

# Bezpečnost a využití LNG v energetice

Skopal Pavel

---

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: Pavel Skopal  
Osobní číslo: A21307  
Studijní program: B1032A020001 Bezpečnostní technologie, systémy a management  
Forma studia: Kombinovaná  
Téma práce: Bezpečnost a využití LNG v energetice  
Téma práce anglicky: Security and Use of LNG in Energetics

## Zásady pro vypracování

1. Popište základní infrastrukturu LNG technologie.
2. Uvedte bezpečnostní požadavky na výstavbu a konstrukci LNG stanic.
3. Popište přepravní řetězec LNG.
4. Uvedte relevantní právní a strategické dokumenty z pohledu využití LNG v energetice.
5. Provedte srovnání s jinými typy energetických surovin.

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 978-80-7623-016-3.
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. Energetická bezpečnost – geopolitické souvislosti: (projekt Nadace ČEZ). Praha: Vysoká škola mezinárodních a veřejných vztahů Praha, 2008. ISBN 9788086946917.
4. TUSIANI, Michael D. a Gordon SHEARER. LNG: After the Pandemic. Tulsa, Oklahoma: PennWell Corporation, 2023. ISBN 9781955578127.
5. LNG fire protection and emergency response: a collection of booklets describing hazards and how to manage them. 2nd ed. BP fire safety series. Rugby: Institution of Chemical Engineers, 2007. ISBN 9781615835010.

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

.....

podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zaměřuje na rozbor bezpečnosti a využití zkapalněného zemního plynu (LNG) v energetickém sektoru. Představuje komplexní přehled základní infrastruktury LNG, včetně procesů zkapalňování, skladování, regasifikace a distribuce. Klíčovým aspektem práce je detailní prozkoumání bezpečnostních požadavků a norem, které jsou nezbytné pro výstavbu a provoz LNG konstrukcí, přičemž jsou zdůrazněna specifická rizika spojená s manipulací a skladováním LNG. Dále je představen přepravní řetězec LNG, od výroby po konečného spotřebitele, s důrazem na logistické a bezpečnostní výzvy. Nakonec je provedeno srovnání LNG s jinými plynnými energetickými zdroji, jako jsou zkapalněný ropný plyn (LPG), stlačený zemní plyn (CNG), zemní plyn (NG) a Biometan s ohledem na efektivitu, ekonomiku, dostupnost, dopady na životní prostředí a bezpečnost. Tato práce nabízí ucelený pohled na důležitý a stále se vyvíjející segment energetického trhu a zdůrazňuje významné aspekty v oblasti bezpečnosti a udržitelnosti v rámci tohoto sektoru.

Klíčová slova: LNG, energetický sektor, bezpečnostní normy v energetice, infrastruktura LNG, srovnání energetických zdrojů

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis focuses on the analysis of the safety and utilization of liquefied natural gas (LNG) in the energy sector. It provides a comprehensive overview of the basic LNG infrastructure, including liquefaction, storage, regasification, and distribution processes. A key aspect of the work is a detailed examination of the safety requirements and standards essential for the construction and operation of LNG facilities, highlighting specific risks associated with handling and storing LNG. Additionally, the LNG transportation chain is presented, from production to the end consumer, with an emphasis on logistical and safety challenges. Finally, a comparison of LNG with other gaseous energy sources such as LPG, CNG, NG, and Biomethane is conducted, considering efficiency, economy, availability, environmental impacts, and safety. This thesis offers a comprehensive view of an important

and evolving segment of the energy market, emphasizing significant aspects of safety and sustainability within this sector.

Keywords: LNG, energy sector, safety standards in energy, LNG infrastructure, comparison of energy sources

Chtěl bych vyjádřit své nejhlubší poděkování všem, kteří přispěli k úspěšnému dokončení této bakalářské práce. Především děkuji svému vedoucímu práce, Ing. Tomáši Martínkovi, Ph.D. za jeho cenné rady, trpělivost a odborné vedení během celého výzkumného procesu. Jeho odbornost a podnětné připomínky byly klíčové pro formování této práce. Dále bych rád poděkoval fakultě aplikované informatiky a jejím zaměstnancům jejichž zdroje a podpora byly nezbytné pro mou akademickou cestu. Velké díky patří také mým spolužákům a přátelům, kteří mi poskytli motivaci a prostor pro výměnu nápadů. Jejich společnost činila mé akademické snažení příjemným a plodným. Nesmím opomenout poděkovat své rodině, která mi poskytla neochvějnou podporu a povzbuzení. Jejich víra v mé schopnosti a neustálé povzbuzování byly základem mé vytrvalosti. Na závěr děkuji všem autorům a výzkumníkům, jejichž publikace jsem v této práci citoval. Jejich práce byla nezbytná pro dokončení mého výzkumu. Tato práce by nebyla možná bez kolektivní podpory a povzbuzení každého jednotlivce, kterého jsem zmínil, a za to jsem věčně vděčný.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské 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 ÚVOD DO LNG TECHNOLOGIE.....	12
1.1.1 Význam a role LNG v současném energetickém sektoru .....	12
1.1.2 Základní přehled procesů a technologií spojených s LNG .....	13
1.2 ZKAPALŇOVÁNÍ ZEMNÍHO PLYNU.....	14
1.2.1 Zkapalňovací závody .....	14
1.2.2 Kaskádová technologie zkapalnění .....	15
1.2.3 AP-C3MR technologie.....	15
1.3 SKLADOVÁNÍ A TRANSPORT LNG .....	16
1.3.1 Typy zásobníků .....	17
1.3.2 LNG tankery.....	18
1.3.3 Převaha zemního plynu potrubní sítí .....	19
1.4 REGASIFIKACE .....	21
<b>2 BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY NA VÝSTAVBU A KONSTRUKCI LNG INFRASTRUKTURY</b> .....	<b>23</b>
2.1 OBECNÉ POŽADAVKY NA KONSTRUKCI LNG STANIC .....	23
2.1.1 Budovy a stavby .....	23
2.1.2 Materiál .....	24
2.2 UMÍSTĚNÍ JEDNOTLIVÝCH KOMPONENTŮ LNG STANICE .....	24
2.2.1 Odpařovací zařízení .....	24
2.2.2 Sekce komprimovaného zemního plynu .....	25
2.2.3 Elektrická zařízení.....	25
2.2.4 Infrastruktura.....	25
2.2.5 Odpařovací zařízení .....	26
2.3 SKLADOVÁNÍ LNG.....	26
2.3.1 Vnitřní kontejner .....	26
2.3.2 Upevňovací systém .....	27
2.3.3 Drenážní systém .....	27
2.3.4 Trubky a ventily .....	27
2.4 SYSTÉMY KONTROLY .....	28
2.4.1 Detektory plynu.....	28
2.4.2 Hlásiče požáru .....	28
2.4.3 Zařízení pro nouzové vypnutí (ESD) .....	28
2.5 ŘÍZENÍ RIZIK.....	29
2.5.1 Tlak .....	29
2.5.3 Zdroje vznícení.....	29
2.5.4 Ochrana proti vzniku požár .....	29



2.5.5	Ochrana proti vzniku výbuchu .....	30
2.6	OBECNÉ POŽADAVKY NA KONSTRUKCI PLYNOVODŮ .....	30
2.6.1	Materiály .....	32
2.6.2	Konstrukce .....	32
2.6.3	Bezpečnostní opatření .....	33
2.6.4	Bezpečnostní značky a barvy .....	34
2.6.5	Ekologické a environmentální požadavky .....	35
2.6.6	Prevence koroze a ochranné prvky .....	36
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>38</b>
<b>3</b>	<b>SROVNÁNÍ ENERGETICKÝCH PLYNŮ.....</b>	<b>39</b>
3.1	LNG: DEFINICE A VLASTNOSTI .....	40
3.2	CNG: DEFINICE A VLASTNOSTI .....	41
3.2.1	Porovnání CNG s LNG .....	42
3.3	LPG: DEFINICE A VLASTNOSTI .....	42
3.3.1	Porovnání LPG s LNG .....	43
3.4	NG: DEFINICE A VLASTNOSTI.....	44
3.4.1	Porovnání NG s LNG.....	44
3.5	BIOMETAN: DEFINICE A VLASTNOSTI .....	45
3.5.1	BioLNG.....	46
3.5.2	Porovnání biometanu s LNG.....	46
<b>4</b>	<b>PROGNÓZA.....</b>	<b>49</b>
4.1	POZITIVNÍ PROGNÓZA.....	50
4.2	NEGATIVNÍ PROGNÓZA.....	51
4.3	REALISTICKÝ VÝHLED DO BUDOUCNA.....	53
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>63</b>

## ÚVOD

V současné době, kdy se celý svět potýká s neustálými výzvami v oblasti energetiky, se stává LNG stále důležitějším hráčem na energetickém trhu. Tato bakalářská práce se zaměřuje na klíčové aspekty bezpečnosti a využití LNG v energetice, přičemž klade důraz na komplexní porozumění jeho roli a potenciálu.

V teoretické části je představena základní infrastruktura LNG technologie, včetně procesů zkapalňování, skladování a transportu zemního plynu. Dále jsou zkoumány bezpečnostní normy a standardy, které regulují stavbu a provoz zařízení na LNG. Tato část se snaží poskytnout detailní vhled do technologických a bezpečnostních aspektů LNG, které jsou klíčové pro jeho efektivní a bezpečné využívání.

Praktická část práce se věnuje komparativní analýze LNG, LPG, CNG, NG a biometanu. Tato analýza je zaměřena na porovnání efektivity, ekonomických aspektů, dopadů na životní prostředí a bezpečnostních rizik spojených s každým z těchto zdrojů energie.

V závěru práce je prezentována osobní prognóza budoucího vývoje využití LNG v energetice. Tato prognóza se opírá o analýzu současných trendů, technologický pokrok a změny v globálním energetickém kontextu. Cílem je poskytnout ucelený pohled na možné směřování energetiky, ve které by LNG mohlo hrát stěžejní roli, a identifikovat klíčové faktory, které budou ovlivňovat jeho budoucí využití.

Tato práce nabízí komplexní pohled na LNG jako na důležitý energetický zdroj, který má potenciál přispět k diverzifikaci energetických zdrojů a zároveň řešit některé z největších výzev, kterým dnešní energetický sektor čelí.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ZÁKLADNÍ INFRASTRUKTURA LNG TECHNOLOGIE

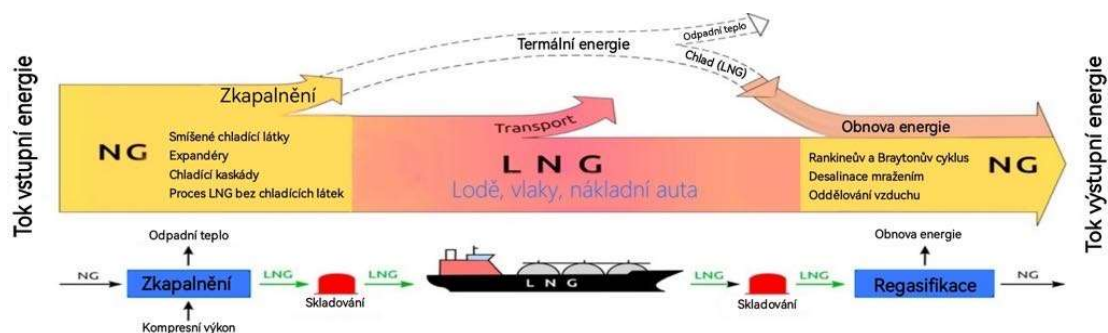
Tato kapitola poskytuje základní přehled a analýzu klíčových komponent a technologických procesů spojených s LNG. Přestože je LNG již dlouho známé pro svou účinnost a čistotu jako zdroj energie, jeho význam i nadále dramaticky roste v souvislosti s globálními snahami o snížení emisí.

Cílem této kapitoly je poskytnout ucelený pohled na komplexní procesy a technologie spojené s LNG, které stojí v pozadí jeho rostoucí popularity jako klíčového hráče v energetickém průmyslu.

### 1.1 Úvod do LNG technologie

Zkapalněný zemní plyn, taktéž známý jako LNG, je formou zemního plynu, která je ochlazená na extrémně nízkou teplotu a to zhruba  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aby se převedla z plynného stavu na kapalný. Tímto procesem ochlazení dochází k zvýšení hustoty plynu zhruba  $600 \times$  na  $400\text{ kg/m}^3$ , což má za následek zvýšení efektivity skladování a přepravy. LNG je složen převážně z metanu s malým množstvím dalších uhlovodíků a je známé, jak svou čistotou, tak vysokou energetickou hodnotou. [1]

Jeho klíčovou výhodou je schopnost zásobovat trhy, které nejsou přímo připojené k plynovodním sítím, čímž umožňuje diverzifikaci zdrojů energie spolu se snížením závislosti na jednotlivých dodavatelích plynu. Navíc díky nižším emisím skleníkových plynů, vůči alternativním zdrojům energie je LNG považováno jako přechodný krok k udržitelnější energetické budoucnosti. [2]



Obrázek 1. Znárodnění dílčích energetických transformací technologie LNG [1]

#### 1.1.1 Význam a role LNG v současném energetickém sektoru

V současné době je zemní plyn, a zejména jeho zkapalněná forma, považován mnohými za palivo budoucnosti. Historicky, když při vrtání ropné společnosti objevily plyn místo ropy,

považovalo se to za neúspěch. Tento plyn se mnohdy musel vstříkovat zpět do země nebo spalovat, což bylo ze strany ropných společností neefektivní a bralo se to za plýtvání. Společnosti museli najít alternativní využití pro plyn. V důsledku toho byli realizovány projekty na LNG. S růstem ceny ropy se LNG stalo ekonomicky přitažlivější. [3]

Nyní společnosti při nalezení ropy doufají i v nalezení zásobíšť plynu. Poptávka po ropě se čím dál tím zvětšuje, ale zásoby jsou neustále omezenější, a proto se zemní plyn stává nejživotoschopnější energetickou alternativou. [3]

Díky technologickému pokroku a zlepšení komerční zralosti se LNG stává více atraktivnější a ekonomičtější možností. LNG je stále důležitější součástí světového energetického mixu, což je poměr, při kterém se k výrobě elektřiny využívají zdroje. LNG je nejrychleji rostoucím segmentem světového průmyslu s uhlovodíky, a málo co nasvědčuje, že by se tento trend měl v nejbližší době změnit. [3]

LNG nemusí být vždy nejlepší volbou pro komercializaci zemního plynu. Za předpokladu, kdy jsou plynová pole příliš velká a odlehlá, může být výhodnější možnost pro společnost, která těží ropu nechat plyn přímo v zemi. Často jsou zásoby plynu příliš vzdálené od životaschopného trhu, aby odůvodnily obrovské náklady na rozvoj. Nicméně pokles nákladů, rostoucí ceny, neustálé zdokonalování technologie a rozšiřování trhů vedou vývojáře k znovu přezkoumání některých jejich odlehlých rezerv. [3]

### 1.1.2 Základní přehled procesů a technologií spojených s LNG

Základní infrastruktura LNG zahrnuje několik klíčových procesů a technologií, které umožňují efektivní využití plynu v jeho kapalném stavu. Tyto procesy a technologie mohou být rozděleny do několika hlavních částí:

- 1. Extrakce a předzpracování plynu:** Tento krok zahrnuje samotnou těžbu zemního plynu z jeho podzemních ložisek a jeho následné předzpracování, kterým odstraníme nečistoty a jiné složky, které ovlivní vlastnosti LNG. [4]
- 2. Zkapalnění:** Zkapalnění je klíčovým procesem, kdy se zemní plyn ochladí na teplotu  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aby se převedl z plynného stavu do stavu kapalného. Tento proces se obvykle provádí ve zkapalňovacích stanicích pomocí různých technologií. [4]
- 3. Skladování a nakládka:** Po zkapalnění bývá LNG skladováno a převáženo ve speciálních nádržích a tankerech, které jsou navrženy tak, aby udržely nízké teploty. [4]

4. **Přeprava:** LNG je přepravováno pomocí LNG tankerů na velké vzdálenosti, což umožňuje dodávat plyn do oblastí, které nejsou připojeny k plynovodním sítím. [4]
5. **Regasifikace a distribuce:** Po příjezdu do cílového místa je LNG regasifikováno, tj. převedeno zpět do plynného stavu v regasifikačních terminálech. Poté je distribuováno do plynovodní sítě a dále ke konečným spotřebitelům. [4]

## 1.2 Zkapalňování zemního plynu

Zkapalnění zemního plynu je klíčovým procesem v celém životním cyklu LNG. Tento proces přeměňuje zemní plyn z plynného stavu do kapalné formy, což umožňuje efektivnější skladování a přepravu na delší vzdálenosti.

### 1.2.1 Zkapalňovací závody

De facto srdce celého procesu zpracování LNG je zkapalňovací závod. Zkapalňovací závody jsou sestaveny z několika paralelních výpočetních jednotek, které se nazývají vlaky. Tyto vlaky mají za úkol zpracovat plyn a následně ho zkapalnit. Maximální kapacita každého vlaku je určena velikostí zařízení, jako jsou výměníky tepla a plynové nebo parní turbíny, které pohánějí kompresory nezbytné pro proces zkapalnění. Většina zkapalňovacích jednotek využívá pro proces zkapalnění buď AP-C3MR technologii, nebo Kaskádovou technologii. Kromě těchto dvou hlavních metod se v některých zkapalňovacích zařízeních, ač v menší míře, uplatňují také jiné procesy, jako je proces s dvojitým smíšeným chladičem (DMR) což je technologie od firmy Shell a technologické řešení společnosti Linde. [4]

Zařízení používané v procesu zkapalňování se skládá z kompresorů a výměníků tepla. V těchto výměnících dochází k přenosu tepla z přicházejícího plynu na chladicí média, jako je například propan, etylen nebo jejich směsi. Tato chladicí média následně odvádějí teplo do vnějšího chladicího systému, který může být vzduchový, vodní, nebo kombinace obou. Existuje mnoho specifických procesů, ale celkově jsou koncepty a náklady těchto procesů podobné. V dřívějších zařízeních byly kompresory obvykle poháněny parními turbínami, ale v současnosti se jako standardní pohon pro kompresory používají plynové turbíny. [3]

Velice důležitá součást celého závodu jsou také zásobníky plynu a nakládací zařízení. Ochlazený plyn musí být skladován ve dvojitých stěnách a izolovaných nádržích navržených tak, aby udržely LNG v chladu až do jeho naložení na LNG tankery. [1] [2]

### 1.2.2 Kaskádová technologie zkapalnění

Kaskádový proces zkapalnění zemního plynu je sofistikovaná technika, která využívá sérii chladicích cyklů s různými chladivými k postupnému snižování teploty zemního plynu na bod, kdy dochází k jeho zkapalnění. Tato metoda je významná pro svou efektivitu a schopnost dosáhnout extrémně nízkých teplot potřebných pro produkci LNG. Před zahájením kaskádového procesu musí být surový zemní plyn předzpracován, aby se odstranily nečistoty, jako jsou voda, oxid uhličitý a síra, které by mohly způsobit korozní škody nebo zablokovat chladicí systém. Po této úpravě je plyn připraven k průchodu kaskádovým zkapalňovacím procesem. V prvním cyklu je vstupní plyn stlačen na vysoký tlak a ochlazen na teplotu okolo  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  pomocí propanového chladiva. Propan je kondenzován za vysokého tlaku s využitím chladicího média, obvykle vzduchu nebo vody. Tato kondenzovaná kapalina je poté expandována prostřednictvím drosselového ventilu, kde dochází k výraznému poklesu tlaku a teploty, což umožňuje kapalnému propanu absolutně se vypařit a efektivně ochladit vstupní plyn a methanové chladicí proudy. Tyto chladicí proudy jsou následně použity pro kondenzaci ethylenového chladiva ve druhém cyklu. Vypařený propan je opětovně stlačen do svého původního tlaku, čímž se uzavírá tento chladicí cyklus. Ve druhém cyklu je vstupní plyn dále ochlazen na přibližně  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  pomocí ethylenového chladicího cyklu. V tomto kroku ethylen funguje nejen jako chladivo, ale je také použit ke kondenzaci methanového chladiva, které se využívá v následujícím, třetím chladicím cyklu. Ve třetím a závěrečném chladicím cyklu dochází k expanzi metanového chladiva pod vysokým tlakem, což plyn ochladí na teplotu zkapalnění, okolo  $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tato extrémně nízká teplota je nezbytná pro přeměnu zemního plynu v tekutou formu, což je finální produkt LNG. [3]

### 1.2.3 AP-C3MR technologie

Technologie C3-MR (Směsné chladivo předchlazené propanem) pro zkapalnění zemního plynu je předním průmyslovým řešením využívaným ve více než 80 % LNG projektů po celém světě. Tato technologie využívá unikátní systém směsného chladiva, který obsahuje několik komponent jako dusík, metan, etan, propan, butan a pentan. Systém umožňuje efektivní kondenzaci a vypaření zemního plynu v jednom cyklu přes široký rozsah teplot. Proces zkapalnění začíná předchlazením suchého, ošetřeného plynu na teplotu okolo  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  pomocí propanového chladiva. Toto předchlazení slouží primárně ke kondenzaci těžkých uhlovodíků a některých frakcí LPG, které jsou následně odděleny. Tyto složky mohou být

buď re inkorporovány zpět do vstupního plynu pro zkapalnění, anebo prodány jako samostatné produkty. Tento krok nejen optimalizuje výrobní proces, ale také zvyšuje energetickou účinnost celého systému. Po předchlazení je plyn poslán do hlavního kryogenního výměníku tepla (MCHE), který je klíčovým komponentem pro další kondenzaci a podchlazení plynu pod zvýšeným tlakem. MCHE obsahuje tisíce malých spirálovitě stočených trubek, kterými prochází předchlazený zemní plyn a směsné chladivo. V tomto zařízení dochází k dalšímu ochlazení a kondenzaci zemního plynu. Směsné chladivo, které vystupuje na dvou úrovních v MCHE, je přivedeno přes drosselové ventily do pláště MCHE. Zde chladivo proudí vnější stranou trubek a vypařuje se, čímž poskytuje potřebné chlazení pro tekutiny uvnitř trubek. Nízkotlaká pára směsného chladiva opouští spodní část MCHE při teplotě okolo  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  a je znovu komprimována ve vícestupňovém kompresoru na tlak přibližně 650 *psi*. Mezi jednotlivými stupni komprese je poskytováno chlazení, obvykle vodou nebo vzduchem, což zlepšuje efektivitu kompresoru a snižuje energetickou náročnost celého systému. Po kompresi je tok směsného chladiva dále předchlazen propanovým chladivem, než se vrátí do trubkové části MCHE pro další cyklus. Tento uzavřený oběh zajišťuje kontinuální chlazení a kondenzaci vstupního plynu, což je klíčové pro udržení efektivní a stabilní produkce LNG. [3]

### 1.3 Skladování a transport LNG

Klíčovou výhodou LNG je jeho vysoká energetická hustota na objem, což je významným přínosem pro jeho přepravu a skladování. Převážně se LNG přepravuje na velmi dlouhé vzdálenosti primárně pomocí námořní dopravy. Proces nakládání a vykládání LNG je periodický a vyžaduje adekvátní kapacitu skladovacích zařízení LNG. Vytváření velkých zásob LNG je důležité pro udržení kontinuity dodávek a vyrovnání se s výkyvy v dodávkách a spotřebě LNG. Dalším využitím těchto zásobníků je zajištění bezpečnostní rezervy paliva v blízkosti míst spotřeby zemního plynu pro případ výpadku pravidelných dodávek. V těchto situacích může LNG sloužit jako náhradní zdroj paliva pro plynové nebo kapalné palivo používané v turbínách, spalovacích motorech a kotlech. [1]

Cena těchto zásobníků může dosáhnout až 10 % celkových nákladů spojených s postavením výroby LNG. [3]

Požadovaná kapacita skladování pro konkrétní zařízení je většinou určena plánovanou velikostí LNG tankerů. Kromě toho je také nutná další kapacita, aby bylo možné zajistit flexibilitu v plánování příjezdu tankerů a řešení plánovaných i neplánovaných odstávek



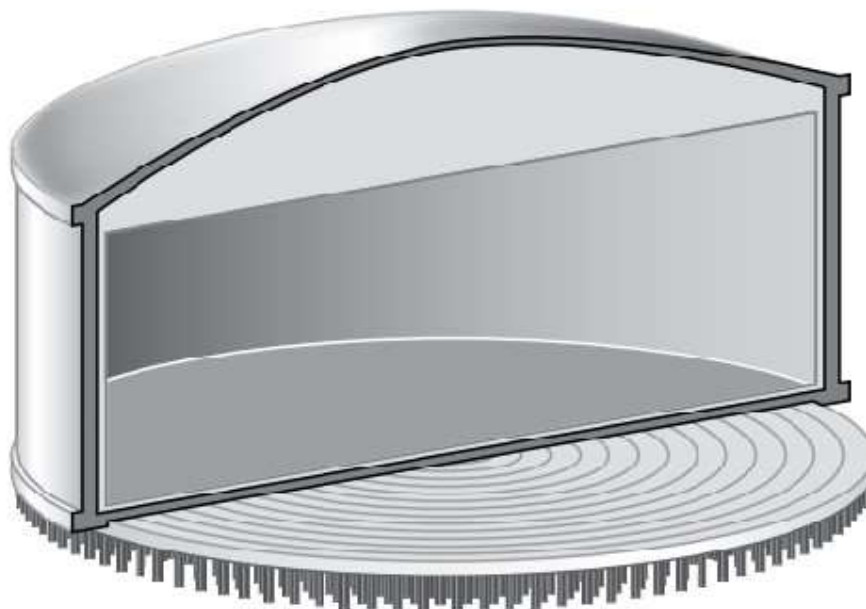
závodu. Navíc musí LNG nádrže poskytnout malou kapacitní rezervu, například projekt, který používá LNG tankery s kapacitou  $138\,000\text{ m}^3$ , by obvykle zahrnoval přibližně  $275\,000\text{ m}^3$  skladovacího prostoru. [3]

### 1.3.1 Typy zásobníků

- 1. Nádrže s jednoduchým zabezpečením:** jednoduchým zabezpečením označujeme samostatně stojící vnitřní nádrž s otevřeným vrškem vyrobenou z 9 % niklové oceli, která je obklopena vnější nádrží z uhlíkové oceli. Mezi oběma nádržemi je vložena vrstva perlitové izolace o tloušťce několika stop. Základna vnitřní nádrže je umístěna na tuhých pěnových blocích pro izolaci a poté na základové konstrukci. Výběr typu základu je určen podmínkami půdy na daném místě a může mít konstrukci s okružní zdí, piloty nebo kamennými sloupy. Základna nádrže obvykle zahrnuje systém vytápění, který udržuje půdu v konstantní teplotě a zabraňuje narušení nádrže v důsledku mrazových výdutí. Nádrž má ocelovou střechu, která je navržena tak, aby obsahovala plynové výpary a podporovala zavěšený strop izolující horní povrch vnitřní nádrže. Vnější ocelová stěna nádrže v případě průniku vnitřní nádrže neuchová žádné LNG, a proto musí mít tento typ nádrže vnější sekundární záchytnou oblast. Obvykle se jedná o zvýšenou plochu s dostatečnou kapacitou k zadržení celého obsahu nádrže plus bezpečnostní rezerva. Tento design nádrže je nejméně nákladný. Nádrže s jednoduchým zabezpečením jsou používány po celém světě bez vážnějších incidentů více než 30 let v lokalitách, kde se nachází dostatečná plocha pro záchytné valy a značná oddělenost mezi nádrží a přilehlými procesními zařízeními a dalšími nádržemi. [3]
- 2. Nádrže s dvojitým zabezpečením:** Dvojitě chráněné nádrže jsou podobné systémům s jednoduchou ochranou, avšak vnější nádrž je schopná zadržet kapalně úniky v případě porušení vnitřní nádrže. Tento design nádrže má samostatně stojící vnitřní nádrž z 9 % niklové oceli a vnější nádrž vyrobenou buď z předpjatého vyztuženého betonu nebo z betonu zhotoveného na místě a zesíleného zemním nebo skalním náspem. Dvojitě chráněné nádrže vyžadují o dost menší plochu než návrhy s jednoduchou ochranou díky své betonové vnější stěně. Střecha je přesto konstruována z oceli a v případě selhání vnitřní nádrže nezadrží vzniklé páry. Přibližná cena za dvojitě chráněnou nádrž je zhruba o 40 % vyšší než běžná cena nádrže s jednoduchou ochranou. [3]

- 3. Nádrže s úplným zabezpečením:** Nádrže s plnou ochranou pro skladování LNG jsou velké a složité konstrukce, které mohou mít typicky kapacitu až  $200\,000\text{ m}^3$ . Obsahují vnitřní nádrž na kapaliny z oceli, vnější betonovou nebo ocelovou nádrž pro sekundární ochranu a termální izolaci mezi oběma nádržemi, která minimalizuje vypařování kapaliny. [5]

Nádrže s plnou ochranou poskytují nejvyšší konstrukční integritu a umožňují nejmenší vzdálenost mezi nádržemi a procesním zařízením, když je omezena plocha pozemku. Nicméně, jedná se o nejnákladnější design nadzemních nádrží, jehož cena je o přibližně 50 % vyšší než cena nádrží s jednoduchou ochranou. [3]



Obrázek 2. Nádrž s úplným zabezpečením [3]

### 1.3.2 LNG tankery

Přeprava LNG za pomoci lodí je ekonomicky efektivním způsobem dopravy velkého množství zemního plynu na dlouhé vzdálenosti. Tankery na LNG jsou speciálně navržené lodě pro přepravu LNG na moři. Průměrná velikost současných tankerů flotily je téměř  $123\,000\text{ m}^3$ , zatímco průměrná velikost lodí, které jsou momentálně objednávané je  $166\,000\text{ m}^3$ . V blízké budoucnosti se předpokládají supertankery LNG s kapacitou  $200\,000\text{ m}^3$  až  $250\,000\text{ m}^3$ . Všechny tankery LNG mají dvojitý trup, ale existují různé systémy uchovávání nákladu s nezávislými nebo integrovanými nádržemi. V současné flotile dominují převážně dva hlavní typy designu lodí, a to membránové nádrže a sférické nádrže. U membránových nádrží se systém uchovávání nákladu skládá z velmi tenkého

dvojitého pláště z oceli nebo z nerezové oceli, který je izolovaný a strukturálně podporovaný trupem lodi. Sférické tankery mívají buď sférické hliníkové nádrže nebo prizmatické nádrže z nerezové oceli, které jsou samonosné v rámci trupu lodi. Tyto nádrže jsou izolovány zvenčí. Mezi nově stavěnými loděmi dominují membránové tankery. [6]

Tradičně tankery používaly jako pohon parní turbíny, nyní se ale přechází na diesellové motory. Během plavby se část LNG odpařuje každý den, a proto ho tankery využívají jako palivo. Po vyložení nákladu si lodě pro LNG obvykle ponechávají malé množství LNG, pro chladicí účely během plavby bez nákladu. Toto LNG slouží k udržení nízké teploty nádrží pro následné naložení LNG pro další přepravu. Studenější nádrže znamenají menší odpařování LNG při naložení a transportu, což má vliv na dobu nakládky a množství dodaného LNG. Návrh, konstrukce a provoz lodí pro LNG jsou předmětem velmi vysokých standardů, což vede k výjimečné bezpečnostní bilanci. Tyto lodě mohou mít při správné údržbě pracovní životnost 40 let a více. [3]

### 1.3.3 Přeprava zemního plynu potrubní sítí

Přenos zemního plynu prostřednictvím potrubních systémů je, pokud už takováto síť existuje, jednoduchý a ekonomicky výhodný způsob. Tyto dálkové přenosové sítě používají obvykle trubky z oceli nebo v některých případech z mědi s vnitřním průměrem mezi 800 mm a 1 400 mm. Pro spojení jednotlivých částí se používají svary, které se následně kontrolují vizuálně, ultrazvukem nebo rentgenem. V těchto sítích se obvykle udržuje tlak mezi 6,1 MPa a 10 MPa. Aby byl tento tlak udržen po celé délce potrubí, nacházejí se ve vzdálenostech přibližně 100 km stanice pro kompresi a měření, které kompenzují pokles tlaku způsobený tlakovými ztrátami. Trubky bývají položeny pod zemí, ale v případech, kdy by umístění pod zemí nebylo ekonomické nebo je potřeba snadný přístup k trubkám, jsou trubky instalovány nad zemí. [4]

Potrubní systémy pro transport zemního plynu lze rozdělit do tří hlavních kategorií:

- **Sběrné potrubní systémy:** Tyto menší potrubí slouží k přepravě nezpracovaného zemního plynu a ropy z těžebních vrtů do zpracovatelských zařízení. Přeprava se odehrává při nízkém tlaku. [4]
- **Národní a mezistátní potrubní systémy:** Tyto potrubní systémy umožňují překračování státních hranic, přičemž na hranicích jsou umístěny předávací stanice pro kontrolu objemu a kvality přepravovaného plynu. V těchto předávacích stanicích se plyn z mezistátních potrubí rozvádí do systémů národních potrubí, přičemž

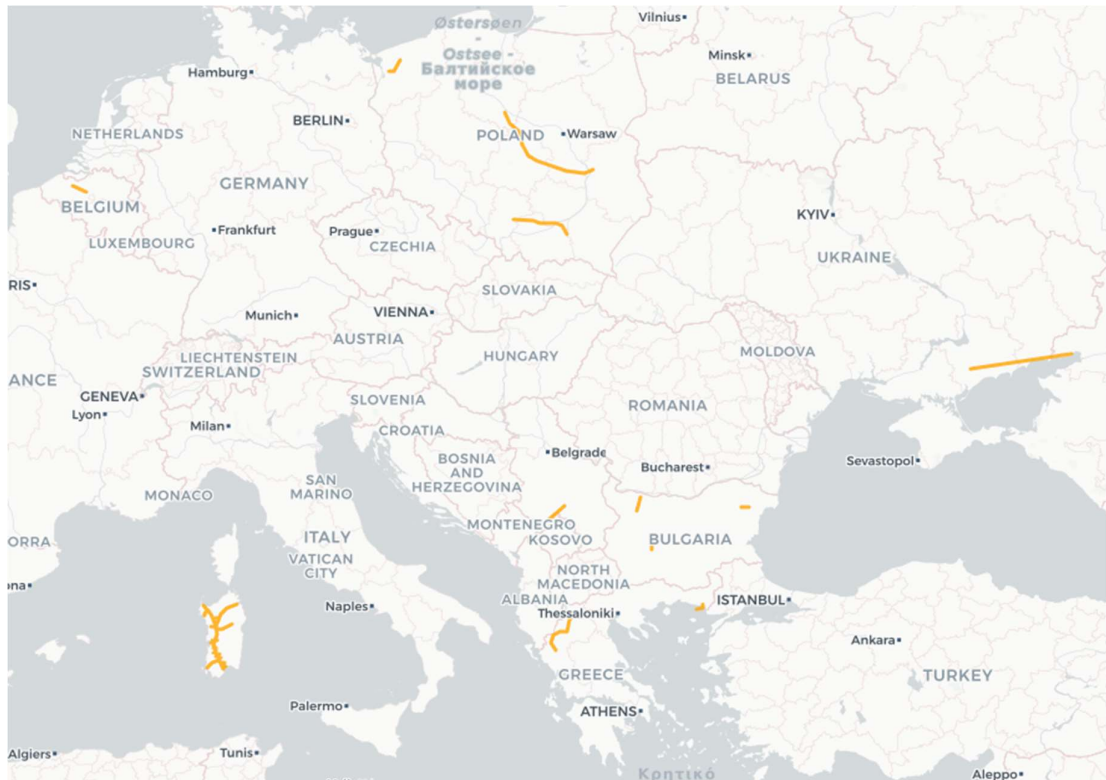
dochází k úpravě specifikací potrubí na vnitřní průměry od 80 do 700 *mm* a tlaku v rozmezí 4 *MPa* až 6,1 *MPa*. [4]

- **Distribuční potrubní síť:** Primárním účelem těchto sítí je dodávka zemního plynu od regionálních dodavatelů až k jednotlivým koncovým uživatelům. Plyn bývá do domácností dodáván při nízkém tlaku (do 5 *kPa*) potrubím s maximálním vnitřním průměrem 80 *mm*. Uživatelé s vlastním regulátorem tlaku mohou přijímat plyn i při středním tlaku (od 5 *kPa* do 0,4 *MPa*), zatímco velkoodběratelé mají možnost odebírat plyn přímo z vysokotlakých národních potrubních systémů. [4]

K roku 2024 existuje na světě 2171 plynovodů. Ve výstavbě je 217 plynovodů, především v Číně a Indii a dalších 468 plynovodů je navržených k výstavbě. V Evropě se nachází 371 plynovodů, dalších 13 je ve výstavbě a dalších 88 navržených k výstavbě. [7]



Obrázek 3. Mapa sítě plynovodů v Evropě [7]



Obrázek 4. Evropské plynovody ve výstavbě [7]

## 1.4 Regasifikace

Regasifikace LNG je klíčovým procesem v celkovém řetězci využití zkapalněného zemního plynu. Tato podkapitola se zaměří na vysvětlení principů a technologií používaných pro přeměnu LNG zpět na plynný stav, což je nezbytný krok před jeho distribucí a využitím.

Technologie regasifikace LNG zahrnuje speciální výměníky tepla, jejichž hlavní funkcí je cirkulace speciálního média, vody nebo vzduchu, v trubkách a ohřev LNG do plynného stavu. Typický výměník tepla v procesu regasifikace LNG se označuje jako vaporizér. Mezi typy vaporizérů patří ORV (vaporizér na otevřeném stojanu), AAV (vaporizér s okolním vzduchem), IFV (vaporizér s prostředním médiem) a SCV (vaporizér s ponořeným spalováním). Statistiky ukazují, že 70 % terminálů pro příjem LNG využívá ORV a Super-ORV, 2 % SCV a 5% IFV. [8]

- 1. Vaporizér s okolním vzduchem:** Vaporizér s okolním vzduchem se hodí pro místa s teplejším okolním prostředím. Hlavním zdrojem tepla pro AAV je energie získávaná z okolního vzduchu, který přirozenou konvekcí ohřívá LNG. Typické konstrukce AAV zahrnují dlouhé paralelní nebo sériově spojené trubky s žebry, umožňující efektivní přenos tepla z vzduchu. Efektivita AAV závisí na výkonu

přenosu tepla v těchto trubkách, což má vliv na stabilní a efektivní provoz regasifikační stanice. Výzkum se soustřeďuje na problémy s tvorbou námrazy, která omezuje pracovní podmínky těchto vaporizérů. [8]

- 2. Vaporizér na otevřeném stojanu:** Vaporizér na otevřeném stojanu je typ komerčního výměníku tepla, který se běžně používá v regasifikačních stanicích LNG. Funguje na principu vedení LNG trubkami, kde teče odspodu nahoru, zatímco mořská voda prochází zvenčí trubkami shora dolů. Na vrcholu vaporizéru je instalován systém pro vstřikování vody, který vytváří rovnoměrnou kapalnou vrstvu podél vnější strany trubek pro přenos tepla. Teplo je ze samotné mořské vody přenášeno do LNG. Hlavní výzvou tohoto typu vaporizéru je charakteristika přenosu tepla v trubkách s žebry. SuperORV, vylepšená verze ORV, má odlišnou konfiguraci trubek pro přenos tepla. [8]
- 3. Vaporizér s prostředním médiem:** Vaporizér s prostředním médiem je typ vaporizéru, který využívá pomocné médium a pracuje na principu gravitační cirkulace v systému. Před zahájením samotné práce se toto médium odpařuje ve výparníku, a poté přenáší teplo do LNG. Po ohřátí LNG se pomocné médium ochladí a zkondukuje. Typický IFV se skládá z kondenzátoru, výparníku a termolátoru. Přenos tepla v IFV probíhá na straně pláště, kde pomocné médium předává teplo LNG uvnitř trubek. Při výběru tohoto média je třeba brát v úvahu dostatečnou latentní tepelnou kapacitu a dodržování environmentálních regulací, jako jsou potenciální poškození ozonové vrstvy a globální oteplování. Nepřímý přenos tepla mezi mořskou vodou a LNG zabraňuje zamrznutí mořské vody, zlepšuje koeficient přenosu tepla a zvyšuje spolehlivost provozu. [8]
- 4. Vaporizér s ponořeným spalováním:** Vaporizér s ponořeným spalováním, používaný v terminálech pro vyrovnávání špičkové spotřeby, je složen z vodní nádrže, ponorného hořáku a dalších komponentů. Jeho princip spočívá ve spalování směsi zemního plynu a vzduchu, které zahřívá vodu v nádrži. Toto teplo se následně využívá k regasifikaci LNG v serpentinových trubkách. Jednou z hlavních výzev je řízení tepelného odporu ledové vrstvy, která ovlivňuje efektivitu regasifikace. Tento proces je klíčový pro efektivní a bezpečné přeměny LNG z kapalného do plynného stavu. [8]

## **2 BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY NA VÝSTAVBU A KONSTRUKCI LNG INFRASTRUKTURY**

Tato kapitola se zaměřuje na význam a nutnost pečlivého plánování, návrhu, a konstrukce LNG infrastruktury, s hlavním důrazem na bezpečnostní požadavky a standardy. Vzhledem k tomu, že LNG zařízení představují vysoké potenciální riziko kvůli extrémně nízkým teplotám, které LNG vyžaduje pro skladování a přepravu, a možnému riziku požáru nebo exploze, je zásadní, aby veškeré aspekty výstavby a provozu těchto zařízení byly kontrolovány s nejvyšší opatrností.

### **2.1 Obecné požadavky na konstrukci LNG stanic**

Základní bezpečnostní standardy a normy pro LNG stanic jsou klíčové pro zajištění bezpečného provozu těchto zařízení bez komplikací. Tyto standardy pokrývají širokou škálu témat, od návrhu a konstrukce přes provoz až po demontáž. V této kapitole budeme čerpat převážně z relevantních norem.

#### **2.1.1 Budovy a stavby**

LNG čerpací stanice musí být postaveny na základech, které odpovídají jak oficiálním standardům, tak specifikům dané lokality, jako jsou větrné podmínky, srážky či riziko zemětřesení. Je zásadní, aby design těchto stanic zamezil úniku LNG do okolní infrastruktury, jako jsou kanalizace, povrchové či podzemní vody, a dále do míst s rizikem kontaktu s nebezpečnými látkami nebo do oblastí, kterými se běžně pohybují lidé a vozidla. Zvláštní opatření je třeba věnovat zabránění hromadění LNG v místech jako je spodní část cisteren nebo vozidel při plnění. [1]

Materiály použité pro povrchy a konstrukce na čerpací stanici musí být nehořlavé a schopné odolat jakékoli zátěži, zajistit odvodnění a umožnit bezpečnou likvidaci LNG v případě úniku. Také je nutné zajistit snadný přístup pro hasičská vozidla. [1]

Kryogenní čerpadla a skladovací zařízení se obvykle instalují venku, ale v případě potřeby ochrany před povětrnostními vlivy nebo snížení hluku mohou být umístěny i v uzavřených prostorách s adekvátním větráním. Okolí čerpací stanice musí být oploceno a střechy nesmí sloužit jiným účelům, aby se zajistila bezpečnost a specializované využití prostoru. [1]

### 2.1.2 Materiál

*„Všechny materiály, použité pro čerpací stanici, musí odpovídat požadovaným specifikacím. Dokumentace, poskytnutá výrobcem, musí potvrzovat shodu materiálu se specifikací. Jsou-li použity lehké slitinové materiály pro součásti, které přijdou do styku s plynem nebo LNG, musí být provedena vhodná opatření pro jejich automatické oddělení v případě požáru. Výrobce technického vybavení čerpací stanice předloží shodu vlastností a materiálových specifikací s příslušnými normami pro výstavbu a s normami pro konstrukci dílů namáhaných tlakem.“ [1]*

Při výběru materiálů pro konstrukci je nutné dbát na to, aby tyto materiály odpovídaly specifickým požadavkům. To zahrnuje vhodnost materiálů pro běžné provozní a testovací podmínky. Pro části určené k použití v kryogenních podmínkách je třeba vybírat materiály, které jsou schopné odolávat extrémně nízkým teplotám, v souladu s normou ČSN EN ISO 21028-1:2017 nebo jinými relevantními standardy. Dále je důležité, aby byly materiály vybrány s ohledem na prevenci korozních jevů, které mohou nastat při přímém kontaktu různých galvanicky aktivních materiálů. [1]

## 2.2 Umístění jednotlivých komponentů LNG stanice

Zařízení s kapalným zemním plynem by měla být situována ve venkovních prostorech nebo v místech s dostatečným provzdušněním. Důležité je zajistit, aby v případě úniku nebo jiného incidentu bylo možné prostor efektivně větrat. Je rovněž nutné počítat s instalací detektorů úniku plynu a dalších bezpečnostních systémů, které zajistí ochranu proti vzniku hořlavé směsi v případě úniku LNG do prostoru. [9]

### 2.2.1 Odpařovací zařízení

Zařízení určená k odpařování LNG při atmosférickém tlaku musí být umístěna takovým způsobem, aby nedocházelo k omezení přirozené cirkulace vzduchu. Nesmí být izolována vnitřními prostory, ani by neměla být uzavřena místy s intenzivním lidským pohybem nebo aktivitou. Důležité je také udržovat volný prostor kolem těchto zařízení, aby byla zajištěna co nejefektivnější výměna vzduchu a zabraňovalo se hromadění chladného vzduchu v okolním prostředí. [9]



### 2.2.2 Sekce komprimovaného zemního plynu

Sekce CNG integrované do stanice LCNG by měly být strategicky umístěny tak, aby se minimalizovalo riziko teplotního stresu zařízení a zajištěno bezpečné provozní podmínky. Tato umístění by měla být pečlivě zvolena s ohledem na podstatné konstrukční charakteristiky a ochranu před extrémními teplotami, které by mohly ovlivnit výkonnost a funkci zařízení. [9]

### 2.2.3 Elektrická zařízení

V prostředích, kde existuje riziko výbuchu, je nutné, aby byla elektrická zařízení a instalace navržena, umístěna a nainstalována podle specifikací stanovených v normách ČSN EN IEC 60204-11 ed. 2:2019 a ČSN EN 60079-14 ed. 4:2014. Navíc, aby byla zajištěna co největší ochrana před případným přetížením elektrických obvodů a vystavením elektrických komponent nadměrnému napětí, je nutné, aby elektrická zařízení splňovala předpisy definované v normách ČSN EN 62305. [1]

K prodloužení elektrických potenciálů je nezbytné, aby všechny kovové součásti na LNG stanicích byly elektricky spojeny se zemí v souladu s normami ČSN EN 60204-1 ed. 2:2007 a ed. 3:2019. Ochrana staveb proti blesku je také klíčová, a hlavní prvky zařízení, jako jsou skladovací tanky a ventilační komíny, by měly mít přímé zemnění. Hodnoty přetížení elektrického systému by neměly být v případě úderu bleskem překročeny. [1]

Všechny elektrické rozvaděče a obaly musí odpovídat normě ČSN EN 60204-1, zajišťující, že části pod napětím jsou dostatečně ochráněny a umístěny mimo dosah, aby nemohlo dojít k náhodnému kontaktu. Všechny elektrické komponenty pod napětím musí v běžném provozu vyhovovat stejné normě. Kromě toho by části, které jsou pod napětím a mohou být předmětem náhodného dotyku během údržby, měly být kryty odnímatelným štítem s varováním. [1]

### 2.2.4 Infrastruktura

Infrastruktura a zařízení, která vyžadují pravidelnou údržbu nebo ovládání musí být navržena s ohledem na snadný a bezpečný přístup pro servisní personál. Je důležité, aby byly zachovány veškeré bezpečnostní průchody a dostatečné manévrovací prostor pro údržbu, inspekce a případné nouzové situace. Tato pravidla zajistí efektivitu a bezpečnost provozu při běžných servisních činnostech. [9]

### 2.2.5 Odpařovací zařízení

Odpařovací zařízení pro vzduch je nutné instalovat s dostatečným prostorem pro volný pohyb atmosférického vzduchu, aby se zabránilo jakémukoliv omezení přirozené ventilace v jeho okolí. Zařízení by mělo být umístěno v bezpečné vzdálenosti od hlavních průjezdových cest a tras, tak aby se předešlo kterémukoliv riziku, které by mohlo vzniknout v důsledku kondenzace a vytváření mlhy způsobené chladným vzduchem vypouštěným od odpařovače, což by mohlo ovlivnit bezpečnost přilehlého provozu a lidí. [1]

## 2.3 Skladování LNG

Nádoby určené pro skladování kapalného zemního plynu musí splňovat striktní standardy pro bezpečný a efektivní provoz v kryogenních podmínkách. Tyto nádoby by měly být konstruovány a certifikovány v souladu s relevantními mezinárodními a národními normami a regulacemi. Je vyžadována odolnost vůči veškerým vnějším vlivům a schopnost udržet LNG v kapalném stavu i za extrémních podmínek, včetně specifikací proti seizmickým událostem a dalším vnějším nárazům. Design zásobníků by měl rovněž brát v úvahu optimální izolaci a minimalizaci tepelného úniku. [9]

*„Každý zásobník LNG musí být označen typovým štítkem, upevněným na přístupném místě, obsahujícím údaje požadované v příslušných předpisech nebo nařízeních a jinak obsahujícím minimálně následující:*

- *Jméno výrobce a datum výroby, sériové číslo.*
- *Jmenovitou objemovou kapacitu kapaliny.*
- *Konstrukční tlak v horní části nádrže.*
- *Maximální povolenou hustotu kapaliny.*
- *Maximální úroveň plnění.*
- *Minimální konstrukční teplotu.“ [9]*

### 2.3.1 Vnitřní kontejner

Vnitřní kontejner, tvořící jádro skladovacího systému LNG, musí být navržen s ohledem na maximální teplotní odolnost, jak je stanoveno normou nižší než 1 093 °C. Materiály použité musí zaručit integritu při kryogenních podmínkách a při použití vhodné izolace mezi vnějším a vnitřním kontejnerem, tak aby bylo dosaženo optimální izolace a zabráněno tepelným

mostům. Při konstrukci a materiálovém výběru je nutno vzít v úvahu možnost expanze při nízkých teplotách, kde LNG zůstává v kapalném stavu. Důležité je, aby všechna zatížení působící na vnitřní nádobu byla přenášena na vnější struktury bez rizika poškození nebo deformace. [9]

### 2.3.2 Upevňovací systém

Upevňovací systém pro vnitřní nádobu musí být proveden v souladu s normami pro bezpečnou manipulaci a trvalou stabilitu při kryogenických teplotách. Měl by být navržen tak, aby umožnil potřebné termální rozpínání bez ohrožení strukturální integrity nádoby nebo způsobení předčasného opotřebení. To zahrnuje kompenzaci pro termální dilataci mezi vnějšími a vnitřními prvky nádrže a zajištění, že veškeré zatížení jsou rovnoměrně rozloženy tak, aby nedošlo k deformaci. [9]

### 2.3.3 Drenážní systém

Drenážní systém zásobníku LNG musí být efektivně navržen tak, aby se předešlo akumulaci srážek a vody na jeho povrchu, což může vést k poškození izolačních vrstev nebo vzniku ledového překryvu. Drenážní systém by měl umožnit bezpečný odvod vody a tání sněhu směrem pryč od zásobníku, čímž se zamezí možnému negativnímu vlivu na jeho funkčnost a integritu. Tento systém by měl být navržen tak, aby byl funkční v každém klimatickém prostředí a odpovídal příslušným normám pro vypouštění odváděných kapalin z provozu kryogenních zařízení. Detekce teplot nižších než  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  v oblasti odvodu by měla být zahrnuta k zajištění prevence jakékoliv potenciální akumulace ledových bloků. [9]

### 2.3.4 Trubky a ventily

Veškeré trubkové vedení, které je spojené se zásobníkem LNG, včetně toho mezi jeho vnitřními a vnějšími částmi, musí odpovídat všem předpisům relevantním pro provozní teplotní a tlakové podmínky. V projektování je klíčové zohlednit faktory jako jsou změny délky materiálu v důsledku teplotních změn, stejně jako dalších mechanických napětí. Tyto materiály, jež jsou odolné proti korozi a lze s nimi bezpečně pracovat v teplotách až  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Měly by mít teplotu tání minimálně  $816\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kromě materiálu použitého pro tvrdé pájení, jehož minimální teplota tání by měla dosáhnout  $538\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Veškeré použité trubky a hadice by měly být vyrobené z nerezové oceli. [1]

Ventilové prvky, které jsou při provozu vystaveny teplotám nižším než  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , musí být konstruovány a vyrobeny tak, aby vyhovovaly normě ISO 21011:2008 nebo jiným

ekvivalentním standardům, které se vztahují na výrobky používané v extrémně nízkých teplotních podmínkách. [9]

## 2.4 Systémy kontroly

### 2.4.1 Detektory plynu

Detektor metanu je třeba umístit v oblastech, kde je nejvyšší riziko úniku, jako je například pod krytem, který překrývá potenciální zdroje úniku, aby se zvýšila šance na detekci jakéhokoli úniku. Každý výdejní místo pro LNG by mělo být vybaveno alespoň jedním detektorem metanu, a také je třeba zajistit dostatečné pokrytí detektory po celé LNG stanici, zejména v oblastech, kde dochází k vykládání LNG. [1]

### 2.4.2 Hlásiče požáru

Detektory požáru nebo teplotní senzory je třeba rozmístit po celém areálu stanice pro čerpání LNG tak, aby byly schopny monitorovat všechny klíčové oblasti, zejména v okolí výdejních míst, kryogenických sekcí stanice a jiných míst s potenciálním rizikem vzniku požáru. [1]

### 2.4.3 Zařízení pro nouzové vypnutí (ESD)

Zařízení pro ruční aktivaci nouzového vypínání by měla být strategicky rozmístěna po areálu stanice pro čerpání LNG, tak aby byla snadno přístupná pro personál. V blízkosti každé výdejní jednotky LNG by měl být k dispozici manuální nouzový vypínač. Je třeba věnovat zvláštní pozornost jasnému umístění a označení těchto zařízení, zejména na samoobslužných LNG stanicích, aby byla zajištěna jejich snadná identifikace a použití. [9]

Stanice pro čerpání LNG musí být osazeny nouzovými vypínacími systémy, jejichž rozsah je přímo úměrný kapacitě skladovacích nádrží na LNG. U stanic s kapacitou skladování nad 5 *tun* LNG je požadována také instalace automatických ESD systémů. Pro skladovací zařízení s kapacitou do 200 *tun* mohou být tyto systémy integrovány také s jinými kontrolními systémy, zatímco pro zařízení s kapacitou přesahující 200 *tun* je vyžadována samostatná a nezávislá ESD jednotka. Pro skladovací nádrže s kapacitou do 5 *tun* jsou považovány za postačující ruční nouzové vypínací mechanismy, které musí být umístěny nedaleko nádrží, aby byly snadno a bezpečně přístupné v případě potřeby. [1]

## 2.5 Řízení rizik

V této kapitole jsou popsány zásady řízení rizik, které se mohou vyskytnout při provozu stanic LNG.

### 2.5.1 Tlak

Když se hranice tlaku zvýší na hodnotu pro provoz stanice nepřijatelnou tak jako prvotní ochrana slouží bezpečnostní ventily jako například: automatické havarijní uzavírací ventily. [10]

### 2.5.2 Statický náboj, jiskra, výboj

Jako prvotní ochranu proti elektrostatickému výboji slouží ochrana v souladu s platnými normami za pomoci například: uzemnění, čímž dosáhneme vyrovnávání rozdílných potenciálů.

### 2.5.3 Zdroje vznícení

Zdroj vznícení, v plnicí stanici může vzniknout z mnoha příčin, nejčastější příčiny jsou následující:

- Elektrická jiskra, která vzniká v důsledku elektrického oblouku, který může nastat například při zkratu, anebo při sepnutí kontaktů. [10]
- Elektrická jiskra, která vzniká v důsledku vyrovnání elektrických potenciálů, jenž nastává nárazem, či třením. Tento důvod je mechanické povahy a může být další zdroj vznícení. [10]
- Zvýšená a vysoká teplota povrchu, která se tvoří třením a průchodem elektrického proudu je další riziko vznícení. [10]
- Je zakázáno se přibližovat a manipulovat s otevřeným plamenem a přibližovat se ke stanici a taktéž je zakázáno kouřit v blízkosti stanice.
- Dodržení pořádku v okolí stanice a neskladování hořlavých látek a předmětů je velice důležité z hlediska snížení rizika vznícení. [10]

### 2.5.4 Ochrana proti vzniku požárů

Pro snížení rizik požáru stanice musí mít schválenou dokumentaci požární ochrany. Jsou zde rozmístěny adekvátní hasící prostředky, čímž se rozumí přenosné, případně pojízdné hasící

přístroje. Hasicí přístroje jsou rozmístěny dle platné normy ČSN 73 0802 požární bezpečnost – nevýrobní objekty. [10]

Dále se musíme řídit požadavky nejnovější verze vyhlášky č.23/2008 Sb o technických podmínkách požární ochrany staveb, která nám například říká, že je nutné zajistit přístupnost cest pro požární techniku, mít zhotovený postup činnosti pro předcházení požáru, popřípadě jak se zachovat při jeho vzniku a průběhu. [11]

### 2.5.5 Ochrana proti vzniku výbuchu

LNG stanice jsou klasifikovány dle ČSN EN 60079-10 ed.2 Výbušné atmosféry – část 10-1: určování nebezpečných prostorů jako výbušná plynná atmosféra. V této normě můžeme najít doporučení technických parametrů, jejich rozmístění a určení velikostí pro hlavní části plnicí stanice. [10]

Ochrany dosáhneme eliminací zdrojů vznícení a výbuchu v hlavních prostorech čerpací stanice.

## 2.6 Obecné požadavky na konstrukci plynovodů

V této kapitole se zaměříme na základní principy a normy, které musí být dodrženy při navrhování a výstavbě plynovodů. Dodržování těchto požadavků je klíčové pro zajištění bezpečnosti, efektivitu a spolehlivost plynovodní infrastruktury.

Plynovody obecně můžeme rozdělit na nízkotlaké (přítlak do 5 *kPa*), středotlaké (přetlak 0,005 *MPa* až 0,4 *MPa*), vysokotlaké (přetlak 0,4 *MPa* až 4 *MPa*) a velmi vysokotlaké (přetlak od 4 *MPa* do 10 *MPa*). [12]

Míra tlaku ovlivňuje kapacitu přepravy plynovodu. Vyšší tlak znamená vyšší přepravní kapacitu. Nízkotlaké plynovody nacházejí uplatnění hlavně při přepravě plynu uvnitř měst, budov a jiných objektů. Středotlaké plynovody se používají jak pro přepravu plynu do obcí, tak do menších měst, nebo v různých areálech. Jiné možné použití středotlakého plynovodu je i u obytných budov, avšak s nutností použití regulátoru tlaku, proto se moc pro tento účel nepoužívá. Vysokotlaké plynovody nacházejí své využití při vnitrostátní přepravě mezi městy, jako mezistátní vedení, nebo pro napojení velkoodběratelů. Velmi vysokotlaké plynovody se využívají při mezistátní přepravě plynu na velké vzdálenosti. [13]

Zemní plyn proudí potrubím díky udržování určitého tlaku. Pro udržení konstantního tlaku v potrubí je nutné využívat kompresní stanice, které se zpravidla umísťují každých 100 *km*.

V České republice se nachází pět kompresních stanic: Břeclav, Hostim, Kralice nad Oslavou, Kouřim a Veselí nad Lužnicí. [12]

Další velmi důležitou součástí plynárenské soustavy jsou předávací stanice, které se používají k přenosu plynu mezi různými plynovody nebo mezi plynovody a distribučními sítěmi. V těchto stanicích dochází k měření množství a kvality plynu, což je důležité pro obchodní účely a zajištění bezpečnosti dodávek. Vnitrostátních předávacích stanic je v České republice 86. Hraničních předávacích stanic je 7, přičemž tři se nacházejí v ČR (Lanžhot, Hora Svaté Kateřiny, Brandov), dvě v Německu (Waidhaus, Olbernhau), jedna v Polsku (Cieszyn) a poslední na Slovensku (Mokrý Ráj). [12]



Obrázek 5. Mapa přepravní soupravy [14]

Regulační stanice jsou zařízení, která snižují tlak plynu na bezpečnou úroveň vhodnou pro distribuci a spotřebu. Zajišťují, že plyn, který vstupuje do distribučních sítí, má správný tlak a je bezpečný pro použití v domácnostech a průmyslu. [15]

Podzemní zásobníky plynu slouží k uskladnění zemního plynu, což umožňuje vyrovnávání sezónních výkyvů v poptávce a zajištění spolehlivých dodávek v případě výpadků. V České republice se nachází osm zásobníků s celkovou kapacitou  $2901 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , konkrétně v Hájích, Třanovicích, Lobodicích, Štamberku, Tvrdonicích, Dolních Dunajovicích, Uhřicích a Dambořicích, s celkovým provozním objemem  $36\,935,6 \text{ GWh}$ . Dále se na území ČR nacházejí zásobníky plynu v Dolních Bojanovicích, avšak ty nejsou přímo napojeny na českou plynárenskou soustavu, ale jsou součástí slovenské plynárenské sítě. [16]

Plynovody se obvykle staví pod zemí, pokud to podmínky dovolují. Nadzemní instalace se volí jen tehdy, když by podzemní vedení bylo příliš nákladné nebo kde je nutný snadný přístup k potrubí. [12]

### 2.6.1 Materiály

Pro výrobu plynovodů se používají různé typy ocelí, které musí být voleny na základě předpokládaných výrobních postupů a způsobu využívání potrubí. [17]

Materiály na tlakové části musí být shodné s požadavky normy ČSN EN 13480 a jsou certifikovány na základě EN 10204:2004 a jsou řazeny do skupin podle CEN ISO/TR 15608 ve vztahu k výrobním a kontrolním požadavkům pro druhové typy materiálů. [18]

Výrobky nesmí mít žádné povrchové ani vnitřní vady a minimální tažnost oceli musí být  $\geq 14\%$  v příčném směru a  $\geq 16\%$  v podélném směru. [17]

Pro netlakové části, například pro podpěry, podstavce, přepážky a podobné části přivařované k průmyslovému potrubí a pro svařovací materiály, musí být používaný materiál dodávaný podle materiálových specifikací obsahujících alespoň minimální požadavky na chemické složení a pevnostní vlastnosti. Požadavky na materiály, používané pro podpěry potrubí, jsou definovány v EN 13480-3. [17]

### 2.6.2 Konstrukce

Během konstrukce potrubí se musí zohlednit možné zatížení vnitřním a vnějším tlakem, teplota, místní klimatické podmínky, pohyby podloží a staveb, vibrace anebo zemětřesení. Zohlednit musíme také korozi, která může být buďto vnitřní nebo vnější nebo obojí současně. Na základě těchto informací volíme vhodnou tloušťku stěny a tvarovek a také hodnotu korozního přídatku (může být i nulová, pokud se neočekává žádná koroze). Hodnota korozního přídatku by měla být stanovena odběratelem, pokud není, musí být přiměřeně navržená dodavatelem a uvedena v dokumentaci. [17]

Tloušťka stěny se obecně pohybuje od 4 mm do 6 mm pro menší průměr trubek a 10 mm až 20 mm pro větší průměr trubek. Konkrétní specifikace pro tloušťky stěn najdeme v normě ČSN EN 1594. [19]

Maximální provozní tlak je určen návrhovými normami a specifikacemi, které zohledňují bezpečnostní faktory a podmínky. Plynovody obecně můžeme rozdělit na nízkotlaké (tlak do 16 barů), středotlaké (tlak od 16 barů do 70 barů) a vysokotlaké (tlak nad 70 barů). [17]



Podpěry potrubí můžeme rozdělit na tuhé podpěry, pružné podpěry a vložené (sekundární) ocelové konstrukce. Požadavky na podepření potrubních systémů podléhají požadavkům normy EN 13480. Podpěrné elementy mají za úkol přenášet tíhu potrubí a k nim spojená zařízení, regulovat pohyb potrubí a usměrňovat a přenášet zatížení z potrubí do okolní konstrukce. Podpěry musí být instalovány tak, aby značení identifikace, zatížení a směr průtoku byly jasně čitelné. [17]

Svařování trubek musí pro plynovody musí být prováděno podle přísných norem a metodik, aby byla zajištěna bezpečnost a integrita spoje a také musí být doprovázeno přísnou kontrolou kvality. Svářeči musí být certifikováni podle norem jako například EN 287/EN ISO 9606. [17]

### 2.6.3 Bezpečnostní opatření

Před uvedením plynovodu do provozu je nezbytné provést důkladné zkoušky, které ověří jeho integritu a bezpečnost. Prvním krokem je provedení tlakových zkoušek, při nichž se plynovod naplní plynem a následně se zvýší tlak na hodnoty specifikované normou EN 1594:2024. Tyto zkoušky mají za cíl detekovat případné slabiny, netěsnosti či jiné nedostatky v konstrukci. Po úspěšném absolvování tlakových zkoušek následují další testy na detekci úniků plynu, při nichž se používají speciální zařízení, která jsou schopná identifikovat i nejmenší úniky. Jakýkoliv zjištěný únik musí být okamžitě opraven a celý proces zkoušení opakován, dokud nejsou všechny zjištěné nedostatky odstraněny. [20]






Po úspěšném uvedení plynovodu do provozu je klíčové zajistit nepřetržitý monitoring jeho stavu a funkčnosti. To zahrnuje pravidelný dohled nad tlakem plynu v potrubí, detekci jakýchkoliv anomálií a sledování integrity celého systému. Pro tento účel se používají výrazně pokročilejší monitorovací systémy, které jsou schopné v reálném čase zaznamenávat a analyzovat data o provozu plynovodu. Jakákoliv odchylka od normálního stavu musí být okamžitě řešena odborným personálem. Pravidelná údržba a opravy jsou dalším nezbytným opatřením pro zajištění dlouhodobé bezpečnosti plynovodu. Podle plánu údržby se provádějí kontroly, čištění, a případné opravy či výměny částí, které vykazují známky opotřebení nebo poškození. Pro případ havárií nebo jiných mimořádných událostí je nezbytné mít vypracované a nacvičené nouzové postupy. Ty zahrnují jasně definované kroky pro rychlejší a efektivnější řešení krizových situací, minimalizaci rizik pro lidské zdraví a životní prostředí a co nejrychlejší obnovení bezpečného provozu plynovodu. [20]

### 2.6.4 Bezpečnostní značky a barvy

Účelem bezpečnostních značek a barev je rychle upozornit na předměty, objekty nebo situace ovlivňující bezpečnost a zdraví lidí, a zajistit, aby daná osoba rychle pochopila určité sdělení. Bezpečnostní značky se musí používat pouze k pokynům ovlivňující bezpečnost lidí a lidského zdraví. [21]

Mezi bezpečnostními barvami nejčastěji narazíme na žlutou barvu, která značí výstrahu před možným nebezpečím, červenou barvu, která znamená zákaz vstupu, a modrou barvu, která značí příkaz.[21]

Mezi bezpečnostní značky řadíme primárně červený kruh s úhlopříčným pásem, který značí zákaz, modrý kruh, který značí příkaz, a žlutý rovnostranný trojúhelník, který značí výstrahu. [21]

Geometrický tvar	Význam	Bezpečnostní barva	Kontrastní barva k bezpečnostní barvě	Barva grafické značky	Příklad použití
 Kruh s úhlopříčným pásem	Zákaz	Červená	Bílá <sup>a)</sup>	Černá	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nekuřit</li> <li>- Nepít</li> <li>- Nedotýkat se</li> </ul>
 Kruh	Příkaz	Modrá	Bílá <sup>a)</sup>	Bílá <sup>a)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nosit ochranu očí</li> <li>- Nosit ochranný oděv</li> <li>- Umývat ruce</li> </ul>
 Rovnostranný trojúhelník	Výstraha (upozornění)	Žlutá	Černá	Černá	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Výstraha; horký povrch</li> <li>- Výstraha; biologické nebezpečí</li> <li>- Výstraha; elektřina</li> </ul>
 Čtverec	Bezpečný stav	Zelená	Bílá <sup>a)</sup>	Bílá <sup>a)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- První pomoc</li> <li>- Nouzový východ</li> <li>Únikový východ</li> <li>- Místo ke shromáždění při evakuaci</li> </ul>
 Čtverec	Požární bezpečnost (zařízení)	Červená	Bílá <sup>a)</sup>	Bílá <sup>a)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Místo k vyhlášení požárního poplachu</li> <li>- Soubor vybavení pro likvidaci požáru</li> <li>- Hasicí přístroj</li> </ul>

Bílá barva obsahuje barevný materiál, s fotoluminiscenčními vlastnostmi denního světla, podle ISO 3864-4.

Obrázek 6. Geometrické tvary a barvy pro bezpečnostní značky [21]

### 2.6.5 Ekologické a environmentální požadavky

Během plánování a konstrukce plynovodů je klíčové zohlednit ekologické a environmentální požadavky, aby se minimalizoval negativní dopad na životní prostředí. Prvním krokem je provedení důkladného hodnocení dopadů na životní prostředí, které identifikuje citlivé oblasti, chráněné druhy a ekosystémy, které by mohly být ovlivněny výstavbou a provozem plynovodu. Na základě tohoto hodnocení se vybírá optimální trasa plynovodu, která minimalizuje zásah do přírodních rezervací, vodních toků a dalších chráněných oblastí. Používané materiály a stavební postupy musí být ekologicky šetrné. To zahrnuje využití materiálů s nízkým obsahem škodlivých látek a omezení používání nebezpečných chemikálií během výstavby. Důležité je také zajistit správnou likvidaci stavebního odpadu a recyklaci materiálů tam, kde je to možné. Během stavebních prací musí být zajištěna ochrana půdy a vodních zdrojů před kontaminací. To zahrnuje například opatření na zabránění úniku ropných látek, chemikálií a dalších potenciálně škodlivých látek do půdy a vody. Rovněž je nutné minimalizovat eroze půdy a zajistit stabilitu terénu v okolí stavenišť. [20]

Po uvedení plynovodu do provozu je nutné pokračovat v monitorování a ochraně životního prostředí. To zahrnuje pravidelné kontroly potrubí, aby se předešlo únikům plynu, které by mohly způsobit kontaminaci půdy a vodních zdrojů. Monitoring musí být prováděn pomocí moderních technologií, které umožňují rychlou detekci případných úniků a jejich okamžité řešení. Provozovatelé plynovodů musí mimo jiné zajistit minimalizaci emisí skleníkových plynů a dalších škodlivých látek do ovzduší. To může zahrnovat využívání pokročilých technologií a postupů pro snižování emisí a zvyšování energetické účinnosti celého systému. Důležitou součástí environmentálních požadavků je také ochrana biodiverzity v okolí plynovodů. To zahrnuje opatření na ochranu volně žijících živočichů a jejich stanovišť před negativními dopady provozu plynovodu. Například mohou být instalovány ochranné bariéry nebo přechody pro volně žijící živočichy, které umožní bezpečný pohyb zvířat přes trasy plynovodů. Kromě toho je nezbytné mít připravené a pravidelně aktualizované nouzové plány pro případ environmentálních havárií, jako jsou rozsáhlé úniky plynu nebo jiné události s potenciálně závažným dopadem na životní prostředí. Tyto plány by měly zahrnovat konkrétní kroky pro rychlé a efektivní řešení krizových situací, minimalizaci škod a co nejrychlejší obnovení bezpečného a ekologicky šetrného provozu plynovodu. Dodržování těchto ekologických a environmentálních požadavků při konstrukci a provozu plynovodů je zásadní pro ochranu přírody a udržení rovnováhy mezi energetickými potřebami a ochranou životního prostředí. [20]

### 2.6.6 Prevence koroze a ochranné prvky

Jednou z možných prevencí koroze je katodická ochrana, která využívá elektrolýzy. Základem této metody je snížení elektrického potenciálu chráněné konstrukce tak, aby se stala katodou v elektrochemické reakci. Při projektování systému katodické ochrany je nutné zohlednit typ chráněné konstrukce, typ prostředí, předpokládanou životnost a dostupnost elektrického zdroje, pokud je využívána metoda s externím zdrojem proudu. Je důležité zajistit dobrou elektrickou vodivost mezi chráněnou konstrukcí a zdrojem katodické ochrany, ochranu anod před mechanickým poškozením a vlivy prostředí, a správné umístění referenčních elektrod pro monitorování účinnosti ochrany. [22]

Norma ČSN EN 12954 klade důraz na pravidelné monitorování a údržbu systému katodické ochrany. To zahrnuje pravidelné měření potenciálů chráněné konstrukce vůči referenčním elektrodám, kontrolu funkčnosti a stavu anod a celého systému, a provádění záznamů o provedených kontrolách a údržbě pro účely sledování dlouhodobé účinnosti. Pro zajištění správné funkce systému katodické ochrany je nutné vypracovat velmi podrobnou dokumentaci k projektu, instalaci a údržbě systému a zajistit školení personálu odpovědného za údržbu a monitorování systému. Bezpečnost je rovněž důležitým aspektem při manipulaci se systémy katodické ochrany. Norma požaduje prevenci úrazů elektrickým proudem při instalaci a údržbě systému a ochranu proti úniku škodlivých látek z používaných materiálů, zejména anod. [23]

Další možnou ochranou proti korozi je aplikace vnějších povlaků, o kterých pojednává norma ČSN EN ISO 21809-1. Tyto povlaky mohou být tvořeny různými materiály, přičemž se nejčastěji používají polyethylenové (PE) a polypropylenové (PP) povlaky, ale také například povlaky na bázi epoxidových pryskyřic. [24]

Norma specifikuje několik klíčových požadavků, které musí povlaky splňovat. Povlak musí mít vysokou přilnavost k povrchu potrubí, aby se zabránilo jeho odlepení nebo tvorbě bublin, které by mohly vést k lokální korozi. Dále norma stanovuje minimální tloušťku povlaku pro různé aplikace, aby byla zajištěna dostatečná ochrana proti mechanickému poškození. Povlak musí být také dostatečně odolný proti mechanickému poškození způsobenému přepravou, instalací nebo vnějšími vlivy během provozu. Další důležitou vlastností je vysoká elektrická odolnost, která zamezuje galvanické korozi. Povlaky musí rovněž odolávat teplotám, které se mohou vyskytnout během provozu potrubí, aniž by došlo k jejich degradaci. [24]

Norma ČSN EN ISO 21809-1 stanovuje i metody pro testování vlastností povlaků. Mezi tyto testy patří měření síly potřebné k odloupení povlaku z povrchu potrubí (test adheze), kontrola rovnoměrnosti a dodržení minimální tloušťky povlaku, simulace podmínek, kterým může být potrubí vystaveno během instalace a provozu, měření elektrické odolnosti povlaku a vystavení povlaku zvýšeným teplotám za účelem ověření jeho stability a odolnosti. [24]

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

### 3 SROVNÁNÍ ENERGETICKÝCH PLYNŮ

Praktická část práce se zaměřuje na porovnání klíčových vlastností LNG s ostatními plynnými zdroji energie. Toto komplexní srovnání nám poskytne hlubší a detailnější pochopení rozdílů v energetické účinnosti, bezpečnosti a využití těchto plynných zdrojů energie. Toto srovnání zahrnuje několik klíčových kroků. Prvním krokem je důkladná analýza dostupné literatury. Tato fáze zahrnuje shromažďování a kritické hodnocení vědeckých studií, technických zpráv a dalších relevantních zdrojů, které se zabývají vlastnostmi LNG a ostatními zdroji energie, jako je CNG, NG, LPG a obnovitelnými zdroji jako bioplyn, biometan a bioLNG. Cílem této části praktické části je získat co nejširší spektrum informací o energetické účinnosti, bezpečnostních opatřeních, ekologických dopadech a praktických aplikacích jednotlivých zdrojů energie. Dalším krokem je provedení srovnávací studie. analýza se zaměřuje na přesná měření a porovnání energetické účinnosti různých zdrojů energie. analýza pak poskytuje hlubší vhled do bezpečnostních aspektů, ekologických rizik a dalších nehmotných faktorů, které mohou ovlivnit rozhodování při výběru zdrojů energie. Jedním z klíčových aspektů metodiky je syntéza informací, které jsou získaných z předchozích kroků. Tato fáze také zahrnuje integraci a interpretaci všech relevantních dat a poznatků, aby bylo možné identifikovat hlavní rozdíly a podobnosti mezi LNG a ostatními zdroji energie. Při syntéze informací je důležité brát v úvahu veškeré kontextuální faktory, jako jsou mimo jiné geografické podmínky, ekonomické aspekty, politické a regulační rámce, které mohou ovlivnit dostupnost a využití jednotlivých zdrojů energie. Zvláštní pozornost je věnována analýze energetické účinnosti. Energetická účinnost je klíčovým kritériem při hodnocení zdrojů energie, protože přímo ovlivňuje ekonomickou rentabilitu a ekologické dopady jejich využití. V této souvislosti jsou posuzovány faktory jako je účinnost výroby energie, ztráty při přenosu a distribuci, a konečná spotřeba energie. Porovnání těchto faktorů umožňuje posoudit, jak efektivně lze jednotlivé zdroje energie využít v praxi. Bezpečnost je dalším klíčovým faktorem v metodice srovnání. Bezpečnostní aspekty zahrnují hodnocení rizik, která jsou spojená s těžbou, přepravou, skladováním a využitím jednotlivých zdrojů energie. V neposlední řadě Srovnání zahrnuje hodnocení praktického využití jednotlivých zdrojů energie. Tato část analýzy se zaměřuje na aplikace LNG a ostatních zdrojů energie v různých průmyslových odvětvích, v dopravě, při vytápění a v dalších oblastech. Posuzují se faktory jako je dostupnost technologie, ekonomická životaschopnost, a flexibilita využití v různých potenciálních podmínkách. Tento komplexní přístup umožňuje identifikovat

nejen technické a ekonomické výhody, ale také možná omezení a výzvy spojené s využitím jednotlivých zdrojů energie. Celkově tato praktická část poskytuje detailní a komplexní pohled na porovnání LNG s ostatními zdroji energie. Díky důkladné analýze literatury, kvantitativním a kvalitativním studiím, a syntéze získaných informací, lze dojít k informovaným závěrům o výhodách a nevýhodách jednotlivých zdrojů energie.

### 3.1 LNG: definice a vlastnosti

Hustota LNG je  $400 \text{ kg/m}^3$  a zaujímá  $570 \times$  menší objem než jeho plynný ekvivalent. LNG je udržováno na teplotě  $-162 \text{ }^\circ\text{C}$  a při atmosférickém tlaku. Při zkapalnění obvykle dochází ke ztrátě až 10 % vstupního NG, které se využívá k provozu technologií potřebných pro zkapalnění. Energie spotřebovaná na zkapalnění je v LNG uložena jako chlad, přičemž hodnota je přibližně  $830 \text{ kJ/kg}$ . Teplota varu LNG se zvyšuje spolu s tlakem a existuje jen v kapalně fázi při teplotách nižších než  $-80 \text{ }^\circ\text{C}$  při vysokých tlacích. [25]

Zemní plyn produkuje při spalování nejméně oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) na jednotku energie mezi fosilními palivy, díky složení metanové molekuly, a má výhřevnost  $50 \text{ MJ/kg}$ . [1]

Při studii emisí skleníkových plynů při exportu LNG z Ameriky do Evropy nebo Asie se zjistilo že před spalováním se vyprodukuje  $37 \text{ g CO}_2/\text{MJ}$ , když se zpět regasifikuje v cílové destinaci. Přeprava LNG z amerických přístavů na evropské a asijské trhy činila pouze 3,5 – 5,5 % emisí. Po spalování, respektive po výrobě elektřiny z exportovaného LNG byly průměrné emise  $655 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$  ( $562 \text{ g}$  až  $770 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$ ). Pro průmyslové vytápění byly zjištěny průměrné emise  $104 \text{ g CO}_2/\text{MJ}$ . Časté také bývají úniky metanu, u kterých avšak stále neexistují přesná data a je nutná další studie. [26]

Náhradou uhlí šetří LNG  $550 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$  a  $20 \text{ g CO}_2/\text{MJ}$ . [25]

Čerpací stanice LNG nejsou po Evropě moc rozšířené, avšak kvůli zvýšené poptávce by se jejich počet měl do budoucna zvýšit. [27]

Skupina ČEZ zajistila pro Českou republiku ve spolupráci s Ministerstvem průmyslu a obchodu pronájem plovoucího LNG terminálu v Nizozemském Eemshavenu, který byl otevřen 8. září 2022 a jeho pronájem je určen na 5 let, tedy do roku 2027. Tento terminál je schopen přijímat LNG a následně ho zplyňovat a posílat plynovody do České republiky. Jeho kapacita je 8 miliard  $\text{m}^3$  plynu ročně, přičemž 3 miliardy  $\text{m}^3$  jsou určeny pro Českou republiku. [28]



V roce 2027 se spustí nový pevninský terminál v Německém městě Stade, nedaleko Hamburku. ČEZ zajistil pro Českou republiku kapacitu 2 miliard m<sup>3</sup> plynu ročně, přičemž jeho celková kapacita je 13,3 miliard m<sup>3</sup>. Výhodou pevninského terminálu je jeho větší kapacita a také rychlost vykládání LNG a jeho následného zplyňování. [29]

Vzhledem k tomu, že se LNG po dopravě do cílové zpět zplyňuje, je těžké určit jeho cenu jako takovou. Odhaduje se avšak, že jeho zkapalnění, přeprava a zpětné zplynění může stát kolem 10 eur/MWh. [30]

Složení LNG		Energetický obsah	
Metan	84,55-96,38 mol%	Výhřevnost	50 MJ/kg
Etan	2,00 -11,41 mol%	Spalné teplo	54 MJ/kg
Propan	0,35-3,24 mol%		
n-Butan	0,00-1,30 mol%		
		<b>Hustota</b>	
		LNG	400 kg/m <sup>3</sup>
		Hustota plynného skupenství	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
<b>Charakteristické teploty</b>			
Teplota varu	-162 °C		
Kritický bod (maximální teplota kapalně fáze)	-82 °C		
Zápalná teplota	650 °C		
Stechiometrické teplota plamene	1957 °C		

Obrázek 7. Vlastnosti LNG [8]

### 3.2 CNG: Definice a vlastnosti

Jedná se o stlačený zemní plyn, který se skladuje a přepravuje ve speciálních nádržích při tlaku 200-248 barů (2900-3600 psi). Hustota CNG je velmi proměnlivá a závisí, jak na teplotě, tak i tlaku. V běžných podmínkách se pohybuje kolem 0,7 kg/m<sup>3</sup>, avšak při stlačení až 800 kg/m<sup>3</sup>. Při produkci CNG se produkuje méně oxidu uhličitého než například při produkci LNG, protože stlačení zemního plynu je energeticky méně náročné. [31]

Emise oxidu uhličitého u CNG jsou 62,5 g CO<sub>2</sub>/MG. [32]

Výhodou je že se do zemního plynu nepřidávají žádná další aditiva a při jeho spalování se neprodukuje oxid siřičitý a oproti benzínu nebo naftě jsou jeho emise o 20-25 % nižší. Také chod motoru je o 40-60 % tišší oproti benzínovým nebo naftovým motorům. [33]

Pro možnost použití CNG u automobilů je potřeba přestavba motoru, která se pohybuje okolo 60 000 Kč v závislosti na motoru, nebo koupě upraveného auta již z výroby, kdy příplatek oproti klasickému motoru bývá okolo 20 000 - 40 000 Kč. Spotřeba CNG oproti benzínu bývá o 1/3 nižší. [34]

CNG je ke květnu roku 2024 možné v České republice natankovat na 236 čerpacích stanicích za průměrnou cenu 36,69 Kč/kg. Průměrná cena v  $m^3$  je 26,21 Kč, což je ekvivalent 1 l benzínu nebo nafty. Momentálně se jedná o nejlevnější palivo na trhu, hlavně kvůli nulové spotřební dani. [33]

### 3.2.1 Porovnání CNG s LNG

Porovnání CNG (stlačeného zemního plynu) a LNG (zkapalněného zemního plynu) nám poskytuje velmi zajímavý pohled na dva různé způsoby využití stejného zdroje energie (zemního plynu), každý se specifickými vlastnostmi, výhodami a nevýhodami.

LNG je pro udržení kapalné formy udržováno při teplotě  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$  a díky tomu, že zaujímá  $570\times$  menší objem, než jeho plynná forma je možno ho efektivně přepravovat. CNG je nutné přepravovat ve speciálních tlakových nádržích při tlaku 200 *bar*ů až 248 *bar*ů.

CNG vyžaduje oproti LNG méně energie pro jeho přepravu, jelikož je plyn pouze stačen. Emise CNG jsou také nižší, hlavně protože při spalování nevzniká oxid siřičitý.

V automobilovém průmyslu je výhodou tišší chod motoru poháněného CNG a také jeho menší spotřeba. Na druhou stranu je potřeba robustnějších a těžších nádrží pro bezpečné skladování.

Co se týče nákladů, CNG vede díky nízkým cenám paliva a nižším provozním nákladům. CNG stanice jsou rovněž poměrně snadné a levné na instalaci ve srovnání s LNG terminály, které vyžadují značné investice do zkapalňovacích a regasifikačních technologií. Tato situace však může být kompenzována větší energetickou účinností a širšími možnostmi aplikace LNG. Obě paliva jsou významnou součástí přechodu na čistší zdroje energie. Výběr mezi LNG a CNG bude záviset na specifických potřebách, lokální dostupnosti infrastruktury a strategických energetických plánech. LNG může být vhodnější pro velké průmyslové aplikace a mezinárodní transport, zatímco CNG se nabízí jako řešení pro lokální dopravní systémy a osobní vozidla, kde jeho nízké emise a operativní efektivita vyniknou.

### 3.3 LPG: Definice a vlastnosti

Také nazývaný propan-butan. Vyrábí se v ropných rafinériích frakčním zkapalňováním ropných plynů nebo ze zemního plynu a je primárně používán v kapalné formě. Pro udržení jeho kapalné formy musí být skladován pod relativně nízkým tlakem a při chladnějších teplotách. Rozlišujeme směs letní (60 % butanu, 40 % propanu) a směs zimní (40 % butanu a 60 % propanu). [35]

Letní směs LPG je pro motor výhodnější z důvodu větší výhřevnosti butanu, díky kterému dosáhne motor menší spotřeby. Zimní směs má vyšší obsah propanu z důvodu lepšího odpařování i při teplotách pod bodem mrazu, a to zajistí potřebný tlak pro bezproblémový chod motoru. [36]

Hustota LPG je pro letní směs  $552 \text{ kg/m}^3$  a pro zimní směs  $538 \text{ kg/m}^3$ , respektive  $510 \text{ kg/m}^3$  pro propan a  $580 \text{ kg/m}^3$  pro butan. Výhřevnost propanu je  $46,60 \text{ MJ/kg}$  a výhřevnost butanu  $47,70 \text{ MJ/kg}$ . [35]

Průměrné emise LPG jsou mezi  $210 \text{ g}$  až  $270 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$ . Automobily poháněné LPG mají průměrně o 21 % menší uhlíkovou stopu než automobily, které jsou poháněné dieselem a benzínem, avšak mají lehce vyšší spotřebu. [37]

Výhodou LPG je, že se na něj vztahuje velmi nízká spotřební daň, což znamená, že jeho cena je průměrně o polovinu nižší než cena benzínu nebo nafty (u které spotřební daň tvoří skoro 55 % celkové ceny). Ke květnu 2024 lze tankovat LPG za průměrnou cenu  $18 \text{ Kč/l}$  na 918 čerpacích stanicích. [38]

### 3.3.1 Porovnání LPG s LNG

Při srovnání LPG (zkapalněná směs propan-butanu) a LNG (zkapalněný zemní plyn) si můžeme povšimnout mnoha výrazných rozdílů jak fyzikálních, chemických, energetických tak i ekonomických.

Výhodou LPG je jeho jednodušší skladování a přeprava, hlavně protože může být skladován pod nižším tlakem za relativně nízké teploty. LNG na druhou stranu musí být skladováno při teplotách  $-162 \text{ }^\circ\text{C}$ , ale při atmosférickém tlaku. Z tohoto důvodu je LPG mnohem snazší na skladování a dopravu.

Výhodou LNG je jeho vyšší výhřevnost ( $50 \text{ MJ/kg}$ ) než u LPG ( $46,60 \text{ MJ/kg}$  pro propan a  $47,70 \text{ MJ/kg}$  pro butan), avšak výroba LNG je energeticky velmi náročná a náročnější na manipulaci a přepravu. Také LPG je díky jeho letní a zimní směsi výrazně vhodnější pro motory a jejich chod.

Co se týče emisí, LPG má průměrné hodnoty emisí  $210 \text{ kg}$  až  $270 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$ , zatímco u LNG tyto hodnoty mohou dosahovat vyšších hodnot, hlavně kvůli jeho náročnosti na zkapalnění a dopravu. Dalším velkým problémem LNG mohou být úniky metanu, který je mnohem horší než  $\text{CO}_2$  a vyvolává rychlejší a intenzivnější oteplování atmosféry.

LNG také vyžaduje značné investice do infrastruktury jako jsou přepravní tankery a plovoucí nebo pevninské terminály pro příjem a jeho zplyňování, což má za následek vyšší cenu. U

LPG na druhé straně již najdeme rozšířenou síť čerpacích stanic a díky nízké spotřební dani se jedná pro spotřebitele o atraktivnější volbu, zejména v automobilovém průmyslu.

### 3.4 NG: Definice a vlastnosti

NG neboli zemní plyn je využívám pro své vysoké spektrum využití od vytápění, vaření, přes výrobu elektrické energie až po chemický průmysl. Rozděluje se na zemní plyn naftový, který se nachází společně s ložisky ropy a zemní plyn karbonský vyskytující se společně s ložisky uhlí. Obvykle se těží zemní plyn naftový, kdy těžba probíhá pomocí vrtů, které jsou umístěny obvykle do hloubky 3 km, maximálně do 8 km. [39]

Primární složkou zemního plynu je metan, který i určuje kvalitu zemního plynu (čím vyšší koncentrace, tím lepší kvalita). Zemní plyn je bezbarvý, nezapáchající, hořlavý plyn, lehčí než vzduch. Jeho hustota je  $0,69 \text{ kg/m}^3$  a výhřevnost  $34 \text{ MJ/m}^3$ . [39]

Problémem může být extrakce zemního plynu a jeho doprava při kterém často uniká metan, který je 30krát více výhřevný než  $\text{CO}_2$  ve 100letém horizontu. Pouze při 0,2 % úniku může mít zemní plyn stejný vliv na klimatickou změnu jako uhlí. [40]

Emise zemního plynu jsou  $200 \text{ g CO}_2 / \text{kWh}$ . [41]

Průměrná cena zemního plynu pro květen 2024 je  $1\,254 \text{ Kč/MWh}$  nebo  $1,25 \text{ Kč/kWh}$  a  $13,19 \text{ Kč/m}^3$  bez DPH. [42]

#### 3.4.1 Porovnání NG s LNG

Nevýhodou zemního plynu je jeho nutnost přepravy pomocí plynovodů, proto při mezi kontinentální přepravě je nutné zemní plyn zkapalnit na LNG. Také do oblastí bez plynovodů může být využití LNG lepší volbou.

LNG, s vysokou výhřevností  $50 \text{ MJ/kg}$ , je výhodné pro velkoobjemové energetické aplikace jako jsou elektrárny a průmyslové pece, kde je potřeba obrovské množství energie z malého objemu paliva. Zemní je s výhřevností  $34 \text{ MJ/m}^3$  energeticky o dost méně účinný na objem, ale jeho snadná dostupnost a variabilita využití od běžných domácností po průmysl činí z něj extrémně flexibilní zdroj energie.

Přestože LNG vyžaduje energeticky náročný proces zkapalnění, který může zvýšit jeho celkové emise skleníkových plynů, nabízí možnost snížení emisí  $\text{CO}_2$  na jednotku energie při spalování. Zásadním problémem obou zdrojů energie mohou být úniky metanu.

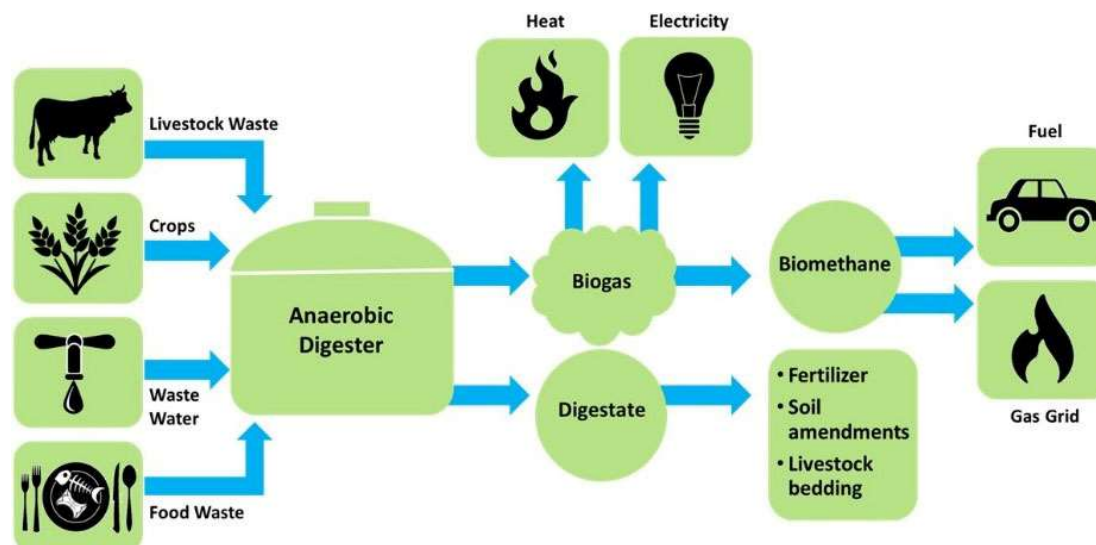
LNG vyžaduje o něco větší počáteční investice do infrastruktury, jako jsou zkapalňovací zařízení a speciální transportní a skladovací zařízení. Tato logistika se promítá do vyšší ceny

LNG ve srovnání se zemním plynem, který je obecně levnější díky nižším nákladům na distribuci a rozsáhlé dostupnosti přes plynovodní síť.

### 3.5 Biometan: Definice a vlastnosti

Biometan je obnovitelný zdroj energie, která vzniká vyčištěním bioplynu a obsahuje minimálně 95 % metanu. Složením je téměř identický se zemním plynem, rozdíl je pouze ve způsobu jeho získávání. [43]

Bioplyn je vyráběn z organického materiálu pomocí anaerobní digesce (biologický rozklad mikroorganismy bez přístupu vzduchu) v bioplynových stanicích. Organickým materiálem se rozumí například plodiny pěstované na polích, kukuřičná siláž, ale například i odpad biologického původu. Jako vedlejší produkt vzniká digestát, který je využíván jako organické hnojivo. [43]



Obrázek 8. Proces výroby bioplynu a jeho možné využití [44]

K roku 2023 se v České republice nacházelo celkem 540 bioplynových stanic s maximálním instalovaným výkonem 350,5 MW. [45]

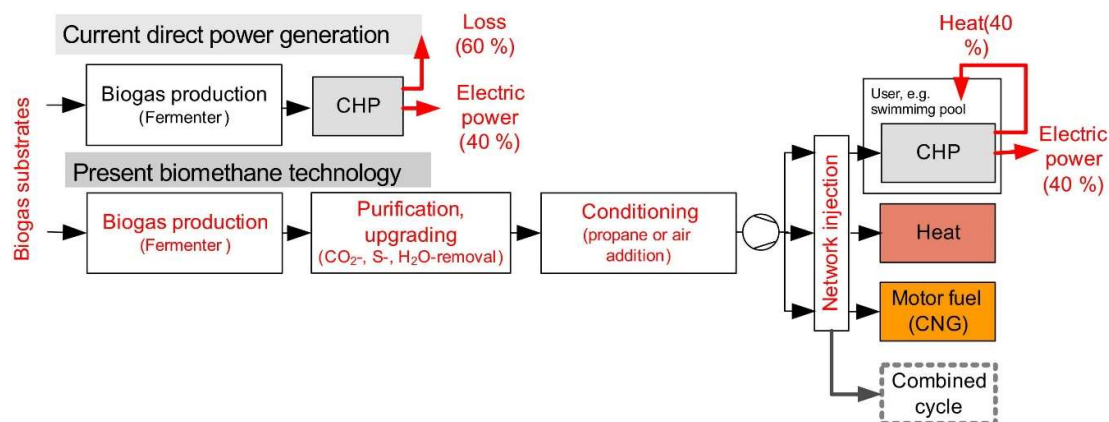
Biometan je možné používat stejným způsobem jako zemní plyn a také ho je možné vtlačet do plynárenské distribuční sítě. Jeho výhodou je nízká uhlíková stopa spolu s obnovitelností, avšak za cenu snížení produkce potravin na orné půdě a pěstováním plodin vhodných pro výrobu bioplynu, primárně kukuřice. [28]

Hustota biometanu musí být v rozmezí  $0,55 \text{ kg/m}^3$  až  $0,75 \text{ kg/m}^3$ . [46]

Z hlediska produkce skleníkových plynů můžeme biometan zařadit k jedním z nejčistších zdrojů energie, která je zároveň obnovitelná. Průměrné emise biometanu jsou pouhých  $44,6 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$ , což je až o 82 % méně než u zemního plynu. Při použití odpadních

organických látek místo pěstovaných plodin čistě pro účel výroby bioplynu se mohou snížit emise až o 97 % oproti zemnímu plynu. [18]

Určení ceny biometanu je poměrně problematické, jelikož se nejedná o klasickou komoditu obchodovatelnou na volném trhu, avšak se dá dále předpokládat, že cena výroby se pohybuje od 1 300 Kč/MWh do 2 700 Kč/MWh nebo od 1,3 Kč/kWh do 2,7 Kč/kWh v závislosti na použité komoditě pro jeho výrobu. [19]



Obrázek 9. Proces výroby biometanu [18]

### 3.5.1 BioLNG

BioLNG, také jinak nazývaný zkapalněný biometan, je obnovitelný zdroj energie vyráběný z biometanu. Jeho složení je téměř identické s LNG. LNG obsahuje 95 % metanu, zatímco BioLNG obsahuje až 99,8 % metanu. Proces výroby BioLNG je stejný jako u LNG a stejně tak i jeho využití. Hlavní výhodou BioLNG oproti LNG je jeho menší uhlíková stopa, protože se vyrábí z obnovitelných zdrojů a často lokálně, což snižuje potřebu přepravy na delší vzdálenosti. [47]

### 3.5.2 Porovnání biometanu s LNG

LNG je vyrobeno chlazením zemního plynu na  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což mu umožňuje zaujímat menší objem a být efektivněji přepravován na velké vzdálenosti. Zemní plyn, z kterého LNG vzniká, je těžen z přírodních zdrojů, což může být spojeno s rizikem úniku metanu a dalšími environmentálními dopady. Biometan naopak vzniká z organického odpadu a biomasy prostřednictvím procesu anaerobní digesce, při kterém mikroorganismy rozkládají organický materiál bez přístupu kyslíku. Tento proces nejenže recykluje odpad, ale také produkuje digestát, který lze využít jako hnojivo. Produkci biometanu se také podporuje lokální ekonomika a snižuje závislost na fosilních palivech.

Biometan je po vyčištění téměř identický se zemním plynem, což umožňuje jeho použití ve stejných aplikacích, včetně domácností, průmyslu a jako palivo pro vozidla. Může být také injektován přímo do existující plynárenské infrastruktury, což je značná výhoda. LNG, ačkoliv vyžaduje speciální infrastrukturu pro skladování a transport, nabízí vysokou energetickou hustotu a je ideální pro vysokospotřební aplikace a export na mezinárodní trhy.

Jedním z hlavních přínosů biometanu je jeho nízká uhlíková stopa. Emise  $CO_2$  jsou o 82 % nižší než u zemního plynu a při použití odpadních materiálů pro jeho produkci se mohou emise snížit až o 97 %. Biometan je také zcela obnovitelný zdroj, který pomáhá bojovat proti změně klimatu. Na druhé straně, LNG i přes veškeré své výhody při snižování emisí ve srovnání s uhlím nebo ropou, přináší určité environmentální výzvy, včetně potenciálních úniků metanu při extrakci a zkapalňování zemního plynu, které mohou zvyšovat jeho celkový skleníkový efekt.

Cena biometanu se může lišit na základě použité suroviny a je obecně vyšší než cena LNG nebo tradičního zemního plynu, což je dáno jeho udržitelnou a komplexní produkcí. Avšak investice do biometanu může přinášet dlouhodobé ekonomické a environmentální výhody, včetně podpory lokálních zemědělských a odpadových průmyslových odvětví.

LNG je často využíván v energetice pro výrobu elektřiny a v průmyslu, kde jeho vysoká energetická hustota a schopnost snižovat emise hrají klíčovou roli. Dále je LNG používáno v námořní dopravě jako palivo, které pomáhá snižovat emise oxidů síry a dusíku. Biometan se stává atraktivní volbou pro městskou a veřejnou dopravu, zejména tam, kde je dostupná infrastruktura pro CNG, neboť může být použit bez potřeby dalších technologických úprav. Rovněž se hodí pro vytápění domácností a průmyslové aplikace, a to zejména v regionech s dobře rozvinutou distribuční sítí pro zemní plyn.

Biometan má díky svému nízkému dopadu na životní prostředí a obnovitelnosti potenciál stát se klíčovým hráčem v politikách zaměřených na snížení uhlíkové stopy a podporu obnovitelných zdrojů energie. Je také možné, že s růstem technologií a zlepšením výrobních procesů dojde k poklesu nákladů na jeho produkci, což zvýší jeho konkurenceschopnost vůči tradičním zdrojům energie. LNG zůstává důležitým řešením pro situace vyžadující vysokou energetickou hustotu a efektivní logistiku, avšak jeho budoucnost bude pravděpodobně ovlivněna jak technologickými inovacemi, tak mezinárodními regulacemi týkajícími se emisí skleníkových plynů. V kontextu současného posunu k udržitelnějším zdrojům energie a snaze o dekarbonizaci energetiky může biometan hrát stále významnější roli, zatímco LNG

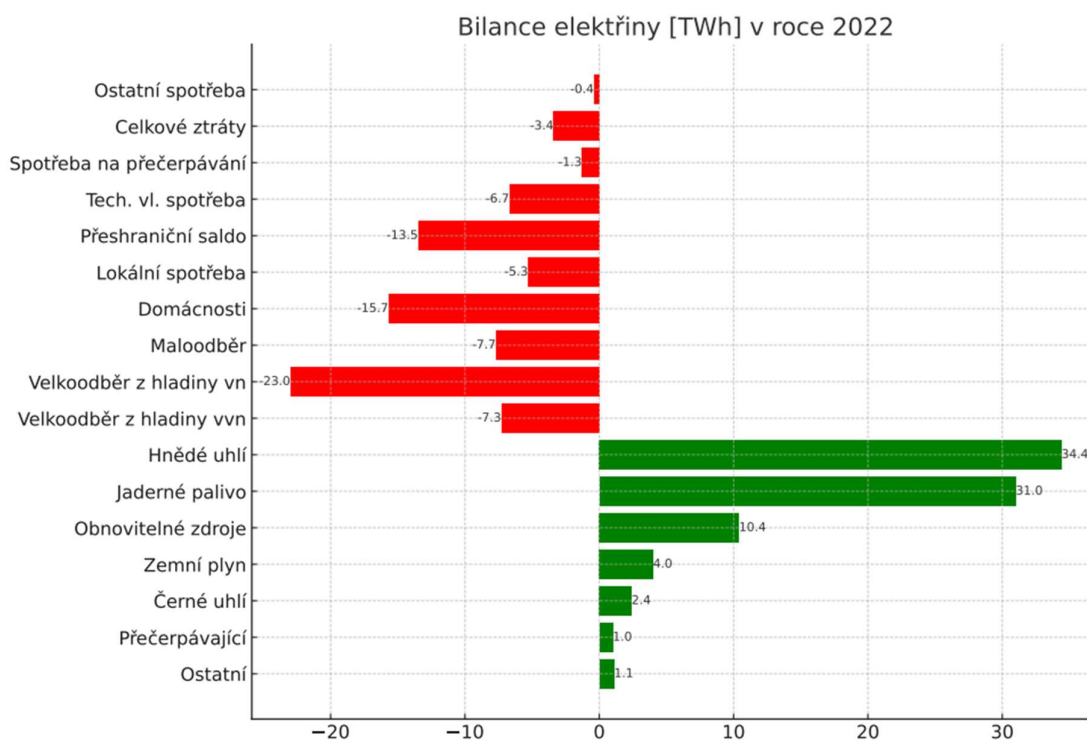
bude pravděpodobně nadále klíčovým řešením v přechodném období na cestě k bezuhlíkové budoucnosti.



## 4 PROGNOZA

Zkapalněný zemní plyn (LNG) hraje klíčovou roli v současném energetickém mixu mnoha zemí, který se ale skládá stále primárně z uhlí a ropy. V posledních desetiletích se význam LNG značně zvýšil nejen díky schopnosti více efektivněji přepravovat zemní plyn přes oceány a kontinenty. V současné době narůstá jeho popularita hlavně v Evropě z důvodu války na Ukrajině a uvalení sankcí na ruský plyn a ropu. Také velkým problémem je dovoz zemního plynu a ropy ze zemí s nestabilní politickou situací (jako například právě Rusko, nebo střední východ), a proto je snaha o co největší diverzifikaci zdrojů energie a snaha o dovoz například LNG z politicky stabilních států jako například USA nebo Austrálie.

LNG je zemní plyn, který byl zkapalněn ochlazením na teploty okolo  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což zmenšuje jeho objem a umožňuje efektivnější skladování a přepravu. Tato technologie se stala stále populárnější jako způsob, jak diverzifikovat zdroje energie, a hlavně snížit emise skleníkových plynů oproti tradičním fosilním palivům, jako je uhlí a ropa.

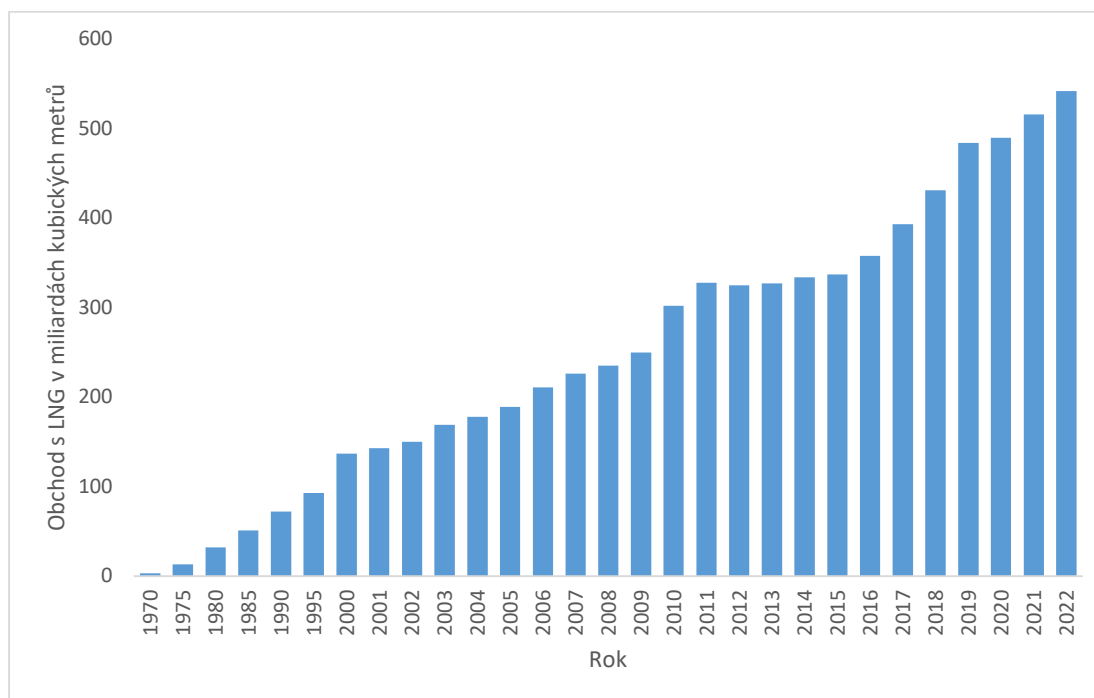


Obrázek 10. Výroba a využití elektrické energie v ČR v roce 2022 [vlastní]

Jak lze vidět v grafu nahoře, v roce 2022 se v České republice stále používá hnědé uhlí jako hlavní zdroj energie, následované jadernou energií. Obnovitelné zdroje energie také nabývají na popularitě. Zemní plyn, kam řadíme i LNG, který se zpětně zplyňuje a přepravuje

plynovody na místa určení, se řadí na čtvrté místo a využívá se primárně k výrobě elektrické energie.

Myslím si, že abychom splnili cíle evropského Green Dealu, je nutné nahradit výrobu elektřiny z hnědého i černého uhlí a také ropy. Jaderná energie, kterou Evropská unie označila jako zelený zdroj, může být jedním z klíčovým řešení. Další možností je LNG, které, i když není dokonalým zdrojem energie, může pomoci při přechodu k obnovitelným zdrojům energie a zajistit určitou energetickou stabilitu.



Obrázek 11. Obchod s LNG od roku 1970-2022 v miliardách  $m^3$  [vlastní]

Není tajemstvím, že trh s LNG zažívá obrovský růst, a můžeme očekávat, že tento trend bude pokračovat minimálně do roku 2030, kdy by roční objem obchodu s LNG by mohl dosáhnout 700 – 800 miliard  $m^3$ .

#### 4.1 Pozitivní prognóza

Zkapalněný zemní plyn představuje klíčový prvek v boji proti klimatickým změnám díky své schopnosti snižovat emise skleníkových plynů ve srovnání s jinými fosilními palivy. Při spalování LNG se do atmosféry uvolňuje přibližně o 45 % méně  $CO_2$  než při spalování uhlí a o 30 % méně než při spalování ropy. Tento faktor je zvláště relevantní pro sektor výroby elektrické energie, kde LNG nabízí efektivní alternativu k uhlí. Dále LNG významně snižuje

emise oxidů síry, oxidů dusíku a téměř eliminuje emise pevných částic, což přispívá ke zlepšení kvality ovzduší a snižuje zdravotní rizika spojená s kvalitou vzduchu.

Jedním z hlavních přínosů LNG je jeho role ve zvyšování energetické bezpečnosti a diverzifikace dodavatelských zdrojů. Země využívající LNG nejsou vázány na plynovody a mohou tedy importovat plyn z různých regionů světa, což snižuje geopolitická rizika a závislost na jednotlivých dodavatelích. To umožňuje flexibilnější reakci na politické nebo tržní turbulence. Například, Japonsko a Jižní Korea jsou silně závislé na dovozu energie a LNG jim umožňuje zabezpečit energetické potřeby bez velkých investic do infrastruktury spojené s alternativními zdroji energie.

Flexibilita LNG je dalším klíčovým aspektem, který umožňuje rychlou adaptaci na změny v energetické poptávce. LNG terminály mohou být navrhovány a postaveny relativně rychle ve srovnání s jinými energetickými infrastrukturami, jako jsou jaderné nebo uhelné elektrárny. Další výhodou je možnost postupně navyšovat kapacity stávajících LNG terminálů bez nutnosti obrovských počátečních investic. LNG také poskytuje klíčovou záložní kapacitu pro země, které se snaží zvýšit podíl obnovitelných zdrojů energie v jejich energetickém mixu, pomáhá vyrovnávat kolísání výroby potřebné energie z obnovitelných zdrojů a zajišťuje stabilní dodávky energie v obdobích, kdy produkce z obnovitelných zdrojů klesá.

Kromě přímých přínosů v oblasti snižování emisí a zvyšování energetické bezpečnosti, LNG může hrát klíčovou roli v podpoře obnovitelných zdrojů energie. Díky své rychlé reaktivitě na poptávku může LNG efektivně doplňovat obnovitelné zdroje, jako jsou větrné a solární elektrárny, které mohou mít nepravidelnou výrobu v závislosti na počasí a denním čase. Tím pomáhá udržet stabilitu sítě a zajišťuje kontinuitu dodávek elektrické energie i v obdobích, kdy výroba z obnovitelných nebo jiných zdrojů není dostatečná.

## 4.2 Negativní prognóza

I když LNG produkuje méně emisí skleníkových plynů než tradiční fosilní paliva, stále přináší značná environmentální rizika. Podstatnou obavou je únik metanu, který má ve srovnání s oxidem uhličitým přibližně 30krát větší schopnost zachycovat teplo v atmosféře během 100 let. Úniky mohou nastat na jakémkoli bodě dodavatelského řetězce, od těžby až po distribuci, což může narušit některé z klimatických výhod LNG. Navíc zkapalňovací proces vyžaduje vysokou spotřebu energie, což může zvýšit celkové emise skleníkových plynů, pokud není energie získávána z obnovitelných zdrojů.

Manipulace s LNG představuje značná bezpečnostní rizika kvůli jeho extrémně nízkým teplotám a potenciálu pro vznícení. Kontakt LNG s vodou může vést k rychlému vypařování, což může způsobit exploze. Pro lepší zajištění bezpečnosti jsou zapotřebí speciální materiály a technologie, a přísné dodržování bezpečnostních protokolů. Příkladem může být výbuch v Alžírské Skikdě v roce 2004, kde zemřelo 23 lidí a 74 jich bylo zraněno.

LNG projekty vyžadují obrovské počáteční kapitálové výdaje, které mohou být ekonomicky náročné, zejména pro rozvojové země. Náklady na zkapalňovací a regasifikační zařízení, spolu s potřebou specializovaných tankerů pro přepravu LNG, mohou ovlivnit ekonomickou životaschopnost těchto projektů. Politické faktory také hrají roli, protože země závislé na dovozu LNG mohou být vystaveny geopolitickému riziku a cenovým šokům, což může vést k nestabilitě v energetickém zabezpečení.

Region	Import terminals				Export terminals			
	Onshore		Floating		Onshore		Floating	
	Cost (US\$ million per mtpa)	Number of data points	Cost (US\$ million per mtpa)	Number of data points	Cost (US\$ million per mtpa)	Number of data points	Cost (US\$ million per mtpa)	Number of data points
Africa	386.3	2	165.3	2	679.2	6	669.4	5
Americas	301.8	4	165.3	13	634.6	7	669.4	4
Europe	444.7	7	165.3	19	1150.1	8	669.4	2
Oceania	386.3	0	165.3	4	770.0	6	669.4	0
<b>Global</b>	<b>386.3</b>	<b>35</b>	<b>165.3</b>	<b>38</b>	<b>783.5</b>	<b>61</b>	<b>669.4</b>	<b>18</b>

Obrázek 12. Odhadovaná cena vybudování LNG stanic [22]

Cena LNG terminálů se pohybuje v řádu stovek milionů dolarů, jak ukazuje tabulka. Nejlevnější jsou plovoucí stanice pro příjem LNG, které stojí přibližně 165,3 milionů dolarů. Naopak nejdražší jsou pevninské terminály pro export LNG, jejichž cena se odhaduje na 783,5 milionů dolarů.

Ačkoli LNG může fungovat jako přechodné řešení směrem k čistším formám energie, existují obavy z jeho dlouhodobé udržitelnosti. Spoléhání na LNG může potenciálně oddálit nebo omezit investice do plně obnovitelných zdrojů, jako jsou větrné a solární technologie. Tato závislost by mohla zpomalit globální úsilí o dosažení dlouhodobých klimatických cílů stanovených v Pařížské dohodě.

### 4.3 Realistický výhled do budoucna

Pokrok v technologii LNG může zahrnovat vývoj nových metod zkapalňování, které jsou energeticky méně náročné, čímž se sníží celková uhlíková stopa procesu. Například využití pokročilých kryogenních technologií může výrazně snížit spotřebu energie, která je potřebná k ochlazení plynu na jeho zkapalňovací bod. Dále integrace obnovitelných zdrojů energie do provozu LNG zařízení může dále snížit závislost na fosilních palivech a zlepšit udržitelnost celého výrobního procesu LNG.

Bezpečnostní rizika spojená s LNG mohou být minimalizována prostřednictvím vývoje lepších detekčních systémů pro úniky plynu a vylepšených bezpečnostních protokolů. Moderní technologie, jako je umělá inteligence a senzorové sítě, mohou poskytovat monitoring v reálném čase a rychlou reakci na potenciální hrozby, čímž se výrazně zvýší bezpečnost výroby, přepravy a skladování LNG.

Zvýšený zájem o klimatické změny a udržitelnost může vést k přísnějším regulacím týkajícím se výstavby nových LNG infrastruktur a operací. Například by vlády mohli zavést vyšší daně na fosilní paliva nebo stanovit limity pro emise skleníkových plynů, což by mělo dopad na ekonomiku LNG. V některých regionech můžeme očekávat i legislativní podporu pro výzkum a vývoj v oblasti čistších technologií zkapalňování a následné regasifikace.

S rostoucí konkurenceschopností obnovitelných zdrojů energie a poklesem jejich cen může LNG čelit tlaku na trhu. Je pravděpodobné, že ekonomika LNG se bude muset adaptovat na změny v cenách a dostupnosti energie. To může vést k posunu v investicích od fosilních paliv k obnovitelným zdrojům, pokud se tyto technologie stanou cenově a operativně výhodnějšími.

V dlouhodobém horizontu bude role LNG jako přechodného energetického zdroje záviset na jeho schopnosti adaptovat se na rychle se měnící energetické trhy a environmentální standardy. Bude klíčové sledovat, jak se LNG vyvíjí v kontextu globálních snah o dekarbonizaci a jak se technologie mění k zajištění jeho udržitelného využití v budoucnosti.

## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se věnovala komplexnímu zkoumání bezpečnosti a využití zkapalněného zemního plynu v kontextu současné energetické scény. Z teoretické části vyplynulo, že LNG představuje významnou alternativu k tradičním zdrojům energie, zejména díky své vysoké efektivitě v oblastech, kde jsou výrazně omezené možnosti připojení k plynovodům. Práce dále poukázala na vysokou energetickou hustotu LNG, což umožňuje jeho efektivní transport a skladování. Navíc, výhody LNG nejsou omezeny pouze na energetickou efektivitu, ale zahrnují také nižší emise skleníkových plynů ve srovnání s uhlím a ropou, což přispívá k jeho rostoucí popularitě jakožto 'čistší' alternativy v boji proti klimatickým změnám

V praktické části práce bylo provedeno porovnání LNG, CNG, LPG, NG a Biometanu. Analýza ukázala, že každý z těchto zdrojů má specifické výhody a omezení, které jsou zásadní pro určení jejich vhodnosti v různých aplikacích. LNG se vyznačuje vysokou energetickou efektivitou a relativně nižšími emisemi, což ho činí ideálním pro využití ve velkých energetických projektech a jako palivo pro námořní a těžkou dopravu. CNG, přestože vyžaduje komplexnější a dražší infrastrukturu pro skladování a distribuci, nabízí výhody v aplikacích, kde je dostupnost plynu omezená a kde jsou potřeba kratší distribuční sítě. LPG je zase flexibilnější co se týče skladovacích a transportních požadavků a je široce využíván v domácnostech. NG zůstává hlavním pilířem pro stacionární energetické aplikace díky své široké dostupnosti a nízkým provozním nákladům. Biometan, který se obvykle získává z biologického rozkladu organických materiálů, představuje obnovitelný zdroj, který může hrát klíčovou roli v dekarbonizaci energetického sektoru, ačkoliv jeho aktuální výrobní kapacita a náklady na technologie zůstávají výzvami pro jeho širší nasazení.

Tato komparativní analýza poskytla důležité informace pro strategické rozhodování v oblasti energetiky, zejména v kontextu rostoucích regulatorních a environmentálních tlaků. Identifikace všech zásadních faktorů, jako jsou náklady, dostupnost, bezpečnostní požadavky a environmentální dopady, umožňuje lepší pochopení, jak mohou různé zdroje plynu efektivně spolupracovat nebo se substituovat, aby splnily specifické energetické potřeby a současně podpořily udržitelný rozvoj.

Je potřeba dalšího výzkumu a rozvoje technologií pro výrazně efektivnější využití a distribuce LNG a ostatních plynů, zvláště v kontextu jejich bezpečnosti a environmentálních dopadů. Také zdůrazňuje význam mezinárodní spolupráce a standardizace regulací, které by

podpořily širší adopci a optimalizaci těchto energetických zdrojů. Výsledky práce ukazují, že přestože LNG má potenciál stát se klíčovým hráčem v udržitelné energetické transformaci, je důležité řešit jeho výzvy, jako jsou infrastrukturní požadavky a potenciální rizika úniků a emisí.

Na základě těchto zjištění byla provedena prognóza a doporučuji, aby politiky a investiční strategie reflektovaly dynamický vývoj v oblasti energetiky a přizpůsobily se proměnlivým podmínkám trhu a technologickým pokrokům, které by mohly zásadně ovlivnit budoucí využití a efektivitu těchto zdrojů energie. O něco větší důraz by měl být také kladen na inovace v technologiích skladování a regasifikace, stejně jako na vývoj udržitelnějších zdrojů, jako je biometan, které mohou posílit energetickou bezpečnost a současně minimalizovat negativní dopady na životní prostředí.

**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 978-80-7623-016-3.
- [2] PRŮMYSLOVÁ EKOLOGIE. *LNG jako palivo budoucnosti? Do 10 let by na něj mohlo jezdit až 6900 českých tahačů*. Online. Průmyslová ekologie.cz. Dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz/info/lng-jako-palivo-budoucnosti-do-10-let-by-na-nej-mohlo-jezdit-az-6900-ceskych-tahacu>. [cit. 2024-01-17].
- [3] TUSIANI, Michael D. a Gordon SHEARER. LNG: fuel for a changing world : a nontechnical guide. 2ND Edition. Tulsa, Oklahoma: PennWell Corporation, [2016]. ISBN 9781593703691.
- [4] SMRŽ, Václav. Zkapalňování a využití LNG. Bakalářská práce. Praha: Vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2021.
- [5] SRIDHARAN, Varshneya. *Precision is Key in LNG Full Containment Tanks-Part 1*. Online. Emerson. 2021. Dostupné z: <https://www.emersonautomationexperts.com/2021/measurement-instrumentation/tank-gauging/precision-measurements-lng-full-containment-tanks-part-1/>. [cit. 2024-01-18].
- [6] VANEM, Erik; ANTÃO, Pedro; DEL CASTILLO COMAS, Francisco a SKJONG, Rolf. *Formal Safety Assessment of LNG Tankers*. PDF. Houston, Texas, USA: American Bureau of Shipping, 2007. Dostupné také z: [https://www.researchgate.net/publication/281273707\\_Formal\\_Safety\\_Assessment\\_of\\_LNG\\_tankers](https://www.researchgate.net/publication/281273707_Formal_Safety_Assessment_of_LNG_tankers).
- [7] Europe Gas Tracker. Online. GLOBAL ENERGY MONITOR. Global Energy Monitor. Dostupné z: <https://globalenergymonitor.org/projects/europe-gas-tracker/>. [cit. 2024-05-23].
- [8] SEMASKAITE, Vigaile a BOGDEVICIUS, Marijonas. *Liquefied Natural Gas Regasification Technologies: Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. PDF. Vilnius, Lithuania: Springer, 2022. Dostupné také z: [https://www.researchgate.net/publication/358049320\\_Liquefied\\_Natural\\_Gas\\_Regasification\\_Technologies/link/61f25a938d338833e39b773e/download?tp=eyJjb250Z](https://www.researchgate.net/publication/358049320_Liquefied_Natural_Gas_Regasification_Technologies/link/61f25a938d338833e39b773e/download?tp=eyJjb250Z)



[Xh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmXPY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmXPY2F0aW9uIn19](#)

- [9] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN ISO 16924, *Plnicí stanice na zemní plyn - LNG stanice pro plnění vozidel*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [10] *Komentář normy ČSN EN ISO 16 924 Plnicí stanice na zemní plyn – LNG stanice pro plnění vozidel (R 3.2)*. Online. In: Profesis ČKAIT. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/r-3-2/>. [cit. 2024-05-24].
- [11] Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb. In: . 2008. Vyhláška č. 23/2008 Sb.
- [12] BUDÍN, Jan. *Plynárenství v ČR - dodávka plynu a základní statistik*. Online. In: OEnergetice.cz. 5. 3.2015n. 1. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/plynarenstvi-v-cr-dodavka-plynu-zakladni-statistiky>. [cit. 2024-05-24].
- [13] KOVÁŘÍK, Karel. *Druhy plynovodů podle tlaku*. PDF. Plzeň. Dostupné také z: <http://iucebna.kakov.cz/>. Podklady pro studenty plynárenství (instalatér 2. ročník), SOU stavební Plzeň.
- [14] *Přepavní soustava*. Online. In: NET4GAS, S.R.O. 2016. 2016. Dostupné z: <https://www.net4gas.cz/cz/prepravni-soustava/>. [cit. 2024-05-24]. Obrázek z webu.
- [15] *Regulační stanice plynu (RS)*. Online. In: GASCONTROL. <https://www.gascontrol.cz/>. Dostupné z: <https://www.gascontrol.cz/plynarenske-technologie/regulacni-stanice/>. [cit. 2024-05-24].
- [16] HROZEK, Dian. *Zásobníky plynu v České republice*. Online. In: OEnergetice.CZ. OEnergetice.cz. 2022. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/zasobniky-plynu-v-cr>. [cit. 2024-05-24].
- [17] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN ISO 13480, *Kovová průmyslová potrubí*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [18] ADEL T, Marius; WOLF, Dieter a VOGEL, Alexander. *LCA of biomethane*. Online. In: ScienceDirect.com. 2011. Dostupné z: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875510011000734?casa\\_token=ScjIZT2X-WEAAAAA:Ln50KVi78f4SaUeD1Y0z1InewUvds96BCe5lfiG3pJ\\_mZDwEi5Z0N](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875510011000734?casa_token=ScjIZT2X-WEAAAAA:Ln50KVi78f4SaUeD1Y0z1InewUvds96BCe5lfiG3pJ_mZDwEi5Z0N)

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510011000734?casa\\_token=ScjIZT2X-WEAAAAA:Ln50KVi78f4SaUeD1Y0z1lnewUvds96BCe5lflG3pJ\\_mZDwEi5Z0N-OcYRTOXJfNZDTaWWQuFjxo#sec6](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510011000734?casa_token=ScjIZT2X-WEAAAAA:Ln50KVi78f4SaUeD1Y0z1lnewUvds96BCe5lflG3pJ_mZDwEi5Z0N-OcYRTOXJfNZDTaWWQuFjxo#sec6). [cit. 2024-05-24].

- [19] HAITL, Martin. *Biometan: - kde je vůle, tam je cesta?* Online. In: MIKROP ČEBÍN A.S. Mikrop. 10.10. 2023n. l. Dostupné z: <https://www.mikrop.cz/magazin/biometan-kde-je-vule~m1546>. [cit. 2024-05-24].
- [20] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN ISO 1594, Zařízení pro zásobování plynem - Plynovody s nejvyšším provozním tlakem nad 16 bar - Funkční požadavky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [21] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN ISO 3864, Grafické značky - Bezpečnostní barvy a bezpečnostní značky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [22] AHMAD, Zaki. *Cathodic Protection*. Online. In: ScienceDirect.com. 2006. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/cathodic-protection>. [cit. 2024-05-24].
- [23] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 12954, Obecné zásady katodické ochrany pozemních kovových zařízení uložených v půdě nebo ve vodě. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [24] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN ISO 21809, Naftový a plynárenský průmysl - Vnější povlaky potrubí uložených v zemi nebo ve vodě používaných v potrubních přepravních systémech. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [25] *LNG - zkapalněný zemní plyn*. Online. VÝCHODOČESKÉ PLYNÁRENSKÉ STROJÍRNY, A.S. VPSR. 2024. Dostupné z: <https://www.vpsr.cz/lng#:~:text=V%20porovn%C3%A1n%C3%AD%20s%20plynn%C3%BDm%20zemn%C3%ADm%20plynem%20%28NG%29%20zauj%C3%ADm%C3%A1,udr%C5%BEov%C3%A1n%20p%C5%99i%20teplot%C4%9B%20-162%20%C2%B0C%20a%20atmosf%C3%A9rick%C3%A9m%20tlaku...>. [cit. 2024-01-18].

- [26] ABRAHAMS, Leslie S.; SAMARAS, Constantine; GRIFFIN, W. Michael a MATTHEWS, H. Scott. *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions From U.S. Liquefied Natural Gas Exports: Implications for End Uses*. Online. In: ACS Publications. 2015. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es505617p>. [cit. 2024-05-24].
- [27] LNG: *Liquefied Natural Gas*. Online. In: UTA. Dostupné z: <https://web.uta.com/en/liquefied-petroleum-gas-lng>. [cit. 2024-05-24].
- [28] *Díky LNG zajistíme třetinu české spotřeby plynu*. Online. In: ČEZ, A. S. Skupina ČEZ. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/lng-terminal>. [cit. 2024-05-24].
- [29] GAZDÍK, Roman. *ČR posiluje dlouhodobou energetickou bezpečnost v LNG. ČEZ získal kapacitu v německém terminálu Stade*. Online. In: ČEZ, A. S. Skupina ČEZ. 2023. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/cr-posiluje-dlouhodobou-energetickou-bezpecnost-v-lng.-cez-ziskal-kapacitu-v-nemeckem-terminalu-stade-184910>. [cit. 2024-05-24].
- [30] *Zkapalněný zemní plyn*. Online. In: KURZY.CZ, SPOL. S R.O., Kurzy.cz. Dostupné z: [https://wiki.kurzy.cz/Zkapaln%C4%9Bn%C3%BD\\_zemn%C3%AD\\_plyn/](https://wiki.kurzy.cz/Zkapaln%C4%9Bn%C3%BD_zemn%C3%AD_plyn/). [cit. 2024-05-24].
- [31] IMRAN KHAN, Muhammad; YASMIN, Tabassum a SHAKOOR, Abdul. *Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel*. Online. In: ScienceDirect.com. 2015. Dostupné z: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115006255?casa\\_token=7nDPeTzMh80AAAAA:4lnCmgtLDzq4qJCcGQTmn0TqojvSbXxPyKCucg6YB0NaHXfy1C1xfVtPVWqgVTcGN8YKhKC1K4o#f0040](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115006255?casa_token=7nDPeTzMh80AAAAA:4lnCmgtLDzq4qJCcGQTmn0TqojvSbXxPyKCucg6YB0NaHXfy1C1xfVtPVWqgVTcGN8YKhKC1K4o#f0040). [cit. 2024-05-24].
- [32] *Technology Type Group: Vehicle and fuel technologies*. Online. In: CTCN. Dostupné z: <https://www.ctc-n.org/technology-library/vehicle-and-fuel-technologies/compressed-natural-gas-cng-fuel>. [cit. 2024-05-24].
- [33] CNG+. Online. Dostupné z: <https://www.cngplus.cz/>. [cit. 2024-05-24].
- [34] DUSIL, Tomáš. *Přestavby vozidel na CNG: Proč jsou méně populární, když dávají smysl?* Online. In: Auto.cz. 2019. Dostupné z: <https://www.auto.cz/prestavby-vozidel-na-cng-proc-jsou-mene-popularni-kdyz-davaji-smysl-129215>. [cit. 2024-05-24].

- [35] *LETNÍ A ZIMNÍ SMĚS LPG*. Online. In: LPG Obchod. Dostupné z: <https://www.lpg-obchod.cz/co-je-lpg/>. [cit. 2024-05-24].
- [36] TRYNER, Miroslav. *Jezdíte na lpg? Nezapomeňte na zimní plnicí směs, ať vám mrazy nezpůsobí potíže*. Online. In: Euro.cz. 23.11. 2018n. 1. Dostupné z: <https://www.euro.cz/clanky/lpg-zimni-smes-propan-butanu-mraz-spravny-chod-motoru-1429713/>. [cit. 2024-05-24].
- [37] SMOOT, Grace. *What Is the Carbon Footprint of LPG? A Life-Cycle Assessment*. Online. In: Impactful Ninja. Dostupné z: <https://impactful.ninja/the-carbon-footprint-of-lpg/>. [cit. 2024-05-24].
- [38] DUŠEK, Luděk a ŠTĚPÁN, Petr. *Evidence čerpacích stanic pohonných hmot: Zpráva o aktualizaci a stavu, Evidence čerpacích stanic pohonných hmot v ČR k 31. 12. 2017*. PDF. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2018. Dostupné také z: [https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/statistika/statistika-cerpacich-panic-pohonných-hmot/2018/1/Zprava\\_Evidence\\_2017\\_2pol\\_1.pdf](https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/statistika/statistika-cerpacich-panic-pohonných-hmot/2018/1/Zprava_Evidence_2017_2pol_1.pdf). Zpráva od Ministerstva průmyslu a obchodu.
- [39] BUDÍN, Jan. *Zemní plyn - těžba, vlastnosti a rozdělení*. Online. In: OEnergetice.cz. 12.4. 2015n. 1. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/zemni-plyn-tezba-vlastnosti-a-rozdeleni>. [cit. 2024-05-24].
- [40] GORDON, Deborah a HUGHES, Shannon. *Reality Check: Natural Gas's True Climate Risk*. Online. In: RMI. 2023. Dostupné z: <https://rmi.org/reality-check-natural-gas-true-climate-risk/>. [cit. 2024-05-24].
- [41] DOLEŽEL, Jiří. *Výpočet úspor emisí oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)*. Online. In: Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2006. Dostupné z: <https://www.mpo.gov.cz/dokument6794.html>. [cit. 2024-05-24].
- [42] *Cena plynu za m<sup>3</sup> v roce 2024*. Online. In: Ušetřeno.cz. 2024. Dostupné z: <https://www.usetreno.cz/energie-plynu/cena-plynu-za-m3/>. [cit. 2024-05-24].
- [43] *Výroba biometanu*. Online. In: AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. Air products. Dostupné z: <https://www.airproducts.cz/industries/biomethane-production>. [cit. 2024-05-24].
- [44] TANIGAWA, Sara, STOLARK, Jessie (ed.). *Fact Sheet | Biogas: Converting Waste to Energy*. Online. In: ENVIRONMENTAL AND ENERGY STUDY INSTITUTE.

Environmental and Energy Study Institute. 2017. Dostupné z: <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-biogasconverting-waste-to-energy>. [cit. 2024-05-24].

[45] *Česká bioplynová asociace*. Online. Dostupné z: <https://www.czba.cz/>. [cit. 2024-05-24].

[46] *DO HODNOTOVÉHO ŘETĚZCE VÝROBY BIOMETANU: BIOMETAN JAKO ALTERNATIVA K E-MOBILITĚ*. Online. In: Agriportance. Dostupné z: <https://agriportance.com/cs/blog/uvod-do-hodnotoveho-retezce-vyroby-biometanu/>. [cit. 2024-05-24].

[47] *Co je BioLNG*. Online. In: MEGA. Dostupné z: <https://www.mega.cz/cs/biolng/>. [cit. 2024-05-24].

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

AAV	Vaporizér s okolním vzduchem
CNG	Stlačený zemní plyn
C3-MR	Směsné chladivo předchlazené propanem
$CO_2$	Oxid uhličitý
DMR	Proces s dvojitým smíšeným chladivem
ESD	Zařízení pro nouzové vypnutí
IFV	Vaporizér s prostředním médiem
LNG	Zkapalněný zemní plyn
LPG	Zkapalněný ropný plyn
MCHE	hlavního kryogenního výměníku tepla
NG	Zemní plyn
ORV	Vaporizér na otevřeném stojanu
PE	Polyethylenové povlaky
PP	Polypropylenové povlaky
SCV	Vaporizér s ponořeným spalováním

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obrázek 1. Znázornění dílčích energetických transformací technologie LNG [1].....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 2. Nádrž s úplným zabezpečením [3].....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 3. Mapa sítě plynovodů v Evropě [7] .....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 4. Evropské plynovody ve výstavbě [7].....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 5. Mapa přepravní soupravy [14] .....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 6. Geometrické tvary a barvy pro bezpečnostní značky [21] .....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 7. Vlastnosti LNG [8] .....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 8. Proces výroby bioplynu a jeho možné využití [44].....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 9. Proces výroby biometanu [18] .....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 10. Výroba a využití elektrické energie v ČR v roce 2022 [vlastní] .....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 11. Obchod s LNG od roku 1970-2022 v miliardách m<sup>3</sup> [vlastní] .....</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 12. Odhadovaná cena vybudování LNG stanic [22] .....</i>	<i>52</i>

