

# Bezpečnost a využití LNG v dopravě

Jana Janíčková

---

Bakalářská práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky  
Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jana Janíčková**  
Osobní číslo: **A21651**  
Studijní program: **B1032A020001 Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Bezpečnost a využití LNG v dopravě**  
Téma práce anglicky: **Security and Use of LNG in Transportation**

## Zásady pro vypracování

1. Popište základní infrastrukturu LNG technologie.
2. Uvedte výhody a nevýhody LNG jako alternativního paliva v dopravě.
3. Uvedte další alternativní paliva v dopravě a jejich vlastnosti.
4. Popište přepravní řetězec LNG.
5. Uvedte bezpečnostní aspekty alternativních paliv v dopravě.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. UFEK, Zdeněk, Petr BENEŠ, Jiří POSPÍŠIL, Jiří ŠKORPÍK, Václav ŽIVEC a Milan MARTINKA. Využití LNG v dopravě a energetice a jeho bezpečnost. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. ISBN 9788076230163.
2. TUSIANI, Michael D. a Gordon SHEARER. LNG: fuel for a changing world : a nontechnical guide. 2ND Edition. Tulsa, Oklahoma: PennWell Corporation, 2016. ISBN 9781593703691.
3. HROMADA, Martin a David ŘEHÁK. Zásady pro projektování a bezpečné provozování LNG čerpacích stanic: Metodika hodnocení rizikovosti LNG stanic. Praha: Technologická platforma Energetická bezpečnost ČR, 2020.
4. ŠTĚRBA, Pavel. Automobily s pohonem na LPG: typové a individuální přestavby, ekonomická návratnost, opravy a doporučení pro majitele vozidel. CPres, 2013. ISBN 9788026401483.
5. TUSIANI, Michael D. a Gordon SHEARER. LNG: After the Pandemic. Tulsa, Oklahoma: PennWell Corporation, 2023. ISBN 9781955578127.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Martínek, Ph.D.**  
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce: **8. prosince 2023**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2024**

**doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.**  
děkan



**Ing. Jan Valouch, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

### **Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 26. 5. 2024

Jana Janíčková, v. r.  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá bezpečností a využitím zkapalněného zemního plynu (LNG) v dopravě. Zemní plyn jako palivo získává v dopravě stále větší význam jako ekologičtější alternativa tradičních fosilních paliv. LNG, zkapalněný zemní plyn, nabízí výhody snížení emisí oxidu uhličitého a pevných částic, díky čemuž je atraktivní pro mnoho odvětví dopravy, včetně lodní, silniční a železniční dopravy. Tato práce se zaměřuje na hodnocení bezpečnostních aspektů souvisejících s používáním zkapalněného zemního plynu v dopravě. Analyzuje možná rizika a bezpečnostní opatření související se skladováním, manipulací a přepravou LNG různými dopravními prostředky. Kromě toho se článek zabývá srovnáním předpisů a norem souvisejících s bezpečností LNG v různých zemích a regionech. Výzkum v této práci zahrnuje také analýzu technologických inovací a pokročilých systémů zabezpečení, které přispívají ke zvyšování bezpečnosti v oblasti využívání LNG v dopravě. Poskytuje přehled aktuálních trendů, výzev a přínosů v oblasti bezpečnosti a využívání LNG jako paliva v dopravě. Cílem této práce je poskytnout ucelený přehled bezpečnostních otázek souvisejících s používáním LNG v různých odvětvích dopravy a navrhnout doporučení ke zlepšení bezpečnostních opatření a předpisů v této oblasti.

Klíčová slova: LNG, alternativní paliva, analýza rizik, metoda PNH

## **ABSTRACT**

This bachelor work deals with the safety and utilization of liquefied natural gas (LNG) in transportation. Natural gas as a fuel is gaining increasing importance in transportation as a more environmentally friendly alternative to traditional fossil fuels. LNG, liquefied natural gas, offers advantages in reducing carbon dioxide emissions and solid particles, making it attractive for various modes of transportation, including maritime, road, and rail transport.

The focus of this work is on evaluating the safety aspects associated with the use of liquefied natural gas in transportation. It analyzes potential risks and safety measures related to the storage, handling, and transport of LNG via different modes of transport. Additionally, the paper addresses the comparison of regulations and standards concerning LNG safety in various countries and regions.

The research in this work also includes an analysis of technological innovations and advanced security systems contributing to enhancing safety in the utilization of LNG in transportation. It provides an overview of current trends, challenges, and benefits in the field of safety and the use of LNG as a fuel in transportation.

The aim of this work is to provide a comprehensive overview of safety issues related to the use of LNG in various transportation sectors and to propose recommendations for improving safety measures and regulations in this field.

Keywords: LNG, alternative fuels, risk analysis, PNH method

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Tomášovi Martínkovi, Ph.D. za odborné vedení, čas a rady při zpracovávání bakalářské práce. Dále chci poděkovat svým rodičům a mému manželovi za podporu, které se mi dostalo během celé doby studia

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ INFRASTRUKTURA LNG TECHNOLOGIE</b> .....	<b>12</b>
1.1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI LNG .....	12
1.2 LNG.....	14
1.2.1 Mýty o LNG.....	16
1.2.2 Novinky ohledně LNG.....	16
1.2.3 Čerpací stanice v ČR.....	17
<b>2 VÝHODY A NEVÝHODY LNG JAKO ALTERNATIVNÍHO PALIVA V DOPRAVĚ</b> .....	<b>20</b>
2.1 EKONOMICKÉ VÝHODY LNG V DOPRAVĚ.....	20
2.1.1 Opatření, která chce Česká republika přijmout ohledně LNG.....	21
2.2 ENVIRONMENTÁLNÍ VÝHODY LNG V DOPRAVĚ .....	22
2.3 TECHNICKÉ ASPEKTY LNG V DOPRAVĚ .....	23
2.4 NEVÝHODY A VÝZVY SPOJENÉ S POUŽÍVÁNÍM LNG V DOPRAVĚ.....	23
<b>3 DALŠÍ ALTERNATIVNÍ PALIVA V DOPRAVĚ A JEJICH VLASTNOSTI</b> .....	<b>25</b>
3.1 ROZDĚLENÍ ALTERNATIVNÍCH PALIV .....	26
3.1.1 Plynná paliva .....	26
3.1.2 Biopaliva .....	26
3.1.3 Elektrická energie.....	27
3.1.4 Vodík jako palivo .....	28
3.1.5 Stlačený plyn CNG .....	29
3.1.6 Syntetická paliva (e-paliva).....	30
<b>4 PŘEPRAVNÍ ŘETĚZEC LNG</b> .....	<b>31</b>
4.1 TRANSPORT A SKLADOVÁNÍ .....	31
4.2 PŘEPRAVA.....	32
4.2.1 Logistika přepravy a skladování .....	34
4.3 LOGISTICKÉ ZABEZPEČENÍ – PŘESHraničNÍ TRASA.....	36
4.3.1 Bezpečnost dopravy .....	36
4.3.2 Vnitrostátní nebo distribuční logistika .....	37
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>39</b>
<b>5 ANALÝZA RIZIK</b> .....	<b>40</b>
5.1 AKTIVUM .....	41
5.1.1 Aktiva LNG.....	41
5.2 HROZBA .....	42
5.2.1 Hrozby týkající se LNG .....	42



5.3	RIZIKO.....	44
5.4	METODA PNH.....	44
5.4.1	Analýza rizik pomocí metody PNH .....	49
5.5	BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ HROZEB LNG .....	50
5.5.1	Terminály .....	50
5.5.2	Skladovací nádrže .....	51
5.5.3	Distribuční sítě .....	51
5.5.4	Tankery .....	51
5.5.5	Prostředky kamionové dopravy.....	52
5.5.6	Čerpací stanice .....	53
5.6	BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ .....	54
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>63</b>

## ÚVOD

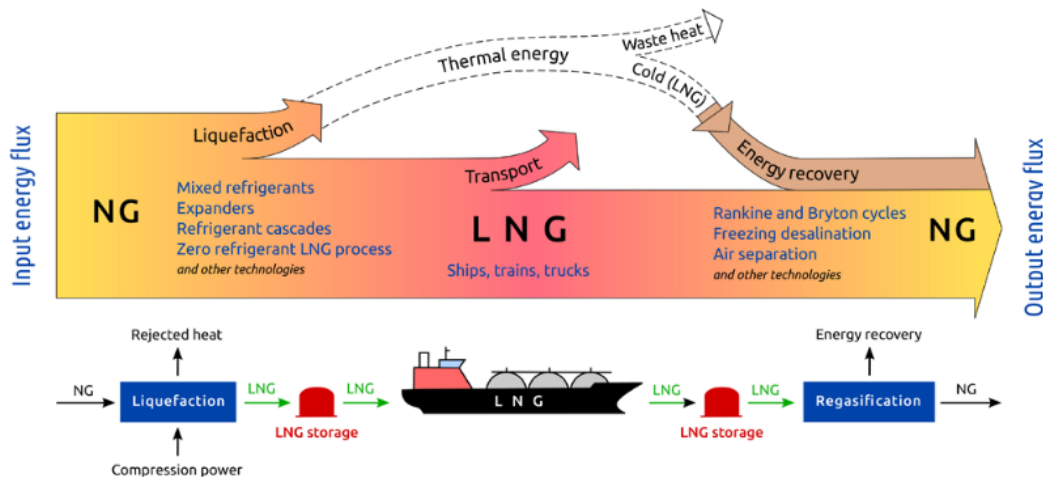
Využití alternativních paliv v dopravě získává klíčové postavení ve snaze omezit dopady na životní prostředí a dosáhnout udržitelnějších provozů. Jedním z klíčových paliv, které si získává stále větší pozornost, je zkapalněný zemní plyn (LNG). Tato moderní forma zemního plynu přináší do světa dopravy nejen ekologické výhody, ale také nové bezpečnostní výzvy. Tato bakalářská práce se zaměřuje na studium vztahu mezi bezpečností a používáním LNG v dopravě. Zemní plyn, který je dlouhodobě využíván jako hlavní zdroj energie, nyní jako zkapalněný plyn nabízí řešení pro snížení emisí a zároveň přináší nové požadavky na bezpečnostní opatření v celém řetězci jeho využití v dopravě – od skladování a zpracování až po skutečnou přepravu různými dopravními prostředky. Úvod tohoto článku poskytuje přehled rostoucího významu LNG v dopravě a nastiňuje klíčové body, které budou v této studii dále zkoumány a analyzovány. Dále se práce zabývá studiem bezpečnostních aspektů souvisejících s používáním LNG a jejich dopadem na jednotlivá odvětví dopravy s cílem poskytnout ucelený obraz o aktuálních bezpečnostních problémech a výhodách využití LNG jako alternativního paliva v dopravě.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ZÁKLADNÍ INFRASTRUKTURA LNG TECHNOLOGIE

Zkapalněný zemní plyn (LNG) je významný zdroj energie a jeho infrastruktura se stále rozšiřuje, aby vyhověla poptávce po plynu po celém světě. Prvky infrastruktury společně tvoří komplexní systém, který umožňuje bezpečnou a efektivní manipulaci se zkapalněným zemním plynem od místa těžby až po jeho konečné využití. [1]

Zkapalňování zemního plynu, přeprava, skladování a využívání LNG vyžaduje vytvoření účinného řetězce přeměny energie a souvisejících technologií. Celý proces nesouvisí pouze s distribucí samotného paliva, ale také se značným energetickým výdejem v dílčích fázích procesu zkapalňování, transportu a regasifikaci. [1]



Obrázek 1 Znárodnění základní infrastruktury [1]

### 1.1 Fyzikální vlastnosti LNG

Zemní plyn lze v dopravě využít jako stlačený plyn jako je CNG, tak i jako zkapalněný plyn např. LNG. CNG je stlačený plyn v nádržích o tlaku 200 barů, LNG je zkapalněný plyn při  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ , který tvoří namodralou průhlednou kapalinu s minimální viskozitou. LNG se přepravuje v dokonale izolovaných nádržích (kryogenních nádržích) na dlouhé vzdálenosti po moři nebo železnici a na kratší vzdálenosti kamionem. Doprava je buď přímo ke koncovým uživatelům nebo do distribučních center či terminálů, kde se LNG znovu zplynuje a distribuuje potrubím. I když jsou náklady na výstavbu zařízení na zkapalňování a odpařování nebo na pořízení trajektů obrovské, od 60. let 20. století nabývá přeprava LNG na významu. Velký rozvoj zaznamenala zejména v posledních letech díky snaze vyspělých zemí o diverzifikaci zdrojů dodávek. Obecně platí, že plynovodní doprava je levnější na

krátké vzdálenosti, LNG trajektová doprava naopak na delší vzdálenosti nebo v místech, kde se výstavba plynovodů z nějakého důvodu nevyplácí. [2]

<b>Energetický obsah</b>	
Výhřevnost LNG	20 MJ/l
Výhřevnost LNG	50 MJ/kg
Spalné teplo LNG	21,6 MJ/l
Spalné teplo LNG	54 MJ/kg
<b>Složení LNG</b>	
Metan	84,55–96,38 mol%
Etan	2,00–11,41 mol%
Propan	0,35–3,21 mol%
n-Butan	0,00–1,30 mol%
<b>Charakteristické teploty</b>	
Teplota varu (při absolutním tlaku 1 bar)	-162 °C
Kritický bod (maximální teplota existence kapalně fáze)	-82 °C
Zápalná teplota	650 °C
Stechiometrická teplota plamene	1957 °C
<b>Hustoty</b>	
Hustota LNG (při absolutním tlaku 1 bar)	400 kg/m <sup>3</sup>
Hustota plynného skupenství (při absolutním tlaku 1 bar)	0,7 kg/m <sup>3</sup>
<b>Výbušnost</b>	
Výbušný ve směsi se vzduchem v rozmezí	4,3–15 % obj.
Oktanové číslo pro spalovací motory	120–130

Obrázek 2 Přehled vlastností LNG [1]

LNG jako kapalný plyn se v přírodě téměř nevyskytuje. Po vytěžení se zkapalní a tankery dopraví na trh. V cílovém terminálu je přečerpáván do nádrží, kde se postupně odpařuje a je poslán do plynovodu. LNG je tedy zemní plyn jako každý jiný, např. potrubní, stlačený nebo břidlicový plyn, který se pro přepravu teprve nakonec zkapalňuje. Byl dovážen převážně tankery z Trinidadu a Tobaga, Kataru a Alžírsku, další zásilky pocházely z Nigérie, Ománu, Austrálie, Indonésie a Spojených arabských emirátů. Podle poradenské firmy Wood Mackenzie se na export do Spojených států připravuje celkem osm LNG terminálů s celkovou kapacitou 120 milionů tun ročně. Pokud by byly všechny schváleny, Spojené státy by se staly největším vývozcem LNG na světě před Katar, který má

v současnosti exportní kapacitu 77 milionů tun. Další dva terminály se staví také na západním pobřeží Kanady. [2]

V roce 2023 vyvezly Spojené státy více zkapalněného zemního plynu než jakákoli jiná země. Vývoz tohoto plynu z USA činil v průměru přibližně 336,97 milionů m<sup>3</sup>. za den. Mezi další dva největší světové vývozce zkapalněného zemního plynu se řadila Austrálie a Katar. [3]

## 1.2 LNG

LNG je zkapalněný zemní plyn o teplotě asi -162 °C při atmosférickém tlaku (101 325 Pa). Je to namodralá, netoxická, nekorozivní, čirá kapalina s minimální viskozitou. Zabírá přibližně 600krát menší objem než plynný zemní plyn, což je jeho hlavní výhoda pro skladování a přepravu. [4]

LNG se skládá z 90–100 % metanu a v závislosti na místě těžby obsahuje také stopy etanu, propanu, vyšších uhlovodíků, dusíku a dalších plynů. Jeho kalorická hodnota je asi 55 MJ/kg, vyjádřeno v litrech asi 22 MJ/l. Teplota vznícení LNG je 540 °C. [4]

Existují dva typy motorů LNG: benzinové motory se zapalovacími svíčkami, které pracují na principu benzinového motoru (zde je palivem 100 % LNG) a vznětové motory s duálním palivovým systémem (zde je palivo 95 % LNG a 5 % nafta), kde nafta působí jako směs vznícení). Nádrže LNG jsou super izolované nádoby s dvojitým pláštěm, kde se LNG přepravuje při relativně nízkém tlaku (až 16 bar). Nádrže na LNG jsou navrženy výrobcem tak, aby byla zajištěna maximální životnost. Mohou být přizpůsobeny individuálním požadavkům různých dopravních společností nebo průmyslových odvětví. Před ochlazením a zkapalněním zemního plynu musí být odstraněny nežádoucí nečistoty jako oxid uhličitý, sirovodík, dusík, voda a těžké uhlovodíky. Takto upravený čistý plyn obsahuje kolem 95 % i více metanu, ostatní složky jsou zastoupeny do 5 %. [5]

V některých západoevropských a jihoevropských zemích se LNG již poměrně často využívá v nákladní dopravě, ale využívá se i v železniční či lodní dopravě. LNG lze navíc energeticky využít, a to nejen v místech, která jsou mimo plynovod a nemají tedy pravidelnou dodávku zemního plynu. LNG mohou spalovat plynové kotle, pece, tepelná čerpadla a mnoho dalších zařízení. [6]

LNG se označuje jako ideální palivo pro nákladní dopravu. Dokáže snížit provozní náklady až o 20 %, snižuje NO<sub>x</sub> až o 70 % i CO<sub>2</sub> o 20 %, hlučnost o 9 dB oproti automobilům s diesellovým pohonem. Na pouhé jedno natankování dokáže ujet až 1500 km. [7]

Na konci roku 2021 fungovaly v Česku pouze tři čerpací stanice nabízející LNG. Válka na Ukrajině však situaci rychle změnila a na LNG se začne myslet úplně jinak než jen ve vztahu k dopravě. Přes slovenskou energetickou skupinu SPP prošla začátkem května první dodávka zkapalněného zemního plynu. Ze Spojených států, zejména z Texasu, jej tankery přepravují na chorvatský ostrov Krk. V LNG terminálu se později kapalina přemění zpět na plyn a plynovody vedou nejen do České republiky, ale i do dalších evropských zemí. Ale i toto řešení naráží na své limity především kvůli velkému řešení. [6]

Rusko je sice největším producentem zemního plynu, ale z hlediska LNG je až na třetím místě. Hlavními aktéry v tomto případě jsou Katar a Spojené státy americké.[6]

V Evropě je téměř třicet LNG terminálů. Najdeme je například ve Španělsku, Francii, Itálii, Nizozemsku, Belgii, Velké Británii, Polsku nebo Řecku. Již zmíněný terminál na chorvatském ostrově Krk je nejzajímavější a nejdostupnější v České republice. V blízkosti máme také polský terminál, ale žádná trasa pro přepravu plynu do ČR. Většina terminálů navíc fungovala na hranici své kapacity již v roce 2021. Největší (a dosud nevyužitou) kapacitu mají španělské terminály, ale opět nejsou propojeny se zbytkem Evropy plynovody. [6]

Německo připravovalo nové LNG terminály, které měly být v nejbližších letech klíčové pro náhradu ruského zemního plynu. První tři nové terminály měly být dokončeny ještě v letech předešlých, zatímco další tři měly být uvedeny do provozu do konce roku 2023. Zahraniční server uvedl, že projekty zaměřené na výstavbu nových LNG terminálů v Německu běžely podle plánu a první tři projekty byly dokončeny již v minulých letech. Jednalo se o plovoucí terminály u obcí Wilhelmshaven, Brunsbüttel a Lubmin. Po dokončení uvedených LNG terminálů získalo Německo novou dovozní kapacitu ve výši 20 mld. m<sup>3</sup> za rok, což odpovídalo zhruba 43 % dovozu ruského zemního plynu do Německa v roce 2021. Terminály byly nicméně zpočátku využívány na nižší kapacitu a očekávalo se, že Německo pomocí nich doveze 9 až 11 mld. m<sup>3</sup> zemního plynu. Německo dříve několikrát zopakovalo, že včasné dokončení nových LNG terminálů bude jedním ze tří hlavních opatření, které zemi zajistí bezpečnost dodávek zemního plynu v nadcházejících zimách. Terminál, který byl postaven jako první, u Wilhelmshavenu měl první dodávky zkapalněného zemního plynu zpracovat terminál na počátku roku 2023. Zajímavostí bylo, že terminál u Wilhelmshavenu byl dokončen během pouhých 200 dní. [8]

### 1.2.1 Mýty o LNG

LNG je distribuován do našich stanic z terminálů v Evropě, převážně prostřednictvím mořských tankerů, hlavně z Kataru a Spojených států. Tyto země patří mezi hlavní vývozce LNG, což přispívá k diverzifikaci zdrojů energie. Do roku 2020 se LNG dokonce stalo dominantní formou distribuce plynu po celém světě. Evropské země současně zkoumají možnosti zvýšení kapacity existujících terminálů a zahájení stavby nových, což podporuje i Zelená dohoda pro Evropu, která klade důraz na udržitelnější energetiku a bezpečnostní aspekty. Plán REPowerEU od Evropské komise, kterým se chce podpořit energetická udržitelnost s dalšími finančními prostředky, zaměřuje část těchto investic na posílení distribuce LNG a výrobu biometanu. Oba tyto produkty jsou také více propojeny s dopravou, než by se mohlo na první pohled zdát. [9]

LNG je sice fosilní palivo, avšak Evropa se snaží postupně odstranit svou závislost na něm kvůli globálnímu oteplování. Stále však existuje důvod budovat infrastrukturu pro LNG, zejména pro přepravu zboží, protože nákladní vozidla poháněná LNG mají nižší emise než ta s naftovými motory. V tomto kontextu zaujímá důležitou roli obnovitelný bioLNG, který je stále více preferován v nákladní dopravě, především v zemích jako Dánsko, Švédsko a Nizozemsko. BioLNG, zkapalněný biometan, dramaticky snižuje emise z nákladní dopravy ve srovnání s naftou, a lze ho distribuovat pomocí stejné infrastruktury jako LNG. Tato kombinace LNG a bioLNG představuje současně nejúčinnější a dlouhodobě ověřené řešení pro přepravu těžkých nákladů v krátkodobém a střednědobém horizontu. [9]

### 1.2.2 Novinky ohledně LNG

Česká republika čelí výzvám v plnění emisních cílů, zejména v oblasti kamionové dopravy, kde stávající emisní normy nejsou dostatečně ambiciózní. Řešením této situace může být přechod na alternativní paliva, jako je zkapalněný zemní plyn (LNG) a biometan (bioLNG). Tyto paliva nabízejí nižší emise CO<sub>2</sub> a dalších škodlivých látek ve srovnání s tradičními fosilními palivy, což přispívá k ochraně životního prostředí a snižování dopadu kamionové dopravy na kvalitu ovzduší. Evropská unie si klade za cíl do roku 2050 dosáhnout klimatické neutrality, což vyžaduje radikální snížení emisí skleníkových plynů. Jelikož doprava je jedním z hlavních zdrojů emisí v EU, je nezbytné přijmout opatření ke snížení emisí v tomto odvětví. Jedním z kroků směrem k tomuto cíli je reforma emisních kvót, která od roku 2027 zahrne i silniční dopravu. To povede k růstu cen fosilních paliv a zvýší konkurenceschopnost alternativních paliv, jako je LNG a bioLNG. Využití těchto dvou paliv v kamionové dopravě



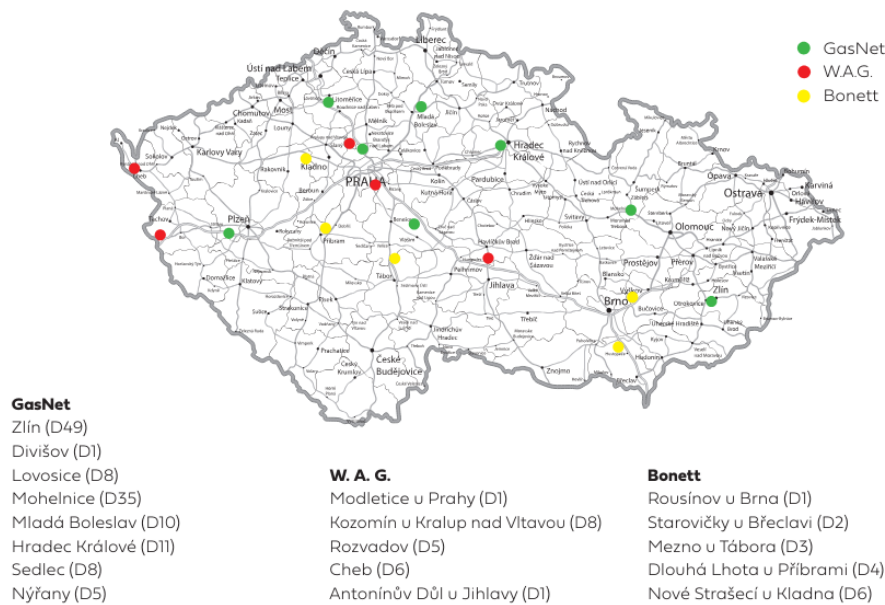
nabízí řadu výhod. Kromě nižších emisí CO<sub>2</sub> a dalších škodlivých látek mají tyto paliva také nižší hlučnost, což přispívá k ochraně životního prostředí a zlepšuje životní podmínky obyvatel v okolí dopravních tras. Díky možnosti využití bioodpadu pro výrobu bioLNG navíc tyto paliva přispívají k udržitelnému využití zdrojů a snižují závislost na dovozu fosilních paliv. Praktické využití LNG a bioLNG v kamionové dopravě již probíhá v České republice. [10]

Společnost GasNet provozuje síť čerpacích stanic LNG a bioLNG po celém území, což umožňuje řidičům kamionů tankovat tato paliva v průběhu svých tras. Řetězec Lidl je příkladem společnosti, která aktivně využívá bioLNG pro přepravu zboží a přispívá tak k snižování emisí ve svém logistickém řetězci. Do budoucna lze očekávat další rozvoj v oblasti využití LNG a bioLNG v kamionové dopravě, který bude podpořen jak legislativními opatřeními na úrovni EU, tak rostoucím povědomím o potřebě ochrany životního prostředí a snižování emisí veřejností i podnikateli. Tím se otevírá nová perspektiva pro udržitelnou a ekologicky šetrnou dopravu, která bude hrát klíčovou roli v budoucím ekonomickém rozvoji. [11]

### 1.2.3 Čerpací stanice v ČR

Jak jsem již uvedla v předchozí kapitole, tak lze LNG natankovat na zmíněných stanicích. Dále také V roce 2022 EUROWAG díky financování dokončil výstavbu 2 nových plnicích stanic LNG. Snadno dostupné pevné stanice na D8 Kozomín D8-exit 9 (Kralupy n Vltavou) a D1 v Modleticích otevřena před Štědrým dnem 23. prosince 2022. Podle Národního akčního plánu čisté mobility má počet čerpacích stanic v ČR do roku 2030 dosáhnout počtu 30. [12]

Na následujícím obrázku č. 3 můžeme vidět rozmístění LNG stanic, z roku 2021.



Obrázek 3 Rozmístění stanic LNG [7]

V roce 2022 jezdilo na evropských silnicích více než 15 000 vozidel s pohonem na LNG, která mohlo tankovat na více než 570 čerpacích stanicích LNG. Nejvíce jich bylo v Německu, Itálii, Španělsku, Francii a Nizozemsku. Evropská síť se rychle rozšiřuje a každý rok přibývají desítky nových stanic. [5]

Zásoby plynu ČR dosáhly k 19. červenci 2023 rekordní hodnoty 3 050,9 mil. m<sup>3</sup>, a proto byly nádrže naplněny z více než 88 %. Pro srovnání, v roce 2022 dosáhly 2 604,2 mil. m<sup>3</sup>. A průměrné zásoby plynu od roku 2019 do roku 2022 jsou 2 471,4 milionů m<sup>3</sup>. [13]

Dříve se většina plynu do Německa dovážela z Ruska. Dnes dodávky tvoří především zkapalněný zemní plyn z Belgie, dosahující 27,1 %, a 21,9 % z Nizozemska. Největší podíl na dodávkách do Německa má plyn z Norska, který tvoří více než 49 % celkových dodávek. Od ledna do června 2023 bylo do Německa, z kterého k nám přišly všechny dodávky plynu, dodáno více plynu z Norska, Belgie a Nizozemska a žádný z Ruska. Zatímco v roce 2022 odešla téměř polovina plynu do Německa (42,7 %) z Ruska, v roce 2023 je tato hodnota na nule. Dovoz plynu se z Norska vzrostl o 1,5 %. Dovoz LNG z Belgie se snížil o 8,6 % a dovoz LNG z Nizozemska se snížil o 372 %. Dovoz plynu do Německa se celkově snížil o 26 %. [13]

Pro zajištění bezpečného a spolehlivého provozu jsou nezbytné základní bezpečnostní požadavky na výstavbu a údržbu plnicích stanic LNG. Tyto požadavky platí pro všechny

aspekty konstrukce, od návrhu a výběru materiálu až po instalaci a testování. Hlavní bezpečnostní požadavky jsou:

- odtlakování komponent před údržbou;
- návrh a konstrukce čerpacích stanic tak, aby činnosti údržby a servisu neovlivnily dodávku LNG;
- zabránění vlhkosti v systému před čerpáním LNG;
- Dodržování všech platných bezpečnostních předpisů. [1]

Dodržování těchto požadavků může zajistit, že čerpací stanice LNG splňují nejvyšší bezpečnostní standardy, a tím minimalizovat riziko nehod. S výjimkou výše uvedených požadavků je důležité zvážit i specifické požadavky konkrétní lokality. Například v oblastech s vysokým rizikem seismické aktivity je třeba přijmout dodatečná opatření k zajištění stability čerpací stanice. Provozovatelé zařízení LNG musí mít komplexní program údržby a kontrol, aby zajistili, že všechny součásti jsou v dobrém stavu a že zařízení funguje bezpečně. Při výstavbě, projektování a provozu čerpacích stanic LNG musí být bezpečnost vždy prioritou. Dodržování výše uvedených požadavků a osvědčených postupů může zajistit bezpečný a spolehlivý provoz těchto stanic po mnoho let. [1]

## 2 VÝHODY A NEVÝHODY LNG JAKO ALTERNATIVNÍHO PALIVA V DOPRAVĚ

Jak již bylo zmíněno výše, hlavní výhodou zkapalněného zemního plynu je jeho cca 600x menší objem ve srovnání s plynným zemním plynem. Výsledkem je délka vozidla na LNG ve srovnání s CNG (Compressed Natural Gas), která je srovnatelná s konvenčními palivy – 1 litr LNG je energeticky ekvivalentní přibližně 0,67 litru benzínu a 0,59 litru nafty. Nádrže na LNG navíc váží výrazně méně než na CNG a vozidla na LNG mají díky menšímu objemu palivové nádrže více úložného prostoru. Nevýhodou LNG je především nutnost udržovat kapalný plyn při velmi nízkých teplotách, což je ekonomicky a technicky velmi náročné. Při delším odstavení vozu může dojít k vypařování paliva z nádrže. LNG je obecně složitější a dražší technologie ve srovnání s CNG. Samotný proces zkapalňování zemního plynu je energeticky velmi náročný a je jednou z největších nevýhod tohoto paliva. [4]

### 2.1 Ekonomické výhody LNG v dopravě

LNG spotřebuje asi 600krát menší objem než zemní plyn, CNG asi 200krát méně než zemní plyn. Při zkapalňování zemního plynu se objem může zmenšit až třikrát více než při jeho stlačování a vozidlo s motorem na LNG může ujet téměř třikrát déle než vozidlo se stejně velkou nádrží na CNG. [3]

Americký LNG je v Evropě stále poměrně skromný, tvoří pouze asi 1 % celkové spotřeby. Pro navýšení tohoto objemu je nutné investovat do potřebné infrastruktury, a to především do vybudování přijímacích stanic. Základním problémem je cena – americký plyn je zhruba o 30 % dražší než ruský zemní plyn. Toto by se ale mohlo v budoucnu změnit. Metoda těžby ropy a zemního plynu zvaná frakování, která se používá v USA, je stále relativně nová, ale náklady na těžbu klesly zhruba na polovinu původní ceny, čímž se tato metoda stala mnohem ekonomičtější. Frakování je těžební proces, při kterém se do slabé sedimentární horniny vhná směs vody, písku a určitých chemikálií. Nadměrný tlak rozkládá horninu a uvolňuje uhlovodíky, jako je zemní plyn a ropa. Tyto látky pak samy vyplouvají na povrch země a jsou zachycovány průmyslovými zařízeními. Díky frakování se Spojené státy staly jedním z největších producentů ropy a zemního plynu na světě. To jim umožňuje vyvázet LNG do Evropy a dalších částí světa. Dovoz LNG ze Spojených států je pro Evropu strategickým rozhodnutím, které pomáhá snížit závislost na ruském plynu. I když je americký plyn stále dražší, klesající náklady na těžbu frakováním by mohly tuto cenovou nevýhodu v budoucnu vyrovnat. [14] [15]

Americkému plynu se dostává podpory od jiných evropských zemí, zejména v zemích, které se cítí ohroženy Ruskem. Příkladem může být Polsko a Ukrajina. Tyto země se zcela snaží zastavit dovoz ruského plynu a potřebný terminál se nachází na pobřeží našich severních sousedů. V budoucnu se očekává, že množství amerického LNG v Evropě poroste. EU plánuje v příštích čtyřech letech zdvojnásobit dovoz zkapalněného zemního plynu z USA. Německo nedávno oznámilo svůj záměr zřídit přijímací stanice. Evropská unie se proto snaží své zdroje zemního plynu diverzifikovat, hlavní výhodou této spolupráce je především geopolitická různorodost dodávek. Zatímco americký LNG zatím není levnější variantou než ruský plyn, jeho přítomnost na evropském trhu by mohla tlačit ceny dolů. Jak upozorňují někteří odborníci, na evropském trhu s plynem probíhá cenová válka mezi Ruskem a USA. Evropa jako zákazník může z tohoto druhu konfliktu jediné těžit. [15]

### 2.1.1 Opatření, která chce Česká republika přijmout ohledně LNG

1) Vytvořit základní podmínky pro budoucí rozvoj trhu motorových vozidel s pohonem na LNG:

- podpora nájmu Přechody České republiky na domácí trh a zahraniční kamiony s LNG – tahače s pohonem;
- podporuje investice do rozvoje čerpacích stanic LNG;
- zvyšuje odpisy v prvním roce Odpisy infrastruktury čerpacích stanic LNG.
- podpořit nájmy tahačů na LNG pro domácí i zahraniční trhy nákladních vozidel, což povede ke zvýšení dostupnosti vozidel na LNG a podpoří jejich expanzi na trhu;
- finanční podpora a motivovat pro investice do rozvoje čerpacích stanic LNG, aby byla zajištěna dostatečná infrastruktura pro tankování tohoto paliva;
- zvýšení odpisů infrastruktury čerpacích stanic LNG v prvním roce, což investorům umožní rychlejší návratnost investic do infrastruktury a zároveň snížení finanční zátěže, která je spojená s budováním těchto zařízení;
- rozvoj legislativního a regulačního prostředí pro trh s vozidly LNG, včetně stanovení bezpečnostních norem, emisních limitů a daňových pobídek pro uživatele vozidel na LNG. [1]

2) Doplnění stávajícího právního rámce týkajícího se vozidel na LNG:

- úprava právních předpisů v odvětví pohonných hmot pro vozidla na LNG;

- odstranění překážek v oblasti údržby vozidel na LNG;
- zavést politiku snižování daní v oblasti silniční daně pro vozidla na LNG. [1]

### 3) Výzkum a vývoj v oblasti alternativních paliv:

- aktivní přístup k vývoji v oblasti elektro pro vozidla a další alternativní paliva (CNG/LNG a pokročilá biopaliva);
- zařadit problematiku alternativních paliv v dopravě do výzkumné agendy univerzit a vysokých škol;
- posiluje spolupráci mezi univerzitami, výzkumné instituce a průmysl v oblasti rozvoje elektrické mobility v České republice a podporují další moderní vývojové trendy v oblasti alternativních paliv. [1]

## 2.2 Environmentální výhody LNG v dopravě

Používání LNG v dopravě představuje inovativní a perspektivní způsob, jak zlepšit udržitelnost a efektivitu průmyslu. LNG má mnoho výhod, včetně nižších emisí CO<sub>2</sub> a menšího znečištění ovzduší ve srovnání s tradičními palivy. Je však důležité dbát na bezpečnost při jeho skladování, manipulaci a přepravě. LNG má velký potenciál jako alternativní palivo pro silniční, lodní a železniční dopravu. Kromě ekologických benefitů, LNG nabízí také ekonomické výhody. Například nižší náklady na provoz mohou dlouhodobě přinést významné úspory, což je důležité pro dopravní a logistické společnosti. Také je třeba zdůraznit, že využívání LNG může pomoci zemím snižovat jejich závislost na ropě, čímž se zvyšuje energetická bezpečnost. Je důležité pokračovat ve výzkumu a inovacích, aby se jeho využití maximalizovalo. LNG je skvělým přechodným palivem pro země jako Brazílie, které mají vysokou spotřebu fosilních paliv. LNG je konkurenceschopné ve srovnání s naftou, etanolem a benzínem, což stimuluje trh a podporuje přechod na čistší zdroje energie. Může nahradit naftu v nákladních automobilech a lodích, což přispívá k ekologické udržitelnosti a snižuje emise CO<sub>2</sub> a náklady na palivo. Z hlediska emisí, LNG produkuje výrazně méně škodlivých látek než tradiční paliva, což má pozitivní dopad na kvalitu ovzduší a veřejné zdraví. Pokud jde o elektřinu, přidání plynu do energetického mixu může vést k poklesu průměrných cen, protože obnovitelné zdroje energie také pomáhají snižovat náklady. LNG může fungovat jako doplňkový zdroj k obnovitelným energiím, což umožňuje stabilnější dodávky energie a lepší využití obnovitelných zdrojů. Pro rozvoj trhu je klíčové rychle a efektivně implementovat potřebnou infrastrukturu. To zahrnuje výstavbu

nových terminálů a zařízení na zkapalňování a zpětné zplynování plynu. Efektivní infrastruktura je základem pro rozšíření využití LNG a jeho integraci do stávajících dopravních a energetických systémů. Nevýhodou LNG je, že je stále fosilním palivem, takže uvolňuje oxid uhličitý do atmosféry. Nicméně, ve srovnání s jinými fosilními palivy je jeho uhlíková stopa nižší. Roční spotřeba plynu jako přechodného zdroje však klesá, což naznačuje posun k novým řešením. Tento trend je podporován rostoucími investicemi do obnovitelných zdrojů energie a technologií pro snížení emisí. Celkově LNG představuje slibnou cestu pro dekarbonizaci dopravy a energetiky, s významnými výhodami pro ekonomiku i životní prostředí. Důležité je však pokračovat v inovacích a zlepšování technologií, aby byl jeho potenciál plně využit a jeho dopad na životní prostředí minimalizován. [16]

### **2.3 Technické aspekty LNG v dopravě**

LNG přispívá k tzv. „energetickému trilematu“, které se týká hledání rovnováhy mezi třemi základními požadavky při výběru energie, protože chceme dostupnou energii a chceme, aby naše dodávky energie byly bezpečné a také snížit naše emise uhlíku na nulu. LNG může pomoci zlepšit dostupnost energie. Nedostatek paliva je ve Spojených státech skutečným problémem, takže poskytování dostupné energie je zásadní. LNG pomáhá snižovat tlaky na životní náklady, protože existuje globální trh, který nabízí výběr. V současné době dovážíme plyn z tak rozmanitých míst, jako je Katar, Alžírsko, Spojené státy americké, Norsko, Austrálie a Trinidad. Tato volba znamená, že těžíme z cenové konkurence, která může snížit náklady. LNG nám může zajistit bezpečnou dodávku energie. Abychom nebyli příliš závislí na jednom zdroji, musíme LNG získávat z co nejvíce míst. Přístup k různým dodavatelům nám nejen umožňuje snížit ceny, ale také nám dává flexibilitu přejít na spolehlivější dopravce nebo se vyhnout geopoliticky citlivým trhům. LNG může zaplnit mezery, když obnovitelné zdroje energie kolísají. Při přechodu na obnovitelnou energii také uvidíme kolísání nabídky; například méně sluneční energie, když nesvítí slunce, a méně větrné energie, když nefouká vítr. Zajištění spolehlivé energie je zásadní a LNG má dobrou pozici k vyplnění občasného nedostatku „zelené“ energie, aby byla zajištěna kontinuita dodávek. [16]

### **2.4 Nevýhody a výzvy spojené s používáním LNG v dopravě**

Lodě převážející zkapalněný zemní plyn nemají vždy jasně definovaný čas nebo místo dodání, takže místo dodání se může během plavby změnit nebo dodání může být posunuto

na pozdější termín, protože prodejní cena je vyšší. Není proto neobvyklé, že pobřežní tankery oddalují prodeje a prostě čekají na vyšší tržní ceny zemního plynu. Podmínkou takového postupu jsou obvykle náklady na skladování LNG na moři nepřevyšující očekávané příjmy z dalšího prodeje plynu. Obchodníci si také mohou vybrat jiné místo dodání zemního plynu, například pokud se cena zemního plynu v jednom z regionů zvýší a cenový rozdíl pokryje náklady na dopravu do tohoto regionu. [17]

Zkapalňování, přeprava a zpětné zplynování LNG v terminálech, stejně jako výstavba potrubí, jsou nákladné procesy. Plyn má tendenci existovat v přírodě v určité vzdálenosti od místa, kde může být ekonomicky využit. Někdy je tato vzdálenost velká. Složitost přepravy plynu plynovody na dlouhé vzdálenosti způsobuje, že při rozhodování o přepravě plynu na dlouhé vzdálenosti je prioritním hlediskem jeho umístění o rozvoji zdrojů plynu. Kromě toho jsou ložiska plynu rozmístěna nerovnoměrně. Zásoby zemního plynu jsou silně koncentrovány v relativně malém počtu zemí. Například plynovod Nord Stream 2, který spojuje Rusko a Německo, stál 9,5 miliardy eur (235 miliard korun) a ještě nebyl otevřen nejbližší době se neplánuje otevírat, protože je již zničený. Podle starších studií je přeprava zkapalněného plynu po moři výhodná na delší vzdálenosti, konkrétně ve srovnání podmořskými potrubími na vzdálenosti přes 1 100 km a s pevninskými potrubími na vzdálenosti 3 500 km a více. Studie poradenské firmy McKinsey z roku 2019 uvádí, že náklady na těžbu, zkapalňování a přepravu LNG se obvykle pohybují od 6 do 10 USD za milion britských tepelných jednotek (MMBTU), což odpovídá 20 až 34 eurům za MWh. Pro srovnání, v lednu 2022 se ceny zemního plynu pohybovaly mezi 60 a 200 eurů za MWh závislosti na omezení dodávek ze strany Putinova režimu. Podle ČEZ lze plyn přepravovat z Nizozemska do České republiky přes německé území, přičemž probíhají aukce na přeshraniční kapacitu. Konečná destinace plynu závisí na provozovateli německého plynovodu Network, který optimalizuje toky plynu na základě aktuálních podmínek sítě. [18] [19]



### 3 DALŠÍ ALTERNATIVNÍ PALIVA V DOPRAVĚ A JEJICH VLASTNOSTI

Alternativní paliva jsou paliva nebo zdroje energie používané k nahrazení fosilních paliv v dopravě a mohou přispět k dekarbonizaci průmyslu. Pohonné hmoty jako jsou právě alternativní paliva pro vozidla s nulovými emisemi. Alternativní paliva pro vozidla s nulovými emisemi patří elektřina, čpavek a vodík.[20]

Elektřina pro automobily pochází z mnoha různých zdrojů například z elektráren využívajících fosilní paliva, obnovitelných zdrojů energie a jaderných elektráren. Elektrická vozidla nevypouštějí žádné znečišťující látky, zatímco hybridní konfigurace vyžadují méně oleje a snižují emise CO<sub>2</sub>. [20]

Čpavek může přispět k výraznému snížení celkových emisí CO<sub>2</sub>, protože jediným vedlejším produktem čpavku je voda a dusík. [20]

Typicky používaný pro těžká silniční vozidla a stále v raných fázích vývoje je vodík, který se získává z vody nebo organických sloučenin. Dopad vodíku na životní prostředí a jeho energetická účinnost závisí na tom, jak se vyrábí, tedy zda se vyrábí z obnovitelných zdrojů, jako je solární energie, větrná energie nebo bioplyn z fosilních paliv. [20]

V příštích letech bude zvažováno využití biopaliv II. generace, které nejsou vyráběny z potravinářských rostlin, ale z nepotravinářské biomasy (celulózy ze dřeva nebo jiných rostlin). [21]

Stlačený zemní plyn, označovaný zkratkou CNG, zkapalněný zemní plyn – LNG a zkapalněný ropný plyn – LPG jsou v ČR vývojovým trendem, protože jsou ekologicky čistší. Tyto plyny používány jako alternativa k naftě. Ale je také možné udělat přestavbu auta naftového či benzinového na auto s pohonem na LPG či CNG. Nádrž auta, které je poháněno právě LPG, se nejdříve natankuje v kapalném stavu, poté se převede do plynného stavu a vstříkne se do motoru, tam se poté mísí se vzduchem a spálí se pro pohon vozidla. Je důležité dodržovat veškeré bezpečnostní předpisy a postupy při montáži a provozu LPG systému, aby byla zajištěna bezpečnost jak pro řidiče a cestující, tak pro ostatní účastníky silničního provozu. Dále je vhodné konzultovat odborníka nebo provádějícího montáže LPG systému, aby byla zajištěna správná instalace a nastavení v souladu s příslušnými normami a požadavky výrobce vozidla. Dle prognózy by se měla zvýšit například počet vozidel na CNG takto: přibližně 130 000 v roce 2025, přibližně 200 000 v roce 2030 a přibližně 300 000 v roce 2040. [22] [23]

### 3.1 Rozdělení alternativních paliv

Alternativní paliva v dopravě umožňují snížení limitovaných (oxid uhelnatý, uhlovodíky, oxidy dusíku, pevné částice) a neomezených (např. polyaromatické uhlovodíky) emisí znečišťujících látek a skleníkových plynů (zejména oxidu uhličitého).[21]

#### 3.1.1 Plynná paliva

Především stlačený plyn (CNG), podmíněně zkapalněný ropný plyn (LPG), (který nelze považovat za alternativní palivo v doslovném smyslu slova, protože přímo souvisí se zpracováním fosilních ropy). [21]

#### 3.1.2 Biopaliva

Biopaliva jsou obecně produkty vyrobené z biomasy určené k použití jako zdroj energie. Surovinou pro jejich výrobu jsou různé formy biomasy účelově pěstované pro tento účel, jako jsou obiloviny, olejnatá semena, cukrová řepa a cukrová třtina, brambory, olejná semena, kukuřice, ale i odpady z trávy a biomasy, jako jsou odpady z rostlinné výroby hlavně sláma, odpady z hospodářských zvířat, např. hnůj, komunální odpad, odpady z potravinářského průmyslu, dřevozpracující a lesnické odpady. Biopaliva se vyrábí v pevné formě (vločky, brikety, pelety), tekuté formě (rostlinné oleje a tuky), deriváty, bioetanol a další chemikálie) a plyny (bioplyn, pyrolýzní plyny). Kapalná biopaliva se používají jak pro energetické účely, tedy pro výrobu tepla, elektřiny a automobilového paliva. Automobilové palivo je palivo nejvyšší kvality s vysokými požadavky na kvalitu. Jedná se o nejdražší paliva. Běžnými palivy jsou benzín a nafta. Jejich kvalita je stanovena podle platných norem a těmto normám musí odpovídat i používaná biopaliva. Rostlinné oleje, jejich deriváty, především estery mastných kyselin jako methylester nebo ethylester, nižší alkoholy jako je metanol, které lze použít jako biopaliva pro motory, etanol, propanol a různé chemikálie vyrobené z obnovitelných surovin. [24]

Jsou buď čistá (estery mastných kyselin – FAME, i čisté rostlinné oleje), nebo ve směsi s proměnlivou koncentrací s fosilními palivy, bioetanolovým benzínem (např. E85) a estery mastných kyselin s motorovou naftou (např. směsná nafta s 30), methylesteru řepkového oleje. [21]

### 3.1.3 Elektrická energie

Když mluvíme o tzv. čisté mobilitě, většina si vybaví elektromobilitu, ať už takzvanou čistou mobilitu nebo elektrickou mobilitu. Klasické, tedy na bázi baterií nebo v sekundárním sledu založené na použití vodíku v palivových článcích. Aktualizovaný Národní akční plán čisté mobility (NAP CM), schválený vládou ČR na konci dubna 2020, však stále obsahuje další pilíř čisté mobility v tomto směru. [25]

Elektromobily jsou v dnešní době stále populárnější i v našich končinách. Elektrická mobilita je po celém světě na vzestupu. Zvyšuje se i tržní podíl výrobců elektromobilů. Důvod je jednoduchý: snížit provozní náklady a chránit životní prostředí. Elektromobily jsou vozidla, která využívají elektřinu především z baterií nebo palivových článků nebo solárních panelů. Nemá žádné díly běžně se vyskytující na autech se spalovacími motory, jako je výfukový systém, zapalovací svíčky a spojka. Tento rozdíl je pro elektromobily v mnoha ohledech výhodou. Elektromobily fungují na principu využívání elektrické energie. Akumulátor slouží především jako zdroj. Důležitým faktorem je samozřejmě i elektromotor s účinností až 96 % (účinnost moderních spalovacích motorů je cca 35-40 %). [26]

Elektromotor je druh točivého elektrického stroje. Přeměňuje elektrickou energii na mechanickou práci. Zdrojem elektrické energie je obvykle baterie umístěná na vozidle. V závislosti na baterii nebo její kapacitě závisí také maximální provozní dojezd na jedno nabití. Elektromotor funguje jako akční člen i jako generátor pro přeměnu mechanické energie vznikající při brzdění na elektrickou energii. Mezi elektromotor a baterii je umístěn invertor s funkcí přeměny napětí baterie na napětí pro řízení elektromotoru. Kromě toho hraje měnič důležitou roli i při ovládání elektromotoru při jízdě, rekuperaci energie i při brzdění nebo uvolnění plynového pedálu. Výhodou elektromobilů je nejen to, že jsou šetrné k životnímu prostředí, ale také to, že mají nízké provozní náklady, například ušetříte za olej a palivo. Jelikož elektromobil nemá některé komponenty charakteristické pro spalovací motor, výrazně se snižují jeho nároky na údržbu, a navíc nezpůsobuje prakticky žádné problémy s převodovkou. Pokud porovnáte roční náklady na automobil s elektromotorem a spalovacím motorem, který ujede cca 30 000 km, vyjde vás ujet jeden kilometr elektromobilem na cca 0,5 Kč. U aut se spalovacími motory to bude asi 2 koruny české nebo více, v závislosti na hospodárnosti vozidla. Úspora nákladů tedy při jízdě elektromobilem dosahuje desítek i stovek tisíc korun ročně. V současnosti je největším nedostatkem elektromobilů dojezd na jedno nabití. Přestože se technologie neustále vyvíjí, elektromobily stále nejsou z hlediska dojezdu tak efektivní jako konvenční vozy. Průměrná dojezdová vzdálenost elektromobilu

na jedno nabití je od 200 do 300 km. To není mnoho v porovnání s běžným autem s dojezdem až 900 km na plnou nádrž plynu. A stále se buduje plná síť dobíjecích stanic. [26]

### 3.1.4 Vodík jako palivo

Vodíková auta jsou v podstatě elektromobily, ale energii nezískávají z baterií, ale z reakce vodíku s kyslíkem přímo v motoru. Základními výhodami aut na vodíkový pohon oproti autům na baterie je dlouhý dojezd (600-700 km) a krátká doba tankování. První automobil se spalovacím motorem vyrobený v roce 1807 používal jako pohon vodík. Teprve poměrně nedávno však začaly vodík nabízet první automobilky. Používají je také i například londýnská policie nebo pařížští taxikáři. Slibný vývoj se však odehrává především v sektoru hromadné dopravy, který nevyžaduje tak hustou síť čerpacích stanic. V Německu byl v roce 2018 uveden do provozu první vodíkový vlak a úspěch projektu přiměl další země, jako je Francie a Rakousko, k nákupu těchto technologií. Vodíkové autobusy jsou již v provozu v řadě evropských i světových měst a jejich počet se postupně zvyšuje. Budoucnost nákladní dopravy je také velmi světlá. Rostoucí rozvoj vodíkové mobility naráží na stejné překážky jako elektrická mobilita, především na nedostatek infrastruktury a vysoké počáteční investice. Budování sítě čerpacích stanic nemá cenu, dokud nebude na silnici dostatek aut k provozu. Stále jsou však příliš drahé a není důvod je kupovat, dokud není místo kde doplňovat palivo. Cesta z této patové situace vyžaduje podporu ze strany státu nebo evropských organizací. Tohle už naštěstí existuje. Evropská unie je světovým lídrem ve vývoji vodíkové technologie. Ta už vodík podporuje prostřednictvím dotačních programů mobility a plánuje výrazně zvýšit objem investic do vodíku. [27]

Rostoucí počet výrobců automobilů buď uvádí vodíková vozidla na trh, nebo je již vyrábí v malých množstvích. V roce 2016 spustila dceřiná společnost Linde Hydrogen Concept v Mnichově projekt BeeZero, první službu sdílení aut na světě založenou výhradně na vozidlech s palivovými články na vodíkový pohon. Tato flotila vozidel s palivovými články byla v provozu téměř dva roky a během této doby skupina nashromáždila cenné znalosti, které jí pomohly pokračovat ve vývoji vodíkové technologie a rozšiřování její infrastruktury H<sub>2</sub>. Vodík také dělá významné pokroky v železniční dopravě. Od roku 2021 nahradilo v německé spolkové zemi Dolní Sasko staré dieselové lokomotivy 14 vlaků s palivovými články. Tyto vlaky Coradia iLint vyrábí výrobce kolejových vozidel Alstom. Vlaky mohou na nádrži ujet asi 1000 km s maximální rychlostí 140 km/h. Vodík by mohl být klíčem k dosažení našeho dvouúrovňového cíle snížit dopad našeho podnikání na globální klima. Tento názor podporuje další zjištění z nedávné studie Hydrogen Council, která zjistila, že

vozidla poháněná vodíkem, tradičně vyráběná ze zemního plynu, vypouštěla stopová množství CO<sub>2</sub> o 30 % méně než auta s naftovým motorem. „Ještě lepší možností je používat vodík vyrobený z obnovitelných zdrojů energie, jako je větrná, vodní a solární energie,“ shrnuje Jell. Technická řešení a odborníci na plyn společnosti Linde úzce spolupracují na vývoji technologií a konceptů udržitelné výroby vodíku. Každý způsob dopravy a každý kilometr, který ujedeme a který šetří CO<sub>2</sub> – ať už na zemi, ve vodě nebo ve vzduchu – nás přibližuje k našemu cíli snížení dopadu našich činností na klima. [28]

### 3.1.5 Stlačený plyn CNG

Zkratka CNG znamená stlačený zemní plyn z původního anglického Compressed Natural Gas a jeho hlavní složkou je metan. Spalováním zemního plynu nevznikají škodlivé nebo dokonce karcinogenní látky. V současnosti vozy na CNG splňují budoucí ekologické normy EU spalováním zemního plynu. Navíc se s CNG nedá nic mísit, takže jeho kvalita je zaručena. Ani v případě možného úniku to nepředstavuje nebezpečí pro přírodu. V českých zemích se plyn začal používat k dopravě v roce 1936. Přesněji se jednalo o využití stlačeného vzduchu k pohonu automobilů, autobusů a traktorů. Ocelárny ve Vítkovicích byly první, které vyráběly a provozovaly tlakové plynové stanice své vlastní čerpací stanice. benzinové nákladní automobily. Zemní plyn jako palivo se v České republice začal používat v roce 1981. Tehdy byla provedena první přestavba dopravy na zemní plyn. [29]

CNG je zkratka pro Compressed Natural Gas. Setkat se můžete i s variantou BioCNG, v tomto případě se jedná o stlačený biometan. Zemní plyn se používá k vaření a ohřevu užitkové vody již mnoho let, ale v poslední době se stal oblíbeným jako palivo pro vozidla s ultra nízkými emisemi. Evropská unie jej označila za jednu ze surovin, která má být použita jako alternativní pohon ke snížení množství CO<sub>2</sub> v atmosféře. Dále se v případě BioCNG jedná o obnovitelný zdroj energie: biometan se vyrábí z odpadu ze zemědělské výroby nebo z čistíren odpadních vod. CNG je do nádrže dodáváno v plynném stavu pod vysokým tlakem až 200 bar. Obavy z výbuchu jsou však neopodstatněné. Nádrže v autě jsou navrženy tak, aby zdvojnásobily tlak. CNG je lehčí než vzduch, takže v případě úniku sám unikne. Oba plyny mají velmi nízké provozní náklady na vozidla, která pohánějí. Toho je dosaženo především díky zvýhodněným sazbám spotřební daně, které se vláda ČR rozhodla zachovat i do budoucna. S plynovým motorem pojedete při spotřebě 3,5kg na 100 km a při ceně 35,4 Kč na kilogram za 1,24 Kč/km. Použitý vzorec pro výpočet:  $(3,5 \text{ kg CNG}/100 \text{ km} * 35,4 \text{ Kč/kg}) / 100 \text{ km} = 1,24 \text{ Kč/km}$ . Přestavba benzinového modelu na CNG na stlačený zemní plyn stojí přibližně 50 000 korun podle typu motoru a počtu válců. Instalace pohonu na CNG

také omezuje zavazadlový prostor. CNG má regulovaný oktanový index 130. To zajišťuje nejen stabilní kvalitu plynu, ale také pomáhá motoru hladce pracovat a zvyšuje odolnost paliva proti samovznícení. V Evropě se zásadně liší i složení propanbutanových směsí. [30]

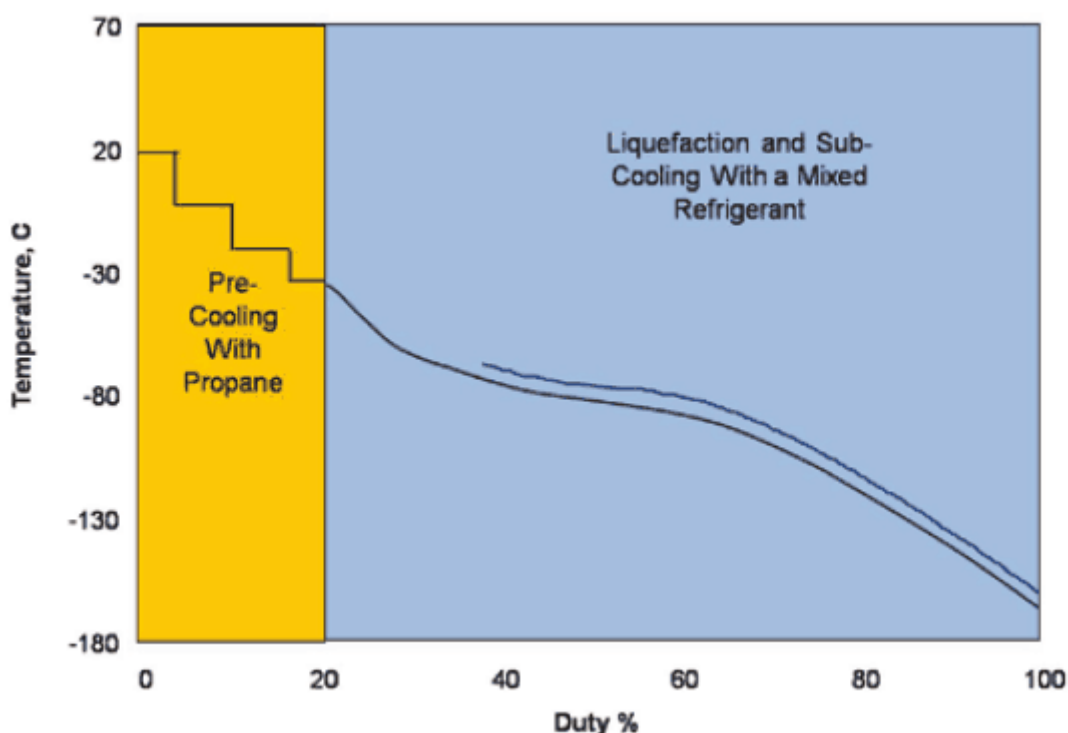
### 3.1.6 Syntetická paliva (e-paliva)

V oboru automobilového průmyslu a energetiky, konkrétně se zaměřením na udržitelnou mobilitu a alternativní paliva vidíme syntetická paliva jako skutečnou budoucnost udržitelné mobility. Zatímco konvenční palivo se vyrábí rafinací ropy, umělé palivo se vyrábí chemickou reakcí vodíku a CO<sub>2</sub>. Jejich spalování produkuje výrazně čistší emise a správný výrobní proces z něj dělá uhlíkově neutrální palivo. Výhodou syntetických paliv je, že vyžadují pouze dílčí úpravy klasických spalovacích motorů a lze pro ně využít stávající čerpací infrastrukturu. Jedná se o syntetická paliva (benzín nebo nafta). Zatímco konvenční paliva jsou vyráběna rafinací ropy. Jejich spalováním vznikají výrazně čistší emise (žádná síra ani aromatické uhlovodíky), využití CO<sub>2</sub> k výrobě (odpad z průmyslové výroby nebo přímo ze vzduchu). Pokud jsou také vyráběny s využitím energie z obnovitelných zdrojů, uhlíková stopa tohoto výrobního procesu je také nižší než u konvenčních paliv. Syntetická paliva se mohou stát směsí konvenčních paliv nebo je lze spalovat zcela samostatně – jejich použití vyžaduje pouze dílčí úpravy klasických spalovacích motorů a lze využít i stávající čerpací infrastrukturu. [31]

## 4 PŘEPRAVNÍ ŘETĚZEC LNG

V přírodě se zemní plyn téměř nikdy nevyskytuje v kapalném stavu a pro získání LNG je nutné vytěžený a dekontaminovaný zemní plyn zkapalnit ve zkapalňovacích zařízeních. Poté se naloží do tankerů a dopraví se k výstupu. Výstupem jsou tzv. terminály, kde se LNG přečerpává z tankerů do nádrží, odkud se postupně odpařuje do plynovodu. [4]

Pokud jde o samotné zkapalňování zemního plynu, existuje několik technik. Nejúčinnějšími metodami jsou tzv. kaskádový cyklus, který zahrnuje několik chladicích okruhů, díky nimž se získá co nejpřesnější aproximace křivky chlazení zemního plynu, a smíšený chladicí cyklus (MR), který využívá několik typů chladiv k dosažení stejného efektu. Při použití cyklu MR se často kombinuje s předchlazením, např. propanem. Tento cyklus se také nazývá cyklus C3MR. [4]



Obrázek 4 Cyklus C3MR [4]

### 4.1 Transport a skladování

Hlavní výhodou LNG je jeho vysoká objemová hustota energie, která je příznivá pro přepravu a skladování. Dálková přeprava LNG je téměř výhradně realizována námořní dopravou. Nakládání a vykládání LNG je periodický proces, který vyžaduje odpovídající kapacitu nádrží LNG. Vytvoření velké zásoby LNG je vhodné pro zajištění stability dodávek

a překlenutí výkyvů dodávek a odběrů LNG. Dalším využitím zásobníků LNG je vytvoření bezpečné zásoby paliva v blízkosti spotřeby LNG pro případ častého přerušování dodávky paliva. Jedná se o bezpečný alternativní zdroj plynu nebo kapalného paliva používaného při spalování turbíny, spalovací motory a kotle. Zásobníky LNG jsou především velkoobjemové válcové kontejnery, které skladují LNG při atmosférickém tlaku nebo vysokém tlaku par, odpovídající bodu varu LNG  $-162^{\circ}\text{C}$ . Akumulační nádrže jsou jednoduché konstrukce s kvalitní izolací, jež tvoří vnější plášť nádrže. Izolace omezuje tok tepla z okolního prostředí do nádrže. Tepelný tok nelze zcela zastavit a určité množství tepelné energie nepřetržitě vstupuje do zásobníku z okolí. Tento nechtěný tepelný tok způsobí var určitého množství LNG. Při varu se tepelná energie spotřebovává na změnu skupenství, čímž je zajištěno, že obsah nádrže LNG bude udržován při nízkých teplotách. Odpařený plyn je odstraněn z nádrže, takže se vnitřní tlak nezvyšuje a je vhodně použit jako plyn NG pro pozdější použití. Pokud použití odpařeného plynu není možné nebo technicky proveditelné, může unikat z nádrže do atmosféry. Toto množství je přímo úměrné době skladování LNG. Odpařený NG lze několikrát zkapalnit, což vyžaduje značné množství energie. Ke zkapalnění 1 kg LNG je potřeba cca 0,38 kWh elektřiny, množství klasického odpařování odpovídá 0,17 % LNG za den. [1]

## 4.2 Přeprava

Pro přepravu a skladování LNG se používají velkoobjemové nádrže s kvalitní tepelnou izolací za normálního atmosférického tlaku nebo mírných přetlaků, pro maximální odvod tepla z okolí přes vnější plášť směrem k nádrži. Nežádoucím tepelným tokům se nelze zcela vyhnout a na obsah nádrže však stále působí určité množství tepelné energie. To má za následek var LNG a částečný návrat do plynného stavu, to znamená odpařování v objemu asi 0,17 % za den pro udržení nízké teploty v nádrži. Odpařený zemní plyn se shromažďuje a odebírá z nádrže, aby se tam nezvyšoval tlak, a plyn se pak využívá. Například k pohonu motoru tankeru přepravujícího LNG lze použít tepelné čerpadlo k chlazení nádrže nebo opětovnému zkapalnění plynu. V místě určení je LNG znovu zplynován na plovoucích nebo pozemních stanicích. Tyto regasifikační lodě otevřely nové trhy na mnoha místech, a v rámci různých nových obchodních přístupů k LNG. Poté je tlačěn do plynovodů a poté distribuován potrubní sítí jako konvenční zemní plyn. Používá se jako palivo pro vaření nebo topení i v chemickém průmyslu, například při výrobě čpavku. Kromě výše zmíněných cisteren se LNG používá především v dálkových autobusech a nákladní doprava. Vlastnosti



LNG (jeho odpařování) umožňují jeho použití v chladírenských vozech nejen jako palivo pro motory, které je pohánějí, ale také jako chladicí kapalinu pro nákladový prostor. [32][33]

Metan má velmi nízkou hustotu, a proto je nákladný na přepravu a skladování. [34]

Vysokotlaké plynovody lze použít k přepravě plynu po pevnině nebo pro krátké plavby po moři. Zkapalňování zemního plynu umožňuje, aby byl plyn přepravován ekonomicky přes oceány nebo v některých aplikacích kamionem k malým, rozptýleným spotřebitelům. LNG zabírá 600krát méně místa než plyn, ale musí být skladován při teplotách pod 160 stupňů Celsia a pod tlakem. V přijímacím terminálu se LNG vykládá a skladuje, než je znovu zplynován a přepravován potrubím ke koncovému uživateli. [34]

Mezi čtyři klíčové prvky hodnotového řetězce LNG patří:

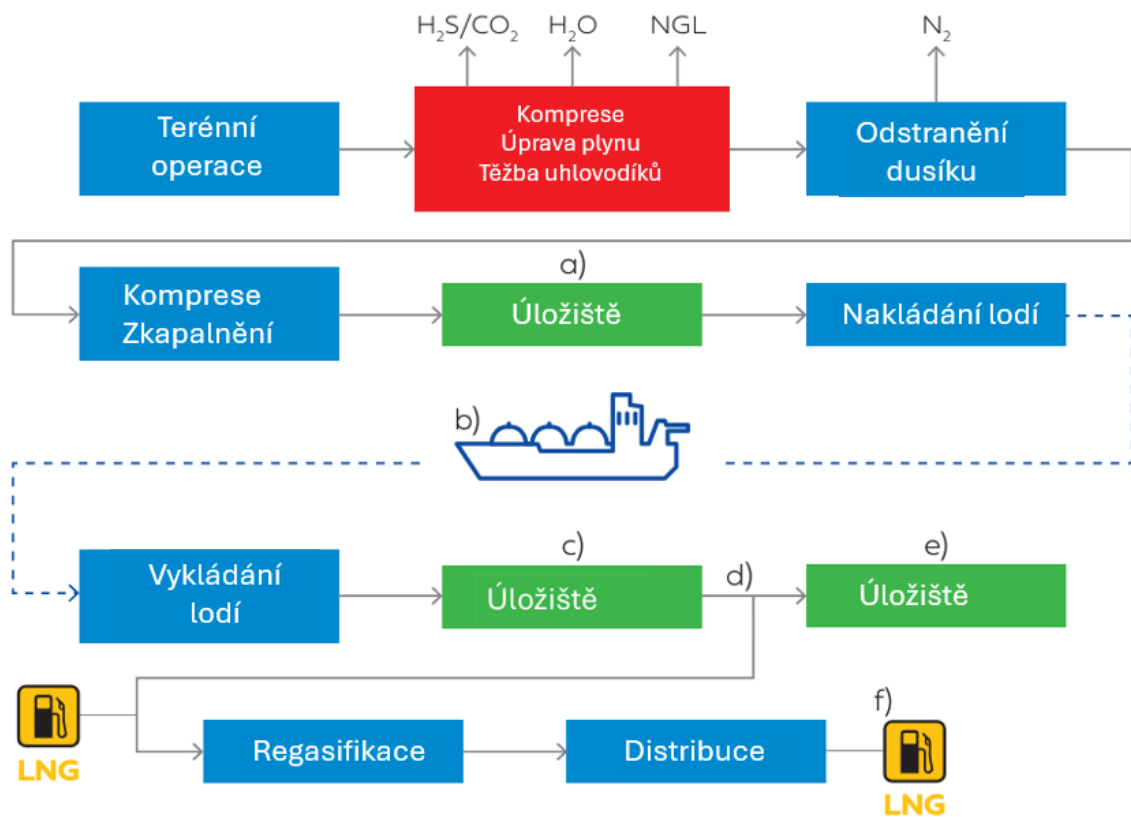
- průzkum a výroba – LNG je způsob přepravy zemního plynu, takže zemní plyn musí být nejprve vyroben a dopraven do zařízení LNG ke zpracování;
- zkapalňování – tento proces mění plyn na kapalinu snížením teploty plynu na asi minus 160 stupňů C;
- doprava – cisterny jsou izolované a vyrobené se speciálními automatizovanými chladiči, které udržují zemní plyn v kapalné formě při jeho přepravě přes obrovské vodní plochy, po kterých se transportují;
- skladování a zpětné zplynování – jakmile LNG dorazí na místo určení, je skladován nebo znovu zplynován zpět do stavu plynu. Proces zpětného zplynování zahrnuje průchod LNG řadou odpařovačů, aby se palivo zahřálo. [34]

Poptávka po LNG roste na trzích, kde je domácí produkce plynu nebo dovoz z potrubí omezený. Tento nárůst je způsoben především růstem asijských ekonomik, a především jejich touhou po čistších palivech; a kvůli uzavření jaderných elektráren. Největším producentem LNG je Katar, jehož kapacita zkapalňování v roce 2013 tvořila zhruba čtvrtinu celosvětové produkce LNG Japonsko je zdaleka největším dovozcem LNG a v roce 2013 spotřebovalo více než 37 % celosvětového obchodu s LNG. Projekty LNG vyžadují obrovský počáteční kapitál, takže dodavatelé často uzavírají dlouhodobé smluvní dohody (až 15 až 20 let) s kupujícími, než učiní investiční rozhodnutí. V procesu těžby je třeba vzít v úvahu environmentální a sociální otázky. Tyto obavy jsou obecně způsobeny energetickými vstupy a místním environmentálním dopadem takového rozsáhlého průmyslového rozvoje. Kromě toho, ačkoli je zemní plyn nejčistším fosilním palivem, při

spalování produkuje CO<sub>2</sub> a sám o sobě je silným skleníkovým plynem, který způsobuje klimatické obavy. Došlo také ke dvěma nehodám. Jedna z nich se udála v Clevelandu v roce 1944, kde došlo i na ztráty na životech. Druhá nehoda se stala v alžírském městě Skikdē v roce 2004, kde došlo k výbuchu v továrně na zkapalněný zemní plyn (LNG) si vyžádal 27 mrtvých, 72 zraněných a 7 nezvěstných. Exploze zničila tři ze šesti zkapalňovacích vlaků, poškodila nedalekou elektrárnu a odstavila rafinerii s kapacitou 335 000 barelů denně. Poškozeny byly i nedaleké průmyslové budovy. Zpočátku se věřilo, že za problém může vadný kotel. Průzkumy však ukázaly, že velká množství uhlovodíků z výměníku tepla akumulace chladu by se při zavedení do kotle vznítily. [34] [35]

#### 4.2.1 Logistika přepravy a skladování

Zkapalněný zemní plyn (LNG) hraje stále důležitější roli v globálním energetickém mixu a přináší s sebou nové výzvy a příležitosti v odvětvích logistiky a dopravy. Tato kapitola podrobně zkoumá složité logistické procesy spojené s přepravou a skladováním LNG, od plovoucích terminálů až po plovoucí sklady a distribuční centra. Prostřednictvím této analýzy se zaměříme na klíčové aspekty, které ovlivňují úspěšnou a bezpečnou přepravu LNG, včetně výběru vhodné přepravní technologie, řízení logistických partnerů, dodržování přísných bezpečnostních předpisů a poskytování efektivních systémů skladování a distribuce. Abychom mohli poskytnout komplexní pohled na tuto problematiku, podíváme se na různé metody a strategie, které pomáhají optimalizovat logistické procesy související s LNG a zajišťují efektivní a bezpečný tok této důležité energetické suroviny po celém světě. [7]



Obrázek 5 Schéma přepravního řetězce [7]

V počáteční fázi zavádění LNG v ČR není praktické pronajímat zámořské přístavní skladovací tanky nebo zajišťovat námořní přepravu vlastními prostředky. Celolodní zásilky a částečný pronájem lodního prostoru vyžadují dlouhodobé smlouvy. Nákup plovoucího zboží není aktuálně možný. Při těchto přepravách je nutné pečlivě vybírat zkušené partnery. Právní vztahy a obchodní zvyklosti se řídí místními zákony, což zvyšuje náklady na právní spory mimo ČR. Terminál Gate společnosti VOPAG je významným plynárenským projektem v Evropě, disponuje třemi nádržemi LNG, každou s kapacitou 180 000 m<sup>3</sup>, a možností přidání čtvrté. Terminál umožňuje současné nakládání a vykládání tří LNG lodí s kapacitou až 267 000 m<sup>3</sup>. Výběr terminálu závisí na přepravní trase a obchodních partnerech. V počátečních fázích budou dodávky LNG do ČR realizovány převážně silničními cisternami přímo z přístavních zásobníků. Možné přepravní módy zahrnují železniční, silniční, kombinovanou a říční dopravu, přičemž volba závisí na konkrétních podmínkách a potřebách distribuce. [7]

### 4.3 Logistické zabezpečení – přeshraniční trasa

**Volba způsobu/technologie přepravy LNG:** rozhodnutí o způsobu přepravy LNG (lodě, tankery, nádrže, potrubí atd.) by měly brát v úvahu bezpečnostní aspekty a ekonomickou účinnost. Každá možnost má své vlastní podrobnosti a rizika.

**Výběr logistického partnera:** spolupráce s logistickým partnerem, který má zkušenosti s přepravou LNG a splňuje nejvyšší bezpečnostní standardy, je důležitá. To je jediný způsob, jak minimalizovat rizika spojená s přepravou tohoto citlivého materiálu.

**Přeprava nebezpečných věcí:** LNG je považován za nebezpečnou látku, proto je třeba dodržovat přísné bezpečnostní protokoly a předpisy pro přepravu.

**Příprava a smluvní záruka:** balení a manipulace s LNG musí splňovat přísné normy a předpisy. Smluvní záruky by měly být pečlivě vytvořeny tak, aby zohledňovaly možná rizika a zajišťovaly odpovědnost v případě nepředvídaných okolností.

**Mezinárodní pravidla a předpisy:** při mezinárodní přepravě LNG je důležité dodržovat mezinárodní normy a pokyny, jako je Mezinárodní kodex pro stavbu a vybavení plavidel přepravujících kapalný zemní plyn (kód IGC).

**Další opatření související s dopravou:** to zahrnuje pravidelné sledování kvality a množství LNG, pojištění proti rizikům souvisejícím s dopravou a prevenci nehod a nehod.

**Opatření související s celními a daňovými činnostmi:** včetně dodržování cel a předpisů týkajících se mezinárodního obchodu s LNG a placení příslušných daní a poplatků.

**Kombinace obchodních aktivit a dopravy:** integrace obchodních aktivit a logistiky LNG může zvýšit efektivitu a snížit náklady, ale vyžaduje pečlivé plánování a koordinaci.

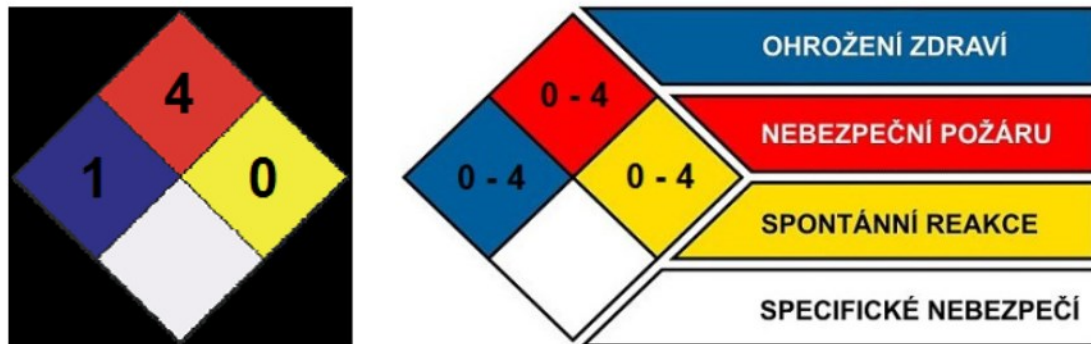
Posouzení účinnosti logistických a bezpečnostních činností LNG je zásadní pro zajištění bezpečnosti, účinnosti a udržitelnosti celého procesu přepravy a manipulace s tímto citlivým materiálem. [7]

#### 4.3.1 Bezpečnost dopravy

LNG je klasifikován podle mezinárodních předpisů pro všechny druhy přepravy jako nebezpečné zboží UN 1972 třída 2/1. [7]

Pro ilustraci uvádíme systém Diamant určený k posouzení rychlého posouzení nebezpečnosti (nedokáže identifikovat látku). Používá se speciálně ve Spojených státech pro

lidi, kteří nemají žádné speciální školení v oblasti nebezpečných předmětů, ale mohou s nimi přijít do kontaktu, zejména v případě nehody. [7]



Obrázek 6 MATERIAL SAFETY DATA SHEET – Irving Oil Refining G.P. Saint John, USA [7]

Při vytváření a rozvoji přepravního řetězce musí být bezpečnost přepravy na prvním místě, důležitější než všechna ostatní kritéria. Přepravci, příjemci a další subjekty zapojené do přepravy nebezpečných věcí mají povinnost dodržovat mezinárodní a národní předpisy, které jasně stanovují, že musí mít pojištění. Tyto předpisy jsou závazné a nelze je obejít ani změnit. Dopravci, tedy provozovatelé přepravních vozových parků, musí zajistit schvalování svých vozidel, porovnávat efektivitu jejich nákupu a provozu a sledovat jejich pohyb a využití. Rovněž by měli využívat marketingové nástroje k popularizaci zkapalněného zemního plynu (LNG) a ke zlepšení image své firmy a produktů. [7]

#### 4.3.2 Vnitrostátní nebo distribuční logistika

Vnitrostátní nebo distribuční logistika LNG zahrnuje různé aspekty a procesy, které jsou klíčové pro efektivní doručení zkapalněného zemního plynu zákazníkům. Skladové dodávky zahrnují správu zásob LNG v zásobnících, kde se plyn uchovává před jeho distribucí, zatímco spádové dodávky zajišťují optimální doručení z centrálních zásobníků do regionálních distribučních center nebo přímo k zákazníkům. To zahrnuje efektivní řízení zásob, cross-docking a minimalizaci skladového prostoru. Veřejná síť odběrných míst může zahrnovat čerpací stanice dostupné veřejnosti, soukromá síť může zahrnovat firemní terminály nebo partnerské distribuční body, a mobilní odběrná místa mohou být mobilní tankovací jednotky nebo cisternové vozy. Optimalizace sítě zahrnuje analýzu a zlepšení distribuční sítě pro maximální efektivitu, což zahrnuje použití pokročilého softwaru pro plánování tras a pravidelnou revizi distribučních center a transportních cest. Dopravní technika zahrnuje různé druhy dopravních prostředků, jako jsou cisternové nákladní

automobily nebo vlaky specializované na přepravu LNG, a může zahrnovat jak interní logistické kapacity firmy, tak externí partnery poskytující přepravní služby. Bezpečnostní opatření jsou klíčová, včetně používání bezpečnostních tašek a jiných ochranných opatření během přepravy, a smluvní distribuce zahrnuje uzavírání smluv s přepravními společnostmi pro dodržování bezpečnostních standardů. Národní předpisy týkající se přepravy LNG zahrnují dodržování všech právních předpisů a norem, včetně bezpečnosti, značení, balení a specifických požadavků pro přepravu nebezpečných materiálů, a zajištění souladu s těmito předpisy prostřednictvím pravidelných auditů a školení zaměstnanců. [7]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 ANALÝZA RIZIK

Analýza rizik je průzkum nežádoucích stavů a nebezpečí, která se mohou s určitou pravděpodobností vyskytnout a způsobit nám škodu. Analýzou hledáme nejvýznamnější rizika, která musíme vhodnými opatřeními eliminovat nebo pokud možno úplně zabránit jejich vzniku. [36]

Analýza rizik se týká především projektového řízení. Projekty zavádějí do praxe nové změny. Tyto věci nejsou nikdy bez rizika. Rizika mohou bránit projektu v dosažení jeho cílů nebo vést k významným finančním ztrátám, ztrátě kapacity. [36]

Lze pro něj použít tento výpočet: Dopady rizika \* pravděpodobnost výskytu rizika = Významnost rizika. [36]

Dopady se obvykle posuzují na stupnici od 1 do 5, od zanedbatelného dopadu (1) po dopad krize (5). Podobně se hodnotí pravděpodobnost výskytu od výlučné (1) po jistou (5). Pomocí takového hodnocení je vytvořena matice důležitosti rizika, ve které jsou rizika rozdělena na:

nízká : < 12

střední : 12 a < 16

vysoká : > 16 [31]

Vysoká rizika se pak hledají pro opatření, která je dokážou eliminovat. Analýza rizik je nepostradatelnou součástí řízení rizik. [37]

Posouzení rizik dále řeší:

- Analýza stromu událostí ETA
- Analýza chybového stavu FTA
- Analýza nebezpečí PHA
- studie nebezpečí a možností HAZOP výkon
- analýza nebezpečí a kritické kontrolní body HACCP
- analyzování pravděpodobností a dopad defektů FMECA. [30]

Po představení společnosti, jejích aktiv a možných hrozeb, vybraných jako nejdůležitější, je v této části provedena analýza rizik na základě dvou vybraných metod. Oba spadají do kvantitativní kategorie, protože mají jistě větší výhodu z hlediska bezpečnosti díky přesnějším výsledkům. Jedním z hlavních nedostatků, na který chce studie upozornit, je nedostatek důkladného hodnocení aktiv na základě jejich skutečné váhy pro dané publikum. Spíše jsou všechna hodnocení prováděna na základě osobních preferencí týkajících se



problémů a silných stránek. Jedná se tedy o subjektivní pohled při práci s hrozbami, a proto výsledky nejsou přesné. V této části se práce zaměří na klasický výpočet rizikových hodnot podle daných metod bez jakýchkoli dalších změn, aby byly co nejpřesněji popsány výsledky, kterých bude skutečně dosaženo.

## 5.1 Aktivum

Aktivem je myšleno to, co má pro danou organizaci nějakou hodnotu, která může být zmenšena působením hrozby. Aktiva dělíme do dvou základních kategorií, a to na aktiva hmotná (např. finanční prostředky, cenné papíry, nemovitosti apod.) a aktiva nehmotná (např. informace, kvalita personálu, autorská práva apod.). Aktivem by také mohl být sám subjekt organizace, poněvadž hrozba může působit na celou jeho existenci. Vůči působením hrozby se aktivum vyznačuje určitou zranitelností, která může být minimalizována zavedením adekvátních bezpečnostních opatření.[38]

Zranitelnost představuje nedostatek, slabinu nebo stal analyzovaného aktiva, které může hrozba využít pro uplatnění svého nežádoucího stavu. Tato veličina je vlastností aktiva a vyjadřuje, jak citlivé je aktivum na působení dané hrozby. Zranitelnost je tam, kde dochází ke vzájemnému působení hrozby a aktiva. [38]

### 5.1.1 Aktiva LNG

Je důležité si uvědomit nejen hmotný majetek, ale také mnoho nehmotného majetku, na který se často zapomíná. Níže uvedená tabulka uvádí všechna hardwarová aktiva, která společnost považuje za kritická. První sloupec se zaměřuje na jejich seznam a druhý sloupec se zaměřuje na možná zranitelnosti.

Tabulka 1 Aktiva

Aktiva	Zranitelnost
Terminály	Zařízení pro přijímání, skladování a opětovné odpařování LNG
Skladovací nádrže	Zařízení pro uchovávání velkých množství kapalného zemního plynu
Tankery	Lodě určené k přepravě LNG mezi terminály a spotřebiteli
Distribuční sítě	Potrubní systémy pro přepravu LNG od terminálů ke konečným spotřebitelům

Prostředky kamionové dopravy	Speciální nákladní vozidla určená pro přepravu zkapalněného zemního plynu.
Čerpací stanice	Zařízení pro plnění nádrží vozidel LNG a poskytování souvisejících služeb.
Kontakty na dodávku LNG	Dohody s dodavateli nebo odběrateli týkající se dodávek a odbytu LNG
Technologické zařízení	Zařízení pro zkapalňování a regasifikaci LNG, pokud je společnost zapojena do procesů zkapalňování nebo regasifikace
Práva na těžbu a distribuci zemního plynu	Pokud společnost vlastní nebo má práva na těžbu zemního plynu, může to být také považováno za aktivum
Finanční investice	Investice společnosti do jiných podniků nebo projektů v oblasti LNG
Patenty a technologické know-how	Duševní vlastnictví spojené s technologiemi na zkapalňování, regasifikaci nebo jiné procesy související s LNG
Ostatní majetek	Budovy, vybavení a další infrastruktura používaná při provozu společnosti v oblasti LNG

## 5.2 Hrozba

Hrozba, stejně jako nebezpečí, je něco, před čím musí organizace chránit svůj majetek. Hrozba je jakákoli událost, která by mohla vést ke ztrátě, nedostupnosti nebo poškození aktiva nebo procesu. Hrozby jsou vnější faktory, které organizace nemůže ovlivnit, ale může se na ně připravit.

Hrozbou rozumíme vlastnost, sílu, událost, aktivitu nebo osobu, která působí buď přímo na aktivum nebo na bezpečnostní opatření s cílem získat přístup k aktivu. Aby mohla hrozba působit, musí být nejprve aktivována, k čemuž slouží zdroj hrozby. Alternativním termínem, zejména v oblasti technologických a zdravotních rizik, je pojem nebezpečí. [38]

### 5.2.1 Hrozby týkající se LNG

Velmi důležitým krokem v dokumentaci je přesná identifikace hrozeb, které jsou následně řešeny během procesu analýzy. Existuje mnoho hrozeb, ale ty, které se nejvíce vztahují

k určitým aktivům, byly vybrány z obsáhlejšího seznamu. To je však pouze první možnost. Následná klasifikace hrozeb podle jejich důležitosti proběhne přímo ve fázi analýzy nebo rozhodování.

Tabulka 2 Hrozby

Hrozby	Co mohou ohrozit
Požár	LNG je vysoce hořlavá látka, a proto může být v případě požáru nebezpečná. Požáry mohou vzniknout při manipulaci s LNG nebo v důsledku nehod během jeho přepravy.
Exploze	V důsledku výbušnosti LNG může dojít k explozi, zejména pokud je vystavena vysokým teplotám nebo je nesprávně manipulována.
Únik	Únik LNG může mít závažné následky, včetně požárů, explozí a ekologických škod. Je důležité mít účinné systémy monitorování a prevence úniků.
Kontakt s chladným palivem	LNG je extrémně studená látka, která může způsobit popáleniny nebo jiné zranění při přímém kontaktu s kůží nebo materiály, které nejsou schopny odolávat nízkým teplotám.
Poruchy	Poruchy v zařízeních pro výrobu, skladování nebo přepravu LNG mohou vést k nehodám a únikům, což zvyšuje riziko požárů a explozí.
Sabotáž	Útoky nebo sabotáže na zařízení LNG mohou mít katastrofické následky, včetně poškození infrastruktury, úniků a obětí na životech.
Technické problémy	Technické problémy s zařízeními pro výrobu, skladování nebo přepravu LNG mohou vést k haváriím a riziku pro lidské životy a životní prostředí.
Politický konflikt	Politické konflikty mohou mít dopad na dodávky LNG z určitých zemí, což může vést k nestabilitě dodávek a zvýšené cenové volatilitě.
Uzavření tranzitních tras	Uzavření tranzitních tras, například v důsledku geopolitických konfliktů, může vést k přerušení dodávek

	LNG do určitých regionů, což může mít ekonomické a strategické důsledky.
Dopravní nehody	Kamiony převážející LNG jsou vystaveny riziku dopravních nehod, které by mohli způsobit následný únik či požár.
Nedostatečná ventilace a větrání	Kvůli vysokému výparu LNG je důležité, aby čerpací stanice měly dostatečnou ventilaci a větrání, aby minimalizovaly riziko hromadění plynu a potencionálních výbuchů.

### 5.3 Riziko

Riziko vzniká vzájemným působením hrozby a aktiva a je vyjadřováno kombinací pravděpodobnosti výskytu mimořádné události a jejího dopadu na dané aktivum. Riziko tedy můžeme chápat jako kvantifikaci působením hrozby na aktivum. [38]

Možnost výskytu události s určitou pravděpodobností, kterou z bezpečnostního hlediska považujeme za nežádoucí. Riziko vždy pramení z konkrétní hrozby. Míru rizika, tedy pravděpodobnost nepříznivých důsledků plynoucích z hrozby a zranitelnost zájmů, lze posoudit na základě tzv. analýzy rizik, rovněž na základě posouzení naší připravenosti hrozbám čelit. [39]

Rizika jsou potenciální problémy, které mohou, ale nemusí nastat. Riziko je možnost výskytu negativního jevu nebo události. Je to nejistota ohledně dosažení požadovaných výsledků a cílů, protože je může brzdít. Proto se jedná o potenciální negativní efekt s nejvyšší pravděpodobností výskytu. Každé riziko, které se objeví, má nežádoucí negativní důsledky pro chod organizace. [40]

### 5.4 Metoda PNH

Metoda PNH je známá svou jednoduchostí a často velmi efektivní. Pracuje s přiřazováním hodnot k jednotlivým hrozbám (rizikům) na základě tabulek obsahujících hodnoty pravděpodobnosti, závažnosti a váhových kritérií dané hrozby.

Posuzuje se podle tří složek souvisejících s:

1. pravděpodobnosti výskytu (P),
2. pravděpodobnost následků (N),

### 3. Názor hodnotitele (H).

Odhad pravděpodobností (P), že se uvažované nebezpečí může skutečně vyskytnout, se určuje podle stupnice odhadů pravděpodobností ve vzestupném pořadí s čísly od 1 do 5, kde stupeň, závažnost a kritéria, každého jednotlivého nebezpečí a hrozby jsou jednoduše zahrnuta. Toto stanovení je totožné i pro pravděpodobnost následků. V kategorii názor hodnotitelů se přihlíží k závažnosti ohrožení, počtu ohrožených osob, době ohrožení, stáří a technickému stavu technologických zařízení a objektů. Ale také i stupeň údržby, akumulace rizik, dynamika rizik, možnost pojištění první pomoci, vliv pracovního systému, prostředí a pracovních podmínek, psychosociální rizikové faktory, případně další vlivy zvyšující riziko. [41]

Hodnocení rizik je provedeno v tabulce pomocí jednoduché semikvantitativní bodové metody. Tato metoda byla použita k hodnocení této práce osobou s odborností v oblasti prevence rizik. Prostřednictvím této metody se riziko posuzuje podle tří faktorů, které souvisí s pravděpodobností výskytu hrozby (P), pravděpodobností a možnými důsledky hrozby (N) a názor hodnotitele (H).

Odhad pravděpodobnosti (P), že by uvažované nebezpečí mohlo skutečně nastat, určeno podle pravděpodobnostní stupnice odhaduje pravděpodobnost vzestupně s číslem od 1 do 5, která zahrnuje pouze úroveň, úroveň a kritéria každého nebezpečí a jednotlivých hrozeb.

Pravděpodobnost ohrožení, respektive vzniku a existence nebezpečí (P). [42]

Pravděpodobnost ohrožení, respektive vzniku a existence nebezpečí (P):

Tabulka 3 Pravděpodobnost hrozby

Pravděpodobnost hrozby	Slovní vymezení	Hodnocení
Zanedbatelná	1x za 25 let	1
Nepravděpodobná	1x za 10 let	2
Pravděpodobná	1x za 5 let	3
Velmi pravděpodobná	1x ročně	4
Téměř jistá	1x měsíčně	5

Pravděpodobnost ohrožení (P) představuje úroveň rizika, že dojde k nebezpečné události a mohla by mít negativní dopad na lidi, majetek nebo životní prostředí. Tato pravděpodobnost je ovlivněna technickými, lidskými, environmentálními a provozními faktory, jako je spolehlivost zařízení, kvalita školení personálu, podmínky prostředí a údržba technologie. Hodnocení pravděpodobnosti zahrnuje kvalitativní metody (odbornost, audit), kvantitativní metody (statistická analýza, modelování) a kombinované metody (FMEA, HAZOP). Tuto pravděpodobnost lze snížit pomocí technologických, organizačních a infrastrukturních opatření, jako jsou redundantní systémy, pravidelná školení a kvalitní údržba.

Možné následky ohrožení (N):

Tabulka 4 Závažnost následků

Závažnost následků	Slovní vymezení	Hodnocení
Opomenutelné poškození zdraví	Zanedbatelná ztráta zisku	1
Úraz s rekonvalescencí	Nutnost menší investice	2
Úraz bez trvalých následků	Nutnost větší investice	3
Těžký úraz s trvalými následky	Nutnost půjček, dlouhodobě snížený zisk	4
Smrtelný úraz	Ohrožení přepravy a používání LNG	5

Možné následky ohrožení (N) představují škody a dopady, které mohou nastat po nebezpečné události s dopadem na lidi, majetek nebo životní prostředí. Tyto důsledky zahrnují fyzické zranění nebo smrt, finanční ztráty, poškození infrastruktury, poškození životního prostředí a narušení dopravy. Hodnocení následků zahrnuje analýzu scénářů a předpověď dopadů různých typů nehod. Snížení následků lze dosáhnout zavedením bezpečnostních opatření, jako jsou havarijní plány, ochranné systémy, školení personálu a pravidelná havarijní cvičení.

Názor hodnotitele (H):

Tabulka 5 Názor hodnotitele

Názor hodnotitele	Hodnocení
Zanedbatelný vliv na míru bezpečí a ohrožení	1
Malý vliv na míru nebezpečí a ohrožení	2
Větší, nezanedbatelný vliv na míru nebezpečí a ohrožení	3
Velký a významný vliv na míru nebezpečí a ohrožení	4
Více významných a nepříznivých vlivů na závažnost a následky ohrožení a nebezpečí	5

Hodnotitel (H) vyjadřuje svůj názor na danou otázku nebo situaci a jeho názor může být subjektivní a ovlivněný osobní zkušeností a preferencemi. Hodnocení často zahrnuje analýzu různých aspektů daného objektu nebo jevu a jejich porovnání s určitými standardy nebo očekáváními. Cílem je poskytnout čtenáři nebo posluchači informovaný pohled, který mu může pomoci vytvořit si vlastní názory nebo rozhodnutí.

Po zadání všech hodnot a konečném výpočtu R (rizika) podle vzorce z teoretické části o metodě PNH je pro každé riziko vypočítána jeho získaná hodnota pro určení pořadí priorit, podle které daný problém se dříve nebo později vyřeší. K takové klasifikaci slouží níže uvedená tabulka, která zdůrazňuje nutnost zabývat se spíše některými z největších rizik než jinými riziky, která alespoň jemně vybírá ta nejdůležitější rizika. Obecně bylo zjištěno, že rizika v kategorii bezvýznamné a akceptovatelné riziko daného hodnocení byla málo významná a organizace by se jimi nemusela zabývat.

Tabulka 6 Riziko

Riziko				
Bezvýznamné	Akceptovatelné	Mírné	Nežádoucí	Nepřijatelné
1-8	9-25	26-70	71-99	100-125

Rozsah bodů zhruba ukazuje naléhavost úkolu implementace opatření ke zmírnění rizik a prioritě bezpečnostních opatření, která je třeba zahrnout do plánu zvýšení úrovně bezpečnostního zabezpečení v rámci hodnocení rizik a dokumentační plán.

Bezvýznamná, zanedbatelná rizika lze akceptovat bez potřeby zvláštních opatření. Nejedná se však o 100% bezpečnostní opatření, proto je nutné na existující riziko upozornit a zmínit například, jaká organizační a výchovná opatření by měla být v zaměstnání přijata.

Akceptovatelná rizika jsou přijatelná se souhlasem vedení společnosti. Je nutné zvážit náklady možných řešení nebo vylepšení. Tam, kde není možné zavést technická bezpečnostní opatření k minimalizaci rizika, je třeba zavést alespoň vhodná a adekvátní organizační opatření. Zpravidla např. školení obsluhy, pravidelný dohled atd.

Mírná rizika nejsou tak závažná jako u následujících skupin, obecně je však nutné provádět bezpečnostní opatření podle plánu stanoveného na základě rozhodnutí vedení společnosti. Opatření k minimalizaci rizik musí být implementováno ve specifickém časovém rámci.

Vysoká a neočekávaná rizika vyžadují rychlou implementaci vhodných bezpečnostních opatření ke snížení rizika na přijatelnější úroveň a ke zmírnění rizika musí být přiděleny potřebné zdroje. Pokud je toto riziko spojeno s významnými nebezpečnými důsledky, mělo by být provedeno další posouzení, aby se přesněji určila pravděpodobnost zranění, jako základ pro identifikaci potřeby zlepšení a snížení rizika.

Velmi vysoké a nepřijatelné riziko je nejvyšší stupeň rizika s možností trvalého zranění, vážné nehody, vyžadující okamžité odstavení, odstavení pro pouze v případě, že jsou přijata nezbytná opatření a existuje riziko, bude nutné opatření vyhodnotit a aplikovat. Nezačínajte ani v práci nepokračujte, dokud se riziko nesníží. [42]



## 5.4.1 Analýza rizik pomocí metody PNH

Tabulka 7 Metoda PNH

Aktivum	Hrozba	Pravděpodobnost	Závažnost následků	Názor hodnotitelů	Riziko
Terminály	Požár	3	3	4	36
	Únik	2	4	3	24
	Kontakt s chladným palivem	5	4	4	80
Skladovací nádrže	Exploze	2	3	4	24
	Krádež	4	3	1	12
Distribuční síť	Poruchy	3	2	2	12
	Politický konflikt	1	2	3	6
Tankery	Dopravní nehoda	3	3	4	36
	Požár	1	3	4	12
	Únik	2	4	3	24
	Přepadení	2	3	1	6
	Technické problémy	2	2	3	12
Prostředky kamionové dopravy	Požár	3	3	4	36
	Únik	4	4	3	48
	Dopravní nehody	3	5	3	45
	Kontakt s chladným palivem	4	4	4	64
Čerpací stanice	Únik	2	4	3	24
	Požár	2	3	4	24

	Nedostatečná ventilace a větrání	3	2	3	18
	Kontakt s chladným palivem	5	4	4	80
	Technické poruchy	4	2	4	32

## 5.5 Bezpečnostní opatření hrozeb LNG

Hodnocení zabezpečení je systematický proces, který zahrnuje identifikaci, hodnocení a řízení rizik spojených s určitými aktivitami, procesy, infrastrukturou nebo událostmi. Cílem je snížit rizika a zlepšit bezpečnostní opatření, aby se předešlo nehodám, zraněním nebo fyzickým škodám a škodám na životním prostředí. Tento proces zahrnuje identifikaci hrozeb, analýzu pravděpodobnosti a důsledků, implementaci kontrolních opatření k minimalizaci rizik a průběžné sledování a kontrolu účinnosti těchto opatření, aby byla zajištěna jejich aktuálnost a platnost.

### 5.5.1 Terminály

Požáry na terminálech LNG jsou významným rizikem, které vyžaduje komplexní bezpečnostní opatření. Je nezbytné, aby byla stanice vybavena pokročilým detekčním systémem, který umožňuje rychlou detekci požárů. Pro okamžité uhašení požáru musí být k dispozici hasicí systémy, jako jsou pěnové nebo plynové hasicí přístroje a hasicí systémy s inertním plynem. Pravidelné školení hasičů a personálu stanice je zásadní pro správnou reakci na požár a účinnou evakuaci. Evakuační plány by měly být jasně definovány a pravidelně kontrolovány prostřednictvím cvičení. Je také důležité zajistit, aby okolí stanice bylo dostatečně chráněno požárními zónami a bezpečnostními bariérami, aby se minimalizovala možnost šíření požáru do okolních prostor.

Úniky LNG mohou představovat riziko výbuchu a uvolnění toxických látek do atmosféry. Preventivní opatření zahrnují pravidelnou kontrolu a údržbu potrubí a nádrží, instalaci detekčních systémů pro včasnou detekci úniků a vypracování pohotovostních plánů pro rychlou reakci.

Vystavení se studenému palivu (LNG) může způsobit vážné popáleniny a omrzliny. Ochranná opatření zahrnují používání vhodných ochranných oděvů pro zaměstnance, pravidelná školení o bezpečnostních postupech a vybavení pracoviště lékařským vybavením pro okamžitou první pomoc.

### 5.5.2 Skladovací nádrže

Výbuch nádrže by mohl mít vážné následky. Pro minimalizaci tohoto rizika je nutné provádět pravidelnou kontrolu a testování skladovacích nádrží, zavést přísné postupy manipulace s LNG a nasadit systémy detekce a prevence výbuchu.

Požár ve skladu LNG představuje vážné riziko pro personál, infrastrukturu a životní prostředí. Mezi klíčová opatření patří instalace systémů detekce a hašení požáru, plány školení a pravidelná evakuace hasičů. Zároveň je důležité zajistit vhodné nouzové východy a ochranné prostory v okolí stanice.

Krádež paliva LNG ze skladovacích nádrží může vést k vážným bezpečnostním incidentům. Preventivní opatření zahrnují fyzickou ostrahu objektu, instalaci sledovacích systémů a kamer, přísnou kontrolu vstupu a spolupráci s místními bezpečnostními složkami.

### 5.5.3 Distribuční síť

Výpadky distribuční sítě mohou narušit dodávky LNG a způsobit finanční ztráty. Je důležité mít systémy pro rychlou detekci a opravu poruch, nouzové plány distribuce plynu a pravidelnou údržbu distribuční infrastruktury.

Politický konflikt může ohrozit stabilitu a bezpečnost infrastruktury LNG. Preventivní opatření zahrnují spolupráci s vládními úřady, sledování politické situace, zajištění alternativních zásobovacích tras a zdrojů a vypracování plánů krizového řízení.

### 5.5.4 Tankery

Dopravní nehody tankerů mohou způsobit úniky LNG a následné požáry nebo výbuchy. Bezpečnostní opatření zahrnují výcvik posádky v nouzových postupech, pravidelnou údržbu plavidel, provádění přísných námořních postupů a spolupráci s pobřežní stráží.

Požáry tankerů LNG mohou být extrémně nebezpečné a mít katastrofální následky. Proto je nezbytné instalovat pokročilé detekční systémy na cisternách pro včasnou detekci požárů. Musí být k dispozici hasicí systémy, jako jsou pěnové nebo plynové hasicí přístroje, aby mohly rychle reagovat a uhasit požáry. Školení krizového managementu a evakuačních týmů

je nezbytné pro minimalizaci rizik. Pro předcházení požárům a zachování bezpečnosti je nezbytná také pravidelná a pečlivá údržba technického stavu cisteren a kontrola neporušenosti tankerů.

Úniky z tankeru mohou způsobit značné škody na životním prostředí. Mezi klíčová opatření patří pečlivá kontrola a údržba cisteren, instalace systémů detekce úniků a rychlé nasazení záchranných týmů a vybavení.

Únos tankeru by mohl vést k teroristickému útoku nebo přesměrování paliva. Preventivní opatření zahrnují ozbrojený doprovod, zavádění přísných bezpečnostních postupů, mezinárodní spolupráci při ochraně lodí a vybavení členů posádky komunikačními prostředky pro rychlé přivolání pomoci.

Technické problémy na tankerech LNG představují vážná rizika a vyžadují komplexní bezpečnostní opatření. Je důležité, aby na tankery byly instalovány pokročilé systémy monitorování a detekce poruch, aby bylo možné rychle odhalit jakékoli technické problémy. Posádky tankerů musí být pravidelně školeny, aby správně rozpoznávaly technické problémy a reagovaly na ně, včetně provádění nezbytných oprav nebo nouzových opatření. Pravidelná údržba a kontrola technického stavu cisteren je nezbytná pro předcházení nehodám a minimalizaci rizik. Záložní systémy a zařízení musí být také k dispozici pro případ selhání primárních systémů. Důležitou součástí bezpečnostního procesu je také spojení s pobřežními orgány a plánování mimořádných opatření v případě incidentu.

### **5.5.5 Prostředky kamionové dopravy**

Požáry během přepravy LNG kamiony mohou být extrémně nebezpečné, proto je nutné instalovat pokročilé detekční a preventivní systémy přímo na LNG kamiony. Školení řidičů o nouzových postupech a pravidelná údržba vozidla jsou zásadní pro minimalizaci rizika požáru. Je také důležité mít připravený evakuační plán a komunikovat s místním hasičským sborem ohledně možných reakcí.

Úniky LNG v nákladní dopravě mohou představovat riziko pro bezpečnost a životní prostředí. Proto je důležité nainstalovat na nákladní vozidlo detekční systém, který včas odhalí úniky a provádí pravidelnou údržbu a kontrolu vozidla. Školení řidičů a příprava na situace úniku LNG jsou nezbytné pro rychlou a efektivní reakci.

Nehody přepravy LNG mohou mít vážné následky, včetně úniku plynu a požáru. Proto je nezbytné, aby řidiči nákladních vozidel na LNG byli důkladně proškoleni v bezpečném

řízení a manipulaci s nákladem. Pravidelná údržba vozidla a sledování stavu vozovky jsou také důležitými opatřeními ke snížení rizika dopravních nehod.

Vystavení studenému palivu LNG může způsobit vážné zranění. Řidiči proto musí nosit ochranný oděv a rukavice. Pro minimalizaci rizika zranění je nezbytné důkladné školení o bezpečných postupech při manipulaci se studeným palivem. Neměl by chybět ani plán první pomoci a lékařské pomoci v případě potřeby.

### 5.5.6 Čerpací stanice

Úniky na čerpacích stanicích LNG představují vážná rizika a vyžadují účinná bezpečnostní opatření. Je nezbytné, aby čerpací stanice byly vybaveny pokročilými detekčními systémy pro rychlou detekci úniku plynu. Pro okamžité uhašení musí být k dispozici hasicí systémy, jako jsou hasicí přístroje s inertním plynem nebo pěnové hasicí systémy. Pravidelná údržba a kontrola čerpacích stanic je nezbytná pro prevenci úniků a minimalizaci rizik. Je také důležité zajistit, aby byl personál vyškolen v postupech úniku plynu a postupech evakuace.

Požáry na čerpacích stanicích LNG jsou extrémně nebezpečné a vyžadují okamžitou akci. Čerpací stanice musí být vybaveny pokročilými systémy a zařízeními pro detekci požáru, aby byly schopny rychle detekovat a uhasit požáry. Školení zaměstnanců o postupech hašení požáru a evakuace je zásadní pro minimalizaci rizik a zachování bezpečnosti. Je také důležité mít připravený evakuační plán a provádět pravidelná cvičení pro zvýšení připravenosti a efektivity v případě požáru.

Nedostatečná ventilace a větrání na čerpací stanici LNG může vést k hromadění výparů plynu a vzniku rizika výbuchu nebo otravy. Je nezbytné, aby čerpací stanice byly vybaveny účinnými ventilačními a ventilačními systémy, které pomáhají plynům rychle unikat a minimalizují rizika. Pravidelná údržba a kontrola ventilačních systémů je nezbytná pro udržení bezpečného prostředí pro zaměstnance a zákazníky.

Vystavení studenému palivu na čerpacích stanicích LNG může způsobit vážné zranění a je třeba přijmout opatření na ochranu personálu. Je důležité, aby zaměstnanci měli ochranný oděv a rukavice, aby se minimalizovalo riziko omrzlin a popálenin. Aby se předešlo nehodám, je nezbytné důkladné proškolení o bezpečné manipulaci se studeným palivem.

Technické problémy související s čerpacími stanicemi LNG vyžadují údržbu a zařízení pravidelně kontrolujte. Je důležité, aby čerpací stanice byly vybaveny monitorovacími a detekčními systémy pro rychlé odhalení technických problémů. Pravidelná údržba a

kontrola zařízení je nezbytná pro prevenci poruch a minimalizaci rizika provozních problémů. Kromě toho je důležité mít k dispozici nouzové plány a postupy pro řešení technických problémů a minimalizaci jejich dopadu na bezpečnost a provoz čerpacích stanic.

## 5.6 Bezpečnostní opatření

Hodnocení rizik LNG stanic je nepřetržitý a vysoce dynamický proces, ovlivněný řadou parametrů, např. vznikem a měnící se povahou hrozeb, vývojem nových technologií atd. V tomto smyslu je faktem, že rostoucí využívání a význam čerpacích stanic LNG zvyšuje riziko, a proto by měly být zváženy a využívány principy hodnocení rizik vybraných infrastrukturních systémů souvisejících s kritickou infrastrukturou a měkkými cíli. Zároveň je nutné respektovat sblížující se trendy přístupů, které jsou v tomto přístupu doplněny o hledisko spolehlivosti oproti příslušným normám. [43]

Bezpečnostní opatření proti nejčastěji zmíněným hrozbám souvisejícím s LNG patří různá opatření a postupy zaměřené na minimalizaci rizik a ochranu osob, majetku a životního prostředí. To zahrnuje instalaci pokročilých systémů detekce a prevence v přístavech, tankerech a čerpacích stanicích LNG, aby bylo možné rychle reagovat na požáry a úniky plynu. Důležité je také provádět pravidelná školení hasičů a personálu, ať už v nouzových postupech nebo evakuačních plánech, aby byli připraveni na mimořádné situace. Dalšími důležitými opatřeními jsou pravidelná údržba a kontrola techniky, spolupráce s bezpečnostními složkami a zavádění bezpečnostních postupů pro krizové situace, dále sledovací systémy a kamery pro sledování pohybu a činností, plánování tras a zajištění bezpečnosti dopravních koridorů pro přepravu LNG.

Bezpečnostní opatření zahrnují také zlepšení fyzického zabezpečení terminálů, skladů a čerpacích stanic s cílem minimalizovat riziko krádeží a přepadení. Důležitá je také pravidelná údržba vozidla a kontroly technického stavu, školení řidičů a posádky o bezpečné manipulaci s LNG a prevenci dopravních nehod. Kromě toho je nezbytné zajistit účinnou ventilaci a větrání na čerpacích stanicích LNG, aby se minimalizovalo riziko výbuchu a otravy, a poskytnout pracovníkům a personálu ochranné oděvy a rukavice a rovněž školení o bezpečnostních postupech při manipulaci se studeným palivem.

Tato opatření jsou nezbytná pro prevenci nehod a minimalizaci rizik spojených s manipulací s LNG. Proto je důležité, aby byly pravidelně aktualizovány a revidovány podle nejnovějších bezpečnostních norem a znalostí.

## ZÁVĚR

Bezpečnost a využití LNG v dopravě je inovativní a perspektivní směr ke zlepšení udržitelnosti a efektivity průmyslu. Přestože má zkapalněný zemní plyn (LNG) mnoho výhod, jako jsou nižší emise CO<sub>2</sub> a menší znečištění ovzduší ve srovnání s tradičními palivy, je důležité klást důraz na bezpečnostní aspekty jeho skladování, manipulace a přepravy. Tato práce analyzovala bezpečnostní aspekty používání LNG v dopravě a zdůraznila klíčové prvky, jako je kvalitní infrastruktura, pravidelná údržba zařízení, školení personálu a důsledné dodržování předpisů a norem. Zároveň představil potenciál LNG jako alternativního paliva pro silniční, lodní a železniční dopravu a zdůraznil nutnost dalšího výzkumu a inovací pro maximalizaci jeho využití. Je jasné, že pokroky v oblasti LNG nabízejí příležitosti ke snížení emisí skleníkových plynů a zlepšení kvality ovzduší v souladu s globálním úsilím o ochranu životního prostředí. Využití LNG však vyžaduje koordinovaný a systematický přístup ke zlepšení bezpečnosti a řízení rizik, aby se minimalizovala potenciální nebezpečí spojená s manipulací a používáním. Vzhledem k dynamickému vývoji technologií a potřebám trhu je nutné, aby dopravní průmysl, regulační orgány a vědecká komunita spolupracovali na stanovení standardů a osvědčených postupů, které maximalizují přínosy LNG a minimalizují rizika spojená s jeho používáním. Jen tak lze zajistit, aby přechod na LNG v dopravě měl pozitivní dopad na životní prostředí a zároveň zajistil vysokou míru bezpečnosti pro všechny zúčastněné strany.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] UFEK, Zdeněk, Petr BENEŠ, Jiří POSPÍŠIL, Jiří ŠKORPÍK, Václav ŽIVEC a Milan MARTINKA. *Využití LNG v dopravě a energetice a jeho bezpečnost*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. ISBN 9788076230163.
- [2] *LNG vs CNG*, 2013. Online. CNG. Dostupné z: <https://www.cngplus.cz/lng-vs-cng.html>. [cit. 2024-01-05].
- [3] *The United States was the world's largest liquefied natural gas exporter in 2023*, 2024. Online. U.S. Energy Information Administration. 1.4.2024. Dostupné z: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=61683#:~:text=The%20United%20States%20exported%20more,from%20our%20Natural%20Gas%20Monthly>. [cit. 2024-05-22].
- [4] *Zkapalněný zemní plyn (LNG)*, 2015. Online. O energetice. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/zkapalneny-zemni-plyn-lng>. [cit. 2024-01-06].
- [5] *Co je LNG*, 2022. Online. LNG. Dostupné z: <https://www.lng.cz/co-je-lng>. [cit. 2024-01-06].
- [6] *PŘEHLEDNĚ: Zkapalněný zemní plyn LNG. Jak probíhá import, kde leží terminály a co je CNG*, 2022. Online. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/prehledne-zkapalneny-zemni-plyn-lng-jak-probiha-import-kde-lezi-terminaly-a-co-je-cng-1390105>. [cit. 2024-01-07].
- [7] *VYUŽITÍ LNG V DOPRAVĚ A ENERGETICE A JEHO BEZPEČNOST – SBORNÍK LNG KONFERENCE 2021*, 2021. Český plynárenský svaz. ISSN 0032-1761.
- [8] *Nové německé LNG terminály budou klíčové pro zajištění plynu v nejbližších letech*, 2022. Online. O energetice. 19.11.2022. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/nove-nemecke-lng-terminaly-budou-klicove-pro-zajisteni-plynu-v-nejblizsich-letech>. [cit. 2024-05-22].
- [9] *4 aktuální mýty o LNG v nákladní dopravě*. Online. LNG. Dostupné z: <https://www.lng.cz/kontakty/novinky/2022/07/4-myty-o-lng>. [cit. 2024-05-14].
- [10] *LNG v nákladní dopravě je odpovědí na emisní povolenky, jen loni ušetřilo LNG od GasNetu 2 485 tun emisí CO<sub>2</sub>*, 2023. Online. LNG. 1.3.2023. Dostupné z: <https://www.lng.cz/kontakty/novinky/2023/03/lng-emisni-povolenky>. [cit. 2024-05-16].
- [11] *První v ČR: GasNet zahájil prodej bioLNG*, 2023. Online. LNG. 6.11.2023. Dostupné z: <https://www.lng.cz/kontakty/novinky/2023/11/otevreni-klecany>. [cit. 2024-05-16].



- [12] *Eurowag otevřel 2 nové LNG stanice, v Česku je jich nyní celkem 7*, 2023. Online. Eurowag. 9.1.2023. Dostupné z: <https://cz.eurowag.com/tiskove-zpravy/eurowag-otevrel-2-nove-lng-stanice-v-cesku-je-jich-nyni-celkem-7>. [cit. 2024-05-17].
- [13] *Dovoz plynu do České republiky klesl v prvním pololetí roku 2023 na nulu. Zásoby zůstávají rekordní*, 2023. Online. 19.7.2023. Dostupné z: <https://www.mpo.gov.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/dovoz-plynu-do-ceske-republiky-klesl-v-prvnim-pololetu-roku-2023-na-nulu--zasoby-zustavaji-rekordni--275666/>. [cit. 2024-05-16].
- [14] *Noční měra ropných šejků se jmenuje frakování. USA se mohou stát z dovozce ropy vývozcem*, 2018. Online. Deník N. 30.11.2018. Dostupné z: <https://denikn.cz/28922/nocni-mura-ropnych-sejku-se-jmenuje-fracovani-usa-se-mohou-stat-z-dovozce-ropy-vyvozcem/>. [cit. 2024-05-22].
- [15] *Je LNG novou nadějí na cenově dostupný plyn?* Online. Dostupné z: <https://www.plyn.cz/zkapalneny-zemni-plyn>. [cit. 2024-05-14].
- [16] *What is liquefied natural gas?*, 2022. Online. NationalGrid. Dostupné z: <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-is-liquefied-natural-gas-lng>. [cit. 2024-01-07].
- [17] *Zásoby LNG v tankerech u břehů Evropy se tenčí. Důvodem je začátek topné sezóny*. Online. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/zasoby-lng-v-tankerech-u-brehu-evropy-se-tenci-duvodem-je-zacatek-topne-sezony>. [cit. 2024-05-14].
- [18] *Pravda o LNG: není moc drahé ani nedostupné, do Česka jej lze dopravit už dnes*. Online. Ekonomický deník. Dostupné z: <https://ekonomickydenik.cz/pravda-o-lng-neni-moc-drahe-ani-nedostupne-do-ceska-jej-lze-dopravit-uz-dnes/>. [cit. 2024-05-14].
- [19] TUSIANI, Michael D. a Gordon SHEARER. *LNG: After the Pandemic. Tulsa, Oklahoma: PennWell Corporation*, 2023. ISBN 9781955578127.
- [20] *Jak zvýšit využívání alternativních paliv v automobilech*, 2022. Online. 19.10.2022, 28.9.2023. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/topics/cs/article/20221013STO43019/jak-zvysit-vyuzivani-alternativnich-paliv-v-automobilech>. [cit. 2024-05-18].
- [21] *Alternativní paliva v dopravě*, 2023. Online. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/alternativni\\_paliva\\_doprave](https://www.mzp.cz/cz/alternativni_paliva_doprave). [cit. 2024-01-07].
- [22] *Alternativní paliva motorových vozidel a potenciál jejich požáru a výbuchu*, 2020. Online. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/21570-alternativni-paliva-motorovych-vozidel-a-potencial-jejich-pozaru-a-vybuchu>. [cit. 2024-01-07].

- [23] ŠTĚRBA, Pavel. *Automobily s pohonem na LPG: typové a individuální přestavby, ekonomická návratnost, opravy a doporučení pro majitele vozidel*. CPres, 2013. ISBN 9788026401483.
- [24] *Co jsou biopaliva*. Online. Preol. Dostupné z: <https://www.preol.cz/info-pro-verejnost/co-jsou-biopaliva>. [cit. 2024-05-18].
- [25] Plyn: *Odborný měsíčník pro plynárenství*, 2021. Roč. 2021, č. 2. Praha: A.L.L. Production. ISSN 0032-1761.
- [26] *Jak funguje elektromobil a jaké jsou jeho výhody?*, 2021. Online. 4.1.2021. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/clanky/jak-funguje-elektromobil-a-jake-jsou-jeho-vyhody-148953>. [cit. 2024-05-18].
- [27] *Vodík - palivo budoucnosti?*, 2021. Online. 13.5.2021. Dostupné z: <https://www.spolecne-udrzitelne.cz/aktuality/inspirace/vodik-palivo-budoucnosti/>. [cit. 2024-05-18].
- [28] *Vodík jako palivo*. Online. Dostupné z: <https://www.linde-gas.cz/cs/hydrogen/h2-mobility.html>. [cit. 2024-05-18].
- [29] *Co je CNG*. Online. Dostupné z: <https://www.cng.cz/o-cng/co-je-cng>. [cit. 2024-05-18].
- [30] *3 Základní rozdíly mezi LPG a CNG*. Online. Dostupné z: <https://www.plyn.cz/rozdily-mezi-lpg-a-cng>. [cit. 2024-05-18].
- [31] *Syntetická paliva*. Online. ČESKÁ ASOCIACE PETROLEJÁŘSKÉHO PRŮMYSLU A OBCHODU. Dostupné z: <https://www.cappo.cz/pohonne-hmoty-a-energie-promobilitu/synteticka-paliva>. [cit. 2024-05-18].
- [32] *Kde se bere LNG a 2 další fosilní plyny*, 2023. Online. 17.1.2023. Dostupné z: <https://www.plyn.cz/kde-se-bere-lng-a-2-dalsi-fosilni-plyny>. [cit. 2024-05-19].
- [33] TUSIANI, Michael D. a Gordon SHEARER. *LNG: fuel for a changing world: a nontechnical guide*. 2ND Edition. Tulsa, Oklahoma: PennWell Corporation, 2016. ISBN 9781593703691.
- [34] *LIQUEFIED NATURAL GAS (LNG)*. Online. Student Energy. Dostupné z: <https://studentenergy.org/transport/liquefied-natural-gas-lng/>. [cit. 2024-05-19].
- [35] *Skikda Explosion* 2004. Online. 19. 1. 2004. Dostupné z: [https://processsafetyintegrity.com/events/2004-01-19\\_skikda/](https://processsafetyintegrity.com/events/2004-01-19_skikda/). [cit. 2024-05-21].
- [36] *Analýza rizik*. Online. Vlastní cesta. Dostupné z: <https://vlastnicesta.cz/slovník-pojmu/analýza-rizik/>. [cit. 2024-04-25].
- [37] *Co je aktivum*. Online. Aptien. Dostupné z: <https://aptien.com/cs/kb/articles/what-is-asset>. [cit. 2024-05-12].

- [38] LUKÁŠ, Luděk. *Bezpečnostní technologie, systémy a management*. Zlín: Radim Bačuvčík - VeRBuM, 2015. ISBN 978-80-87500-19-4.
- [39] *Riziko*, 2024. Online. Ministerstvo vnitra České republiky. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/riziko.aspx>. [cit. 2024-05-14].
- [40] *Co je riziko*. Online. Aptien. Dostupné z: <https://aptien.com/cs/kb/articles/what-is-risk>. [cit. 2024-05-14].
- [41] FEI VŠB-TU Ostrava. *Rizika a jejich minimalizace* [Prezentace]. Dostupné z: <https://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Magisterske%20nav/prednasky/web/RIZIKA.pdf> [cit. 2024-05-14].
- [42] KOUDELKA, Ctirad a Václav VRÁNA. *Rizika a jejich analýza* [online]. Ostrava, 2006 [cit. 2024-5-19]. Dostupné z: <https://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Magisterske%20nav/prednasky/web/RIZIKA.pdf>.  
Přednáška. VŠB – TU Ostrava.
- [43] HROMADA, Martin a David ŘEHÁK, *Zásady pro projektování a bezpečné provozování LNG čerpacích stanic: Metodika hodnocení rizikovosti LNG stanic*. Praha: Technologická platforma Energetická bezpečnost ČR, 2020.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

LNG	Liquefied Natural Gas
CNG	Compressed Natural Gas
°C	Stupeň Celsia
Pa	Pascal (jednotka tlaku)
MJ/kg	Megajouly na kilogram (jednotka energie na hmotnost)
MJ/l	Megajouly na litr (jednotka hustoty energie)
Mld	Miliarda
m <sup>3</sup>	Kubický metr (objem)
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
NO <sub>x</sub>	Oxidy dusíku
ČR	Česká republika
D1	Dálnice v České republice číslo 1 (Praha – Brno)
D8	Dálnice v České republice číslo 8 (Praha – Ústí nad Labem)
mil.	Milion
MWh	Megawatthodina (jednotka elektrické energie)
FAME	Estery mastných kyselin
E85	Bioetanolový benzín ČEZ – České energetické závody
Km	Kilometr
Kč	Koruna česká (měna)
H <sub>2</sub>	Vodík
Km/h	Kilometry za hodinu (rychlost)
EU	Evropská unie
Kg	Kilogram (hmotnost)
kWh	Kilowatthodina (jednotka elektrické energie)

IGC	International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (Mezinárodní kodex konstrukce a vybavení lodí přepravujících hromadně zkapalněné plyny)
ETA	(Event tree analysis) - Analýza stromu událostí
FTA	(Fault Tree Analysis) - Analýza stromu poruchových stavů
PHA	(Preliminary Hazard Analysis) - Analýza nebezpečí
HAZOP	(Hazard and Operability Study) – Analýza nebezpečnosti a provozovatelnosti
HACCP	Analýza rizik a kontrol bodů kritického ovlivnění (Hazard Analysis and Critical Control Points)
FMECA	Analýza závad, důsledků a kritičnosti (Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis)

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Znázornění základní infrastruktury [1] .....	12
Obrázek 2 Přehled vlastností LNG [1] .....	13
Obrázek 3 Rozmístění stanic LNG [7] .....	18
Obrázek 4 Cyklus C3MR [4] .....	31
Obrázek 5 Schéma přepravního řetězce [7] .....	35
Obrázek 6 MATERIAL SAFETY DATA SHEET – Irving Oil Refining G.P. Saint John, USA [7] .....	37

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Aktiva .....	41
Tabulka 2 Hrozby .....	43
Tabulka 3 Pravděpodobnost hrozby .....	45
Tabulka 4 Závažnost následků.....	46
Tabulka 5 Názor hodnotitele.....	47
Tabulka 6 Riziko.....	47
Tabulka 7 Metoda PNH .....	49