých potřebných úkonů před započítím plnění jsou připojeny dvě hadice s odlišným průměrem (viz obrázek 3.8). Průměrově širší hadice je určena pro hlavní plnění a užší pro upravení tlaku v nádržích. Tím se docílí ideálních podmínek pro plnění a je možnost tímto způsobem docílit podchlazení nádrží na potřebnou teplotu, pokud se vlivem plnění teplota a tlak v nádržích zvýší.



Obrázek 3.8: Upravení tlaku v nádržích před plněním

Pro úspěšné naplnění nádrží musí být tlak pod hranicí 1 000 kPa. Bezpečné rozmezí tlaku pro plnění nádrží je znázorněno v zeleném poli manometru (viz obrázek 3.9).

Fotografie byla vyhotovena po plnění, proto je tlak mírně vyšší než je optimální hodnota před začátkem plnění.



Obrázek 3.9: Ukazatel tlaku v nádržích

Po upravení tlaku je nutné upevnit kleštiny pro uzemnění statického náboje a následně je možné hadici s užším průměrem odpojit (viz obrázek 3.10). V tuto chvíli již probíhá hlavní plnění nádrží. Plnicí systém provádí plnění automaticky. Obsluha provádějící plnění má možnost sledovat informace ohledně naplněného množství zkapalněného plynu, aktuálního tlaku v nádržích nákladního vozu a teploty plněného plynu na informačním displeji. Pokud by jakákoliv hodnota přesáhla bezpečné limity, systém zastaví plnění a podá instrukce k dalšímu postupu obsluhy. Např. jakmile nastane překročení bezpečného limitu tlaku v nádržích, systém udá obsluhu pokyn připojení hadice s užším průměrem, aby bylo umožněno vyrovnat tlak na bezpečnou úroveň.



Obrázek 3.10: Plnění LNG do nádrží nákladního automobilu

Jako bezpečnostní prvek pro zajištění kontroly plnění obsluhou zde slouží tlačítko bdělosti nacházející se na obslužném stojanu plnicí stanice. V momentě, kdy obsluha uslyší varovný signál, stlačí tlačítko bdělosti. Tím signál umlčí a poskytne tak plnicí stanici informaci, že je přítomna v oblasti procesu plnění a věnuje mu plnou pozornost. Tento signál je spuštěn každých 30 s v průběhu procesu plnění. Jako další a nejdůležitější bezpečnostní prvek, je instalováno tlačítko nouzového vypnutí, které zajistí uzavření hlavního přívodu LNG.

Jakmile dojde k úplnému naplnění nádrží (objem obou nádrží je roven 1 300 litrů, to odpovídá 400 kilogramů LNG), je možné odpojit plnicí hadici a následně kleštiny uzemnění. Je nutné dbát důsledné opatrnosti, jelikož jsou zejména kovové části plnicí hadice silně podchlazeny vůči okolnímu prostředí. Jakmile jsou veškeré plnicí prvky LNG stanice upevněny na určeném místě obslužného stojanu, osoba provádějící plnění uzavře kohout propojení sdružených nádrží a uzavře ochranné kryty. Nyní je vozidlo připraveno k dalšímu využití.

Veškeré informace, uvedeny v této kapitole, byly získány díky společnosti Giomir s.r.o., která umožnila mou přítomnost při plnění alternativního paliva LNG. Při tomto tankování bylo do nádrží naplněno celkem 125 kg LNG a celý průběh plnění trval přibližně 5 min.

4 Výsledky

4.1 Porovnání výsledků měření - náklady na jízdu

Z výsledků spotřebovaného paliva, které byly dosaženy ve výsledcích výpočtů 3.3 a 3.22 na trase Linec-Mydlovary o délce 111,60 km, víme:

- diesellový pohon: spotřebováno 45,98 l nafty při ceně 36,50 Kč/l;
- LNG pohon: spotřebováno 36,27 kg LNG při ceně 41,50 Kč/kg.

Matematický vztah pro výpočet

Abychom zjistili výsledné náklady na provoz jednotlivých vozidel s různými pohony na této trase, bude použit tento matematický vztah:

- pro diesellový pohon (zde je potřeba brát v potaz také spotřebu AdBlue):

$$N_{diesel} = (S_{diesel} \cdot C_{ena_{nafta}}) + \frac{(7 \cdot S_{diesel})}{100} \cdot C_{ena_{AdBlue}}, \quad (4.1)$$

kde:

N_{diesel} – celkové náklady na provoz za trasu [Kč],

S_{diesel} – spotřebované palivo [l].

- Pro pohon LNG:

$$N_{LNG} = S_{LNG} \cdot C_{ena_{LNG}}, \quad (4.2)$$

kde:

N_{LNG} – celkové náklady na provoz za trasu [Kč],

S_{LNG} – spotřebované palivo [kg].

Výpočet

Dosažením do výše určených matematických vztahů budou stanoveny náklady na provoz diesellového nákladního automobilu a nákladního automobilu na alternativní LNG pohon.

- Diesellový pohon: průměrná cena AdBlue se v době měření pohybovala na hranici 15 Kč/l a s touto cenou se bude v tomto srovnání počítat:

$$N_{diesel} = (45,98 \cdot 36,50) + \frac{(7 \cdot 45,98)}{100} \cdot 15, \quad (4.3)$$

$$N_{diesel} \doteq \mathbf{1\ 727\ Kč}. \quad (4.4)$$

- Pohon LNG:

$$N_{LNG} = (36,27 \cdot 41,50), \quad (4.5)$$

$$N_{LNG} \doteq \mathbf{1\ 505\ Kč}. \quad (4.6)$$

Z těchto výsledků vyplývá, že provoz nákladního automobilu poháněného zkapalněným zemním plynem je o 225 Kč levnější než provoz diesellového nákladního vozu na řešené trase. Zajímavá je skutečnost, že nákladní automobil poháněný LNG dosahuje nižší spotřeby spalovaného paliva na jednotku tankovaného paliva navzdory vyššího zdvihového objemu motoru.

4.2 Porovnání výsledků měření - množství vyprodukovaných emisí CO₂

Z výsledků množství vyprodukovaných emisí CO₂, které byly dosaženy ve výsledcích 3.16, 3.19 a 3.25 na trase Mydlovary-Linec o délce 111,60 km, víme:

- diesellový pohon: vyprodukováno 136,29 kg CO₂ při průměrné produkci 1221,83 g/km,
- LNG pohon: vyprodukováno 94,90 kg CO₂ při průměrné produkci 849,90 g/km.

Z těchto výsledků vyplývá, že celková hodnota vyprodukovaného skleníkového plynu CO₂ na trase Linec-Mydlovary byla u diesellového nákladního vozidla o 41,39 kg vyšší, než tomu bylo u nákladního vozidla na pohon LNG.

Pro lepší představu a objektivní pohled na rozdíl mezi těmito hodnotami, bude v následujícím matematickém vztahu vypočten rozdíl v procentech:

$$E_{\%} = 100 - \left(\frac{E_{LNG}}{E_{MN}} \right) \cdot 100, \quad (4.7)$$

kde:

$E_{\%}$ – procentuální rozdíl v produkci CO₂ na trase [%],

E_{MN} – celkové emise CO₂ na trase diesellového pohonu [kg],

E_{LNG} – celkové emise CO₂ na trase LNG pohonu [kg].

Po dosazení:

$$E_{\%} = 100 - \left(\frac{94,90}{136,29} \right) \cdot 100, \quad (4.8)$$

$$E_{\%} \doteq \mathbf{30,30\ \%}. \quad (4.9)$$

Z výsledku bylo zjištěno, že diesellový tahač vyprodukoval o 30 % více emisí oxidu uhličitého, než tahač na alternativní LNG pohon. Tento rozdíl je značný z hlediska dlouhodobého užívání, v závislosti na četnosti flotily a daném typu pohonu. Jinými slovy, pokud dopravce vlastní pouze LNG vozidla, vyprodukuje za svou dopravní činnost o zmíněných 30 % méně emisí oxidu uhličitého, než kdyby vlastnil stejný počet vozidel na diesellový pohon.

4.3 Porovnání plnění LNG nádrže s tankováním diesellového vozidla

Cílem popisu celého procesu plnění bylo přiblížení skutečnosti, že vzhledem k časové náročnosti plnění paliva LNG je doba procesu obdobná jako doba tankování diesellových vozidel. Jedinými nevýhodami se zde jeví pouze nutnost školení obsluhy a v tuto chvíli stále nízká četnost plnicích stanic. Na druhou stranu, vlivem školení, je proces tankování preciznější, než je tomu u běžného tankování nafty. Osoba si je vědoma veškerých rizik, která mohou nastat a veškeré úkony koná s vědomým uvažováním. V neposlední řadě, v případě náhlého výskytu mimořádné situace, ví, jak se zachovat a zabránit tak dalším případným škodám.

5 Diskuse

V této bakalářské práci byla porovnávána vozidla rozdílných pohonů, a to vozidla na diesellový pohon a na alternativní palivo LNG. Prostřednictvím získaných dat, které poskytla společnost Giomir s.r.o., byly porovnány provozní náklady na přepravu nákladu, včetně emisního zatížení v produkci CO₂ do ovzduší.

Vzhledem k technickým informacím, které byly získány, lze oba porovnávané motory označit jako konvenční zdroje energie pro dopravu. Hodnoty výkonu a kroutícího momentu porovnávaných spalovacích motorů jsou velice podobné. Diesellový pohon dosahuje v nižších otáčkách motoru vyššího kroutícího momentu oproti LNG motoru. Tento rozdíl je však při jízdě nepatrný a v praxi zanedbatelný. Naopak co se týče hlučnosti, zde je LNG motor výrazně tišší a pro řidiče je tak jízda příjemnější.

Při výpočtu nákladů na provoz bylo počítáno s údaji spotřeby paliva získaných ze systému IVECO ON a s cenou paliv v době měření na trase. Z výsledku vyplynulo, že je provoz diesellového vozidla nákladnější, než je tomu u LNG vozidla. Dle informací majitelů společnosti Giomir s.r.o., je tímto rentabilita LNG vozu znatelně vyšší než při provozování diesellového vozidla. Tento aspekt hodnotím jako kladný faktor při rozhodování o nákupu nákladního vozidla s LNG pohonem oproti diesellovému pohonu.

V běžné praxi se řidiči nákladních vozidel potýkají s odcizováním paliva z nádrží během povinné přestávky na parkovištích. Vlivem shodných tlakových poměrů mezi palivovou nádrží a vnějším prostředím je nafta v kapalném stavu a nemá tendence procházet látkovou přeměnou. Palivové nádrže diesellových nákladních automobilů bývají opatřeny uzamykatelnými víky nádrží, nebo speciálními zámky na víka nádrží, které však nejsou dokonalou ochranou proti krádeži. U LNG vozidla je krádež paliva prakticky nemožná. Jednak je v nádržích vyšší tlak, než je okolní atmosférický tlak (bez speciálního návstavce na plnicí hadici je velice náročné přetlačit pojistný ventil) a vzhledem k vlastnostem zkapalněného plynu je odcizení tohoto paliva velice náročné. Toto je další kladný faktor při výběru nákladního vozidla s LNG pohonem.

V dnešní době je pojem „snížování uhlíkové stopy“ velké téma. S tímto souvisí také produkce CO₂, jakožto plynu způsobujícího skleníkový efekt v atmosféře. Světová doprava je největším zdrojem produkce oxidu uhličitého a je tak emisní normou Euro limitována. Z výsledků celkového množství CO₂ vyprodukovaného za trasu bylo zjištěno, že diesellové nákladní vozidlo vyprodukovalo o 30 % více emisí oxidu uhličitého, než vyprodukoval nákladní automobil na LNG pohon. Další výhodou spalování LNG je, že při spalování vzniká o 70 % méně emisí oxidu dusíku a zásluhou složení zkapalněného zemního plynu, je produkce pevných částic dokonce až o 99 % nižší, než je tomu u fosilních paliv. To znamená, že výfukový systém nemusí být opatřen velkým množstvím systémů redukcí množství škodlivých plynů do atmosféry a tím jsou také ušetřeny náklady na výfukový systém LNG vozidla.

Jako nevýhodu vnímám únik metanu vlivem odpařování LNG ve skladovacích nádržích do ovzduší. I když se zmiňovaná hodnota uniklého plynu (0,17 % objemu za jeden den) může jevit jako zanedbatelná, jsou to stálé ztráty, které se při malém vytížení plnicí stanice a malé spotřeby LNG zvyšují. Zde jsou dvě možná řešení, jak přebytečný plyn využít. První z nich je tento plyn znovu zchladit a zkapalnit. Na tento proces je ale potřeba relativně velká energie a při tomto malém množství odparu nemá význam. Druhým řešením je sběr tohoto odpařeného plynu do externí tlakové nádoby, ze které mohou plyn využívat energetické zdroje, např. plynový kotel nebo elektrocentrály spalující zemní plyn. Proto vnímám za vhodné při plánování výstavby plnicí stanice LNG zároveň počítat s odběrem odparu a následného využití pro energetickou soběstačnost v případě nenadálých událostí, např. výpadek elektrického proudu.

Únik však neprobíhá jen u skladovacích nádrží, ale také v palivovém systému tahače. Viníkem je stejný důvod, jako je tomu u skladovacích nádrží. Pokud např. dopravce nemá zakázky a nákladní automobil nekoná práci delší časové období, uvažujme jeden kalendářní měsíc, může dojít k tak velkému úniku paliva a ohřátí nádrže, že je následný proces plnění nádrží násobně delší. Jak bylo popsáno, plnění si plnicí zařízení řídí samo, ale je potřeba prostor nádrží opět zchladit a zároveň udržovat bezpečný tlak, z těchto důvodů může být proces plnění nádrží do plného stavu podstatně delší.

V neposlední řadě je samotný metan, sám o sobě, plynem, který způsobuje skleníkový efekt. I proto uznávám za vhodné úniky z nádrží zachytit a dále využít.

Ve snaze snížit emise skleníkových plynů se zavádějí také tzv. biopaliva, čímž je snižována produkce oxidu uhličitého v důsledku schopnosti rostlin absorbovat CO₂ během růstu. Z těchto rostlin se následně vyrábí biopalivo v biorafinériích. I v tomto ohledu vidím dobrý směr v podobě alternativního paliva BioLNG, které se získává zkapalněním bioplynu, který vzniká při mikrobiálním rozkladu organických látek.

Co se týče četnosti plnicích stanic, věřím, že zvláště vlivem pozitiv LNG pohonu, jako jsou lepší jízdní vlastnosti automobilů a menší zátěž pro životní prostředí oproti diesellovým nákladním automobilům, budou plnicí stanice do budoucna dostupnější.

Závěr

V této práci byly analyzovány a porovnány dva hlavní typy motorů využívaných v nákladní dopravě. Motor spalující kapalný zemní plyn (LNG) a motor spalující naftu. Na základě provedené analýzy bylo zjištěno několik klíčových výsledků, které poskytují důležité poznatky pro budoucí rozhodování v oblasti dopravy a energetiky ohledně alternativního pohonu LNG.

Prvním důležitým zjištěním je ekonomická efektivnost. Z provedené analýzy vyplývá, že i když jsou pořizovací náklady na nákladní vozidlo s LNG pohonem vyšší než u naftových nákladních vozidel, provozní náklady na palivo jsou u LNG pohonu nižší. Zároveň, především díky jednoduššímu konstrukčnímu řešení, je LNG motor oproti porovnávanému diesellovému motoru méně poruchový a méně nákladný na servis.

Druhým důležitým aspektem je enviromentální dopad. Z výsledků analýzy je zřejmé, že motory spalující LNG vykazují nižší emise skleníkových plynů, oxidů dusíku a pevných částic ve srovnání s naftovými motory. Tento faktor hraje klíčovou roli v době, kdy je snižování emisí prioritou ve snaze o ochranu životního prostředí.

V neposlední řadě bylo diskutováno o technických vlastnostech obou typů motorů, včetně jejich výkonu, efektivity a celkovém dojmu z jízdy. Z provedené analýzy vyplývá, že oba typy motorů mají své výhody a nevýhody. Volba mezi nimi by měla být založena na konkrétních potřebách a podmínkách provozu.

Závěrem je důležité zdůraznit, že přechod na LNG motory by mohl přinést celou řadu výhod, včetně snížení provozních nákladů, ochrany životního prostředí a rozložení energetických zdrojů. Přesto, aby tento přechod byl úspěšný a efektivní, je nezbytné dále investovat do infrastruktury pro distribuci LNG a podporovat technologické inovace v této oblasti.

Seznam použitých zdrojů

- Alena Adámková (2022). Biometan. [online], Praha, Petrol.cz. [cit. 2024-03-10], Dostupné z: https://www.petrol.cz/magazin/2022/2022-04/biometan-12292?fbclid=IwAR03nhHrF6Gn0G0j-2XkhgcF_ocv58Zz0F9-1rqC17TDfTxRnWvjWKzjhTw.
- automobilrevue.cz (2020). Iveco S Way NP – Natural power. [online], Praha, automobil. [cit. 2024-01-24], Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/testy/predstavujeme/iveco-s-way-np-natural-power_48088.html.
- autoweb.cz (2023). Nákladní loď převážející LNG. [online], Praha, autoweb.cz. [cit. 2023-08-30], Dostupné z: <https://www.autoweb.cz/lng-carrier-main/>.
- Beneš, P., Kaksa, V., Martin, a Kugler (2020). Komentář normy ČSN EN ISO 16924. [online], Praha, GasNet. [cit. 2023-08-30], Dostupné z: https://www.cgoa.cz/pages/pdfdoc/aktuality/2020/GasNet_LNG_komentar_k_norme_A4.pdf.
- Branko Remek (2021). Kamion se zážehovým motorem na zemní plyn. [online], Praha, Technický týdeník.cz. [cit. 2024-03-08], Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/kamion-se-zazehovym-motorem-na-zemni-plyn_52276.html.
- calpg.cz (2019). Vize pro LPG. [online], Desná, Česká asociace LPG. [cit. 2024-03-09], Dostupné z: <https://calpg.cz/wp-content/uploads/2019/09/Vize-pro-LPG.pdf>.
- cappo.cz (2023). Automobilový benzín. [online], Praha, Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu. [cit. 2023-08-28], Dostupné z: <https://www.cappo.cz/pohonne-hmoty-a-energie-pro-mobilitu/automobilovy-benzin>.
- cappo.cz (2024a). LNG. [online], Praha, Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu. [cit. 2024-02-27], Dostupné z: <https://www.cappo.cz/pohonne-hmoty-a-energie-pro-mobilitu/lng>.
- cappo.cz (2024b). Motorová nafta a biosložky. [online], Praha, Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu. [cit. 2024-02-27], Dostupné z: <https://www.cappo.cz/caste-dotazy/dotazy/motorova-nafta-a-bioslozky>.
- cappo.cz (2024c). Svět motorů: Biopalivo lepší než nafta sama. [online], Praha, Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu. [cit. 2024-03-05], Dostupné z: <https://www.cappo.cz/aktuality-a-media/ostatni-media/precetli-jsme-zavas/svet-motoru-biopalivo-lepsi-nez-nafta-sama>.
-

- cappo.cz (2024d). Vývoj spotřeby pohonných hmot v ČR za rok 2022. [online], Praha, Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu. [cit. 2024-01-02], Dostupné z: <https://www.cappo.cz/aktuality-a-media/aktuality/vyvoj-spotreby-pohonnych-hmot-v-cr-za-rok-2022>.
- ceskokrumlovskydenik.cz (2020). Kamion na LNG pokřtila společnost giomir jako první v kraji. [online], Český Krumlov, Českokrumlovský deník. [cit. 2024-01-20], Dostupné z: https://ceskokrumlovsky.denik.cz/zpravy_region/kamion-na-lng-pokrtila-spolecnost-giomir-jako-prvni-v-kraji-20201002.html.
- cngplus.cz (2013). LNG vs CNG. [online], Praha, CNGplus. [cit. 2023-08-30], Dostupné z: <https://www.cngplus.cz/lng-vs-cng.html>.
- consiliumeuropa.eu (2022). Infrastruktura pro zkapalněný zemní plyn v EU. [online], Praha, Rada Evropské unie. [cit. 2023-08-30], Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/infographics/lng-infrastructure-in-the-eu/>.
- cswikipedia.org (2023). Činnost dvoudobého vznětového motoru. [online], Praha, cs.wikipedia.org. [cit. 2023-08-30], Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Dvoudobý_spalovací_motor_vznětový.
- directindustry.com (2024). Diesel engine CURSOR 11. [online], Turin-Italy, FPT Industrial S.p.A. [cit. 2024-01-26], Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/fpt-industrial-spa/product-98569-1875345.html>.
- Dufek, Z., Beneš, B., a Pospíšil, J. (2019). *Využití LNG v dopravě a energetice a jeho bezpečnost*. Akademické nakladatelství CERM, Brno. ISBN: 978-80-7623-016-3.
- e-safetyshop.eu (2024). Sticker - CNG. [online], Ostrava, TRAIVA s.r.o. [cit. 2024-03-08], Dostupné z: <https://www.e-safetyshop.eu/en/p/sticker-cng#33934>.
- e10info.eu (2024). Co je to E10. [online], Praha, ePURE. [cit. 2024-02-29], Dostupné z: <https://www.e10info.eu/cs/co-je-to-e10/>.
- emanuel.cz (2023). Pístový parní stroj. [online], Brno, Masarykova univerzita Brno. [cit. 2023-08-28], Dostupné z: <https://e-manuel.cz/kapitoly/tepelne-stroje/vyklad/tepelne-motory/>.
- fyzika.in (2024). Fyzikální tabulky. [online], Praha, Matika.in z.s. [cit. 2024-03-11], Dostupné z: <https://www.fyzika.in/cs/fyzikalni-tabulky.php#hustotakvapalin>.
- GasNet (2021). GasNet LNG konference 2021. [online], Praha, Český plynárenský svaz. [cit. 2024-03-10]. ISSN 0032-1761. Dostupné z: https://www.lng.cz/-/media/LNG/Ostatni/GasNet_LNG_onference_2021_sbornik_A4_final-na-web.pdf.
- Horejš, K. a Motejl, V. (2008). *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů*. Littera, Brno, vyd. 4 edition. ISBN: 978-80-85763-42-3.
- Hromádka, J. (2012). *Speciální spalovací motory a alternativní pohony*. Grada, Praha, vyd. 1 edition. ISBN 978-80-247-4455-1.
-

- ivecotc.cz (2024). Motory IVECO vynikají výkonem a úsporností. [online], Loděnice, Iveco Truck Centrum s.r.o. [cit. 2024-03-11]. ISSN 0032-1761. Dostupné z: <https://www.ivecotc.cz/eshop-s-way-tab-vykon.html>.
- Jan, Z. a Ždánský, B. (2008). *Automobily 4*. Avid, Brno. ISBN: 978-80-87143-08-7.
- Kateřina Švandová (2010). Paliva. [online], Praha, autaveskolejaknahmyz.cz. [cit. 2023-08-29], Dostupné z: <http://autaveskole.jaknahmyz.cz/paliva>.
- Kateřina Švandová (2011). Pracovní oběh čtyřdobého zážehového motoru. [online], Praha, autaveskolejaknahmyz.cz. [cit. 2023-08-28], Dostupné z: http://autaveskole.jaknahmyz.cz/druhy_motoru.
- Kornia, L. (2019). Parní turbíny. [online], Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. [cit. 2023-08-28], Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/userfiles/Kudela/files/2019_Parní%20turbíny_Skripta_Kornia.pdf.
- lidovky.cz (2023). První v Česku: GasNet zahájil prodej bioLNG. [online], Praha, Lidovky.cz. [cit. 2024-03-10], Dostupné z: https://www.lidovky.cz/pr/sdeleni-komerčni/první-v-cesku-gasnet-zahajil-prodej-biolng.A231201_161259_komerčni-sdeleni_jedli.
- lng.cz (2022). Co je LNG. [online], Praha, GasNet. [cit. 2023-08-30], Dostupné z: <https://www.lng.cz/co-je-lng#feature-list-vyhody-lng>.
- Mapy.cz (2024). Trasa: Mydlovary - Linz. [online], Praha, Mapy.cz. [cit. 2024-01-24], Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6252330&y=49.8022514&z=8>.
- Martin Frei (2018). LPG označení na automobilu. [online], Praha, auto.cz. [cit. 2023-08-30], Dostupné z: <https://www.auto.cz/galerie/novinky/63151/auta-na-plyn-v-hromadnych-garazich-proc-maji-vjezd-stale-zakazan-a-zmeni-se-to?foto=17>.
- Matějovský, V. (2005). *Automobilová paliva*. Grada, Praha. ISBN 80-247-0350-5.
- muzeumropy.cz (2023). Těžba zemního plynu. [online], Hodonín, Múzeum naftového dobývání a geologie. [cit. 2023-08-28], Dostupné z: <http://muzeumropy.cz/tezba-zemniho-plynu/>.
- ngva.eu (2023). Stations map. [online], Brussels, ngva.eu. [cit. 2023-08-30], Dostupné z: <https://www.ngva.eu/stations-map/>.
- pardubicerohlas.cz (2016). Parní automobil Škoda Sentiel. [online], Pardubice, Český rozhlas. [cit. 2023-08-28], Dostupné z: <https://pardubice.rozhlas.cz/jediny-sentinel-v-cechach-odfukuje-v-zamberku-6038030>.
- Pavlíček, M. (2010). Pístový parní stroj. [online], Brno, Vysoké učení technické v Brně. [cit. 2023-08-27], Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26656.
- pinterest.fr (2023). Parní turbína v jaderné elektrárně. [online], Praha, Pinterest. [cit. 2023-08-30], Dostupné z: <https://www.pinterest.fr/pin/455074737345758429/>.
-

- prumyslovaekologie.cz (2021). LPG může výrazně snížit emise v dopravě do doby, než dostatečně vzroste podíl bezemisních alternativ. [online], Praha, Průmyslová ekologie s.r.o. [cit. 2024-03-09], Dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz/info/lpg-muze-vyrazne-snizit-emise-v-doprave-do-doby-nez-dostatecne-vzroste-podil-bezemisnich-alternativ->.
- publi.cz (2023). Činnost dvoudobého zážehového motoru. [online], Praha, publi.cz. [cit. 2023-08-30], Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/images/pics/157.jpg>.
- Rauscher, J. (2005). Spalovací motory. [online], Brno, Vysoké učení technické v Brně. [cit. 2023-08-27], Dostupné z: <http://www.iae.fme.vutbr.cz/userfiles/ramik/files/Spalovaci>
- savree.com (2023). Parní turbína. [online], Praha, savreecom. [cit. 2023-08-28], Dostupné z: <https://savree.com/en/encyclopedia/steam-turbine>.
- seehint.com (2011). Proces rafinace ropy. [online], Praha, seehint.com. [cit. 2023-08-30], Dostupné z: <http://seehint.com/Hint.asp?md=201&no=12642>.
- timeraenergy.com (2019). Infrastruktura LNG v EU. [online], Praha, timeraenergy.com. [cit. 2023-08-30], Dostupné z: <https://timera-energy.com/wp-content/uploads/2019/12/EU-midstream-gas-infrastructure-1.jpg>.
- Tomáš Hrbek (2024). Tak škodí palivo E10 starším autům, nebo ne? Nakonec je to trochu jinak. Záleží, jaký benzin E10 natankujete. [online], Praha, garaz.cz. [cit. 2024-02-29], Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/novinky-s-palivem-e10-je-to-slozitejsi-ve-skutecnosti-nemusi-biolih-vubec-obsahovat-starsim-autum-pak-skodit-nebude-ale-neplati-to-vzdy-21011598>.
- Vlk, F. (2004). *Alternativní pohony motorových vozidel*. Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno. ISBN: 80-239-1602-5.
- zakonyprolidi.cz (2018). Nařízení vlády č. 189/2018 Sb. [online], Zlín, AION CS, s.r.o. [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-189#: :text=Na>
- ČSN 73 0824. Požární bezpečnost staveb. Výchřevnost hořlavých látek. (1992). Praha: Požárně atestační a výzkumný ústav stavební, 8 s. 730824.
-

Seznam použitých zkratek

CNG – Stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)

ČR – Česká republika

ETBE – Ethyl-Tert-Butyl Ester

EU – Evropská unie

FAME – Methylester mastných kyselin (Fatty Acid Methyl Ester)

HVO – Hydrogenovaný rostlinný olej (Hydrotreated Vegetable Oil)

Kč – Koruna česká

kg – kilogram

km – kilometr

l – litr

m³ – metr krychlový

MEŘO – MEtylester Řepkového Oleje

MJ – megajoule

NO_x – oxidy dusíku

LNG – Zkapalněný zemní plyn (Liquified Natural Gas)

LPG – Zkapalněný ropný plyn (Liquified Petroleum Gas)

NP – Natural Power

NV – Nařízení vlády

SCR – Selektivní katalytická redukce (Selective Catalyc Reduction)

s.r.o. – společnost s ručením omezeným

Seznam obrázků

1.1	Parní stroj	8
1.2	Parní automobil Škoda Sentinel	8
1.3	Parní turbína	9
1.4	Parní turbína v jaderné elektrárně	9
1.5	Pracovní oběh čtyřdobého zážehového motoru	11
1.6	Pracovní oběh čtyřdobého vznětového motoru	11
1.7	Činnost dvoudobého zážehového motoru	12
1.8	Činnost dvoudobého vznětového motoru	13
1.9	Proces rafinace ropy	14
1.10	LPG označení automobilu	18
1.11	Těžba zemního plynu	19
1.12	CNG označení automobilu	20
1.13	Nákladní loď převážející LNG	22
1.14	Infrastruktura LNG v EU	23
1.15	Plnicí LNG stanice v Evropě	23
1.16	Plnicí LNG stanice v České republice	24
3.1	Nákladní automobil společnosti Giomir s.r.o.	29
3.2	Mapa trasy Linec-Mydlovary	30
3.3	Iveco Cursor 11	31
3.4	Iveco Cursor NP 13	34
3.5	Mobilní LNG stanice	36
3.6	Obslužný stojan plnicí stanice LNG	37
3.7	Palivová LNG nádrž	38
3.8	Upravení tlaku v nádržích před plněním	38
3.9	Ukazatel tlaku v nádržích	39
3.10	Plnění LNG do nádrží nákladního automobilu	39