

# Bezpečnost a využití LNG v energetice

Skopal Pavel

---

Bakalářská práce  
2023



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. Uveďte bezpečnostní požadavky na výstavbu a konstrukci LNG stanic.
3. Popište přepravní řetězec LNG.
4. Uveďte relevantní právní a strategické dokumenty z pohledu využití LNG v energetice.
5. Proveďte 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: **26. července 2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **23. srpna 2024**



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

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

Ve Zlíně dne 26. července 2024

### **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 2.6. 2024

Pavel Skopal, v. r.  
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>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>12</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ INFRASTRUKTURA LNG TECHNOLOGIE.....</b>	<b>13</b>
1.1 ÚVOD DO LNG TECHNOLOGIE.....	13
1.1.1 Význam a role LNG v současném energetickém sektoru .....	13
1.1.2 Základní přehled procesů a technologií spojených s LNG .....	14
1.2 ZKAPALŇOVÁNÍ ZEMNÍHO PLYNU.....	15
1.2.1 Zkapalňovací závody .....	15
1.2.2 Kaskádová technologie zkapalnění .....	16
1.2.3 AP-C3MR technologie.....	16
1.3 SKLADOVÁNÍ A TRANSPORT LNG .....	17
1.3.1 Typy zásobníků .....	18
1.3.2 LNG tankery.....	19
1.3.3 Převaha zemního plynu potrubní sítí .....	20
1.4 REGASIFIKACE .....	22
<b>2 BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY NA VÝSTAVBU A KONSTRUKCI LNG INFRASTRUKTURY.....</b>	<b>24</b>
2.1 OBECNÉ POŽADAVKY NA KONSTRUKCI LNG STANIC .....	24
2.1.1 Budovy a stavby .....	24
2.1.2 Materiál .....	25
2.2 UMÍSTĚNÍ JEDNOTLIVÝCH KOMPONENTŮ LNG STANICE .....	25
2.2.1 Odpařovací zařízení .....	25
2.2.2 Sekce komprimovaného zemního plynu .....	26
2.2.3 Elektrická zařízení.....	26
2.2.4 Infrastruktura.....	27
2.3 SKLADOVÁNÍ LNG.....	27
2.3.1 Vnitřní kontejner .....	28
2.3.2 Upevňovací systém .....	28
2.3.3 Drenážní systém .....	28
2.3.4 Trubky a ventily .....	29
2.4 SYSTÉMY KONTROLY .....	29
2.4.1 Detektory plynu.....	29
2.4.2 Hlásiče požáru .....	30
2.4.3 Zařízení pro nouzové vypnutí (ESD) .....	30
2.5 ZABEZPEČENÍ LNG STANIC.....	31
2.5.1 Perimetrické ploty .....	31
2.5.2 Kamerový systém (CCTV) .....	31
2.5.3 Přístupové systémy.....	31
2.5.4 Detektory pohybu a narušení .....	31

2.5.5	Osvětlení .....	32
2.5.6	Ochranné zóny .....	32
2.6	ŘÍZENÍ RIZIK.....	32
2.6.1	Tlak .....	32
2.6.2	Statický náboj, jiskra, výboj.....	33
2.6.3	Zdroje vznícení.....	33
2.6.4	Ochrana proti vzniku požár.....	34
2.6.5	Ochrana proti vzniku výbuchu.....	34
2.7	OBECNÉ POŽADAVKY NA KONSTRUKCI PLYNOVODŮ .....	34
2.7.1	Materiály .....	37
2.7.2	Konstrukce .....	37
2.7.3	Bezpečnostní opatření .....	38
2.7.4	Bezpečnostní značky a barvy .....	38
2.7.5	Ekologické a environmentální požadavky .....	39
2.7.6	Prevence koroze a ochranné prvky .....	40
<b>3</b>	<b>RELEVANTNÍ PRÁVNÍ A STRATEGICKÉ DOKUMENTY.....</b>	<b>42</b>
3.1	EVROPSKÁ UNIE .....	42
3.1.1	Evropský Green Deal .....	42
3.1.2	EU Strategy for LNG and Gas Storage .....	44
3.1.3	REPowerEU .....	44
3.1.4	Trans-European Networks for Energy (TEN-E).....	45
3.1.5	Global Gas Outlook 2050.....	46
3.1.6	Další relevantní právní a strategické dokumenty EU.....	46
3.2	ČESKÁ REPUBLIKA .....	47
3.2.1	Státní energetická koncepce ČR.....	47
3.2.2	Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu .....	48
3.2.3	Národní akční plán energetické účinnosti .....	49
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>SROVNÁNÍ ENERGETICKÝCH PLYNŮ.....</b>	<b>52</b>
4.1	LNG: DEFINICE A VLASTNOSTI .....	52
4.2	CNG: DEFINICE A VLASTNOSTI .....	54
4.2.1	Porovnání CNG s LNG .....	54
4.3	LPG: DEFINICE A VLASTNOSTI .....	55
4.3.1	Porovnání LPG s LNG .....	56
4.4	NG: DEFINICE A VLASTNOSTI.....	57
4.4.1	Porovnání NG s LNG.....	58
4.5	BIOMETAN: DEFINICE A VLASTNOSTI .....	58
4.5.1	BioLNG.....	60
4.5.2	Porovnání biometanu s LNG.....	61
4.6	TABULKOVÉ SROVNÁNÍ VŠECH ENERGETICKÝCH PLYNŮ .....	62
<b>5</b>	<b>PROGNÓZA.....</b>	<b>64</b>

5.1	PROGNOSTIKA .....	64
5.2	POUŽITÁ PROGNOSTICKÁ METODA .....	64
5.3	PROGNÓZA .....	65
5.4	POZITIVNÍ PROGNÓZA.....	67
5.5	NEGATIVNÍ PROGNÓZA .....	68
5.6	REALISTICKÝ VÝHLED DO BUDOUCNA.....	69
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>71</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>		<b>73</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>		<b>81</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>83</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>		<b>84</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>		<b>85</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

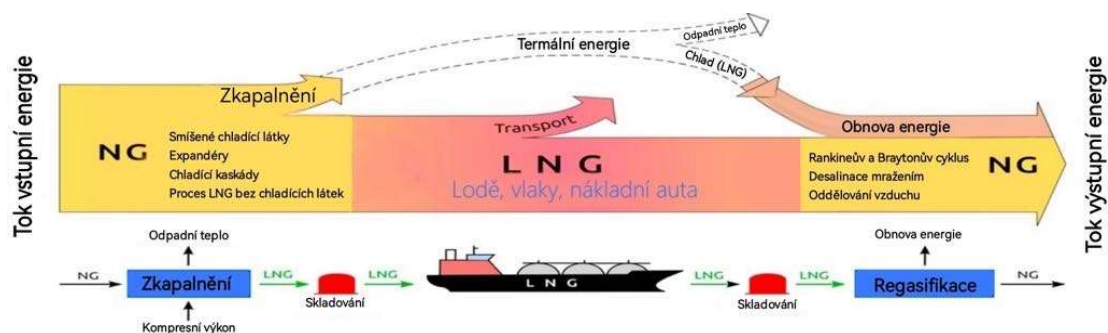
Tato kapitola poskytuje základní přehled a analýzu klíčových komponent a technologických procesů spojených s LNG. Přestože je LNG již dlouho známé pro svou účinnost a čistotu jako zdroj energie, jeho význam i nadále dramaticky roste v souvislosti s globálními snahami o snížení emisí.

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, též známý jako LNG, je forma 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 svou čistotou a vysokou energetickou hodnotou. [1]

Jeho klíčovou výhodou je schopnost zásobovat trhy, které nejsou přímo připojené k plynovodním sítím, což umožňuje diverzifikaci zdrojů energie a snížení 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 komerční zralosti se LNG stává 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 v zemi. Často jsou zásoby plynu příliš vzdálené od životaschopného trhu, aby odůvodnily obrovské náklady na rozvoj. Nicméně pokles nákladů, rostoucí ceny, 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 klíčový proces, kdy se zemní plyn ochladí na teplotu -162 °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 je 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 poklesu tlaku a teploty, což umožňuje kapalnému propanu úplně 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 reinkorporovány 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 dlouhé vzdálenosti 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,

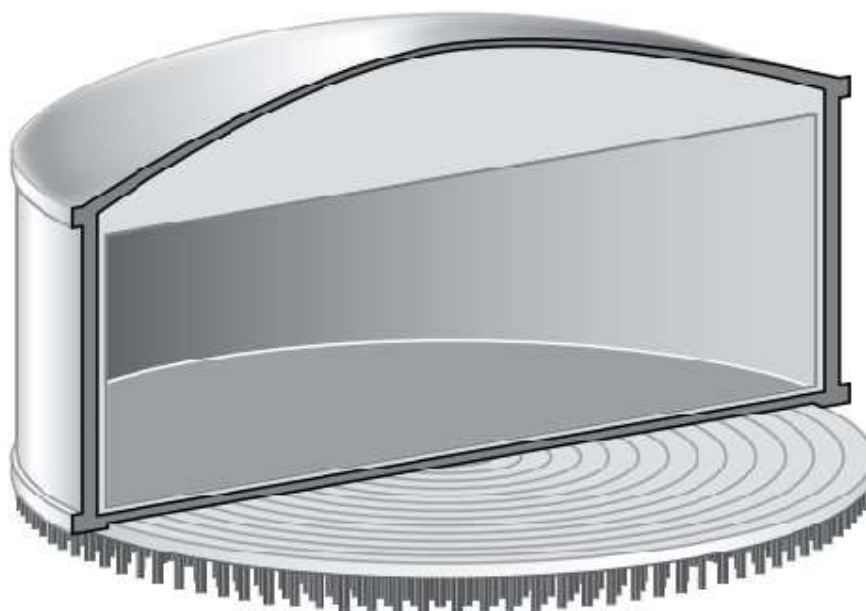
který používá LNG tankery s kapacitou 138 000 m<sup>3</sup>, by obvykle zahrnoval přibližně 275 000 m<sup>3</sup> skladovacího prostoru. [3]

### 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 zachytnou 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 je dostatečná plocha pro zachytné 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 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 o 40 % vyšší než cena nádrže s jednoduchou ochranou. [3]

**3. Nádrže s úplným zabezpečením:** Nádrže s plnou ochranou (viz.obr.2) pro skladování LNG jsou velké a složité konstrukce, které mohou mít typicky kapacitu až 200 000 m<sup>3</sup>. 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 m<sup>3</sup>, zatímco průměrná velikost lodí, které jsou nyní objednávané je 166 000 m<sup>3</sup>. V blízké budoucnosti se předpokládají supertankery LNG s kapacitou 200 000 m<sup>3</sup> až 250 000 m<sup>3</sup>. Všechny tankery LNG mají dvojité trup, ale existují různé systémy uchovávání nákladu s nezávislými nebo integrovanými nádržemi. V současné flotile dominují 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 mají 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 taková síť existuje, jednoduchý a ekonomicky výhodný způsob. Tyto dálkové přenosové sítě používají 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 jsou obvykle 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 stanicích se plyn z mezistátních potrubí rozvádí do systémů národních potrubí, přičemž dochází k

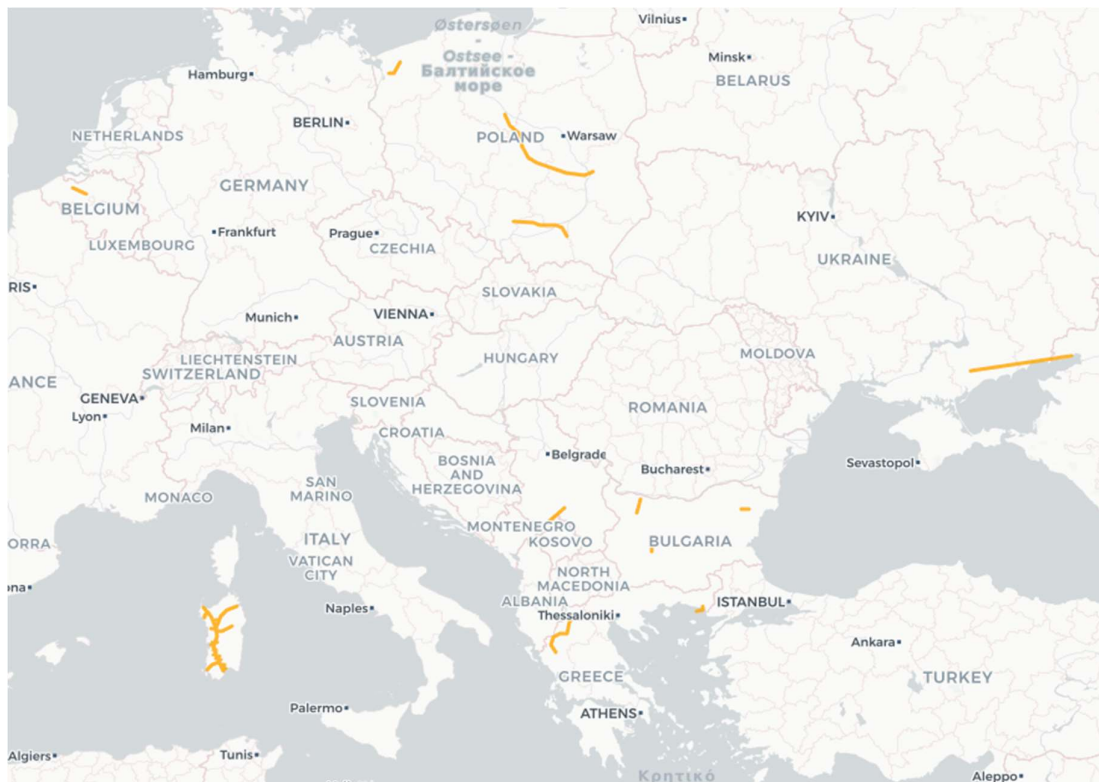
úpravě specifikací potrubí na vnitřní průměry od 80 do 700 mm a tlaku v rozmezí 4 MPa až 6,1 MPa. [4]

- **Distribuční potrubní síť:** Hlavním účelem těchto sítí je dodávka zemního plynu od regionálních dodavatelů až k jednotlivým koncovým uživatelům. Plyn je 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, primárně 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 z 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 práce se toto médium odpařuje ve výparníku, a poté přenáší teplo do LNG. Po ohřátí LNG se pomocné médium ochladí a z kondenzuje. 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 všechny aspekty výstavby a provozu těchto zařízení byly řízeny 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. 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 venkovním prostorem 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 efektivní výměna vzduchu a zabráňovalo se hromadění chladného vzduchu v okolním prostředí. [9]

Odpařovací zařízení by mělo být umístěno v bezpečné vzdálenosti od nádrží s LNG, aby se předešlo riziku úniku plynu a jeho vznícení. Minimální vzdálenost je 15 metrů, ale může se pohybovat i do stovek metrů, v závislosti na velikosti zařízení a místních předpisech. [10]

Odpařovací zařízení musí být umístěno tak, aby jakékoli úniky plynu neohrozily blízké části s komprimovaným plynem. Typická vzdálenost je minimálně 8 metrů, v závislosti na konkrétních provozních podmínkách a použitých technologiích. [10]

Vzdálenost odpařovacího zařízení musí být minimálně 3 metry, aby se předešlo vzniku obloukových výbojů nebo jiných elektrických nebezpečí v případě úniku plynu. Často se vyžaduje, aby elektrická zařízení byla umístěna mimo zónu nebezpečí (ex-zónu), což může znamenat vzdálenost od několika metrů do desítek metrů, podle druhu zařízení a úrovně potenciálního rizika. [10]

### 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 konstrukční charakteristiky a ochranu před extrémními teplotami, které by mohly ovlivnit výkonnost a funkci zařízení. [9]

Komprimovaný plyn představuje vysoké riziko v případě úniku nebo poruchy, a proto musí být tato sekce umístěna v dostatečné vzdálenosti od odpařovacího zařízení, aby se minimalizovalo riziko křížové kontaminace nebo výbuchu. Vzdálenosti jsou podobné jako u odpařovacího zařízení, tedy minimálně 8 metrů. [10]

Sekce s komprimovaným plynem musí být umístěna mimo dosah potenciálních zdrojů zapálení, což zahrnuje i elektrická zařízení. I zde je běžné dodržování vzdáleností v desítkách metrů, aby se minimalizovalo riziko výbuchu v případě úniku plynu. [10]

### 2.2.3 Elektrická zařízení

V prostředích, kde existuje riziko výbuchu, je nezbytné, 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 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 dobře ochráněny a umístěny mimo dosah, aby nedošlo 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]

Elektrická zařízení musí být navržena a umístěna tak, aby se předešlo jakémukoli kontaktu s unikajícím plynem nebo s místy, kde může dojít k jeho hromadění. To obvykle zahrnuje umístění v nebezpečných zónách s odpovídající klasifikací (např. zóna 2 podle ATEX) a vzdálenosti jsou od 5 metrů do desítek metrů v závislosti na charakteru zařízení. [10]

#### 2.2.4 Infrastruktura

Infrastruktura a zařízení vyžadující pravidelnou údržbu nebo ovládání musí být navržena s ohledem na snadný a bezpečný přístup pro servisní personál. Je důležité, aby byly zachovány 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]

### 2.3 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 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 kryogenních 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  $-80$  °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 spojené se zásobníkem LNG, včetně toho mezi jeho vnitřními a vnějšími částmi, musí odpovídat 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  $816\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Krom 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

Detektory plynu jsou klíčovou součástí bezpečnostních systémů LNG stanic, zajišťující neustálé monitorování ovzduší pro detekci nebezpečných plynů, zejména metanu. Tyto detektory využívají různé technologie, jako jsou infračervené senzory, které rozpoznávají specifické vlnové délky světla absorbované metanem, a katalytické senzory, které reagují na chemické vlastnosti plynů. Jakmile detektory zaznamenají zvýšenou koncentraci plynu, systém okamžitě aktivuje alarmy a varuje operátory o potenciálním nebezpečí, což umožňuje rychlou reakci a snížení rizika výbuchu nebo požáru. [1]

Tyto detektory jsou často propojeny s automatickými systémy řízení, které mohou v případě nouze spustit odstavení provozu, uzavřít ventily a zabránit dalšímu úniku plynu. Pravidelná údržba a testování detektorů zajišťují jejich spolehlivost a připravenost k akci v krizových situacích. Kromě okamžitého zásahu mají detektory také schopnost zaznamenávat data, která mohou být analyzována pro zlepšení preventivních opatření a celkové bezpečnosti provozu. [1]

Detektory plynu se na LNG stanicích nacházejí na strategických místech, kde je nejvyšší riziko úniku. Jsou umístěny kolem zásobníků, v blízkosti potrubí a přetlakových ventilů, v čerpacích stanicích a plnicích oblastech, stejně jako ve strojovnách a kompresorových

stanicích. Detektory jsou také instalovány v prostorách pro odvodnění a odvětrávání, stejně jako v kritických přístupových oblastech a kontrolních místnostech. Toto rozmístění zajišťuje rychlou detekci úniků a umožňuje včasnou reakci na případné nebezpečí. [1]

#### **2.4.2 Hlásiče požáru**

Hlásiče požáru na LNG stanicích hrají klíčovou roli v zajištění bezpečnosti a jsou rozmístěny na strategických místech, kde je riziko vzniku požáru nejvyšší. Tyto detektory se nacházejí v blízkosti zásobníků LNG, kde by případný únik plynu mohl snadno vést k požáru, a v oblastech s vysokou koncentrací elektrických zařízení, jako jsou strojovny, kompresorové stanice a kontrolní místnosti, kde je zvýšené riziko vzniku jisker nebo přehřátí. [1]

Hlásiče požáru jsou také umístěny v čerpacích a plnicích oblastech, kde probíhá manipulace s plynem, a kde jakýkoliv zdroj zapálení představuje značné nebezpečí. Dále jsou instalovány v prostorách pro odvětrávání a odvodnění, kde se mohou shromažďovat hořlavé plyny. [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 instalace automatických ESD systémů. Pro skladovací zařízení s kapacitou do 200 tun mohou být tyto systémy integrovány 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 Zabezpečení LNG stanic**

### **2.5.1 Perimetrické ploty**

Perimetrické ploty představují první linii obrany kolem LNG stanice. Jsou navrženy tak, aby fyzicky omezovaly neoprávněný vstup do prostoru stanice. Ploty jsou obvykle vysoké, často opatřené ostnatým nebo žiletkovým drátem na vrcholu, a mohou být vybaveny senzory, které detekují pokusy o přelezení, přerézání nebo jiný typ narušení. Tyto ploty slouží nejen k fyzické ochraně, ale také jako odstrašující prostředek proti pokusům o neoprávněný vstup. [11]

### **2.5.2 Kamerový systém (CCTV)**

Kamerový systém je důležitou součástí monitorování LNG stanice. Moderní CCTV systémy jsou vybaveny vysokým rozlišením a často i schopností nočního vidění. Kamery jsou strategicky rozmístěny kolem celé stanice, včetně perimetru, vchodů, kritických zařízení a vnitřních prostor. Videozáznamy jsou nepřetržitě monitorovány bezpečnostním týmem a mohou být automaticky analyzovány pomocí pokročilých algoritmů, které detekují podezřelé chování nebo pohyb. [11]

### **2.5.3 Přístupové systémy**

Přístupové systémy zajišťují, že do stanice mohou vstupovat pouze oprávněné osoby. Tyto systémy mohou zahrnovat fyzické klíče, karty s čipem (RFID), biometrické systémy (otisky prstů, skenování sítnice) nebo kombinace těchto technologií. Přístupová kontrola může být také napojena na databáze, které sledují přítomnost zaměstnanců a návštěvníků v areálu. Některé systémy rovněž vyžadují autentizaci pro přístup k různým částem stanice, což zajišťuje vyšší úroveň ochrany pro citlivé oblasti. [11]

### **2.5.4 Detektory pohybu a narušení**

Detektory pohybu a narušení jsou senzory, které jsou rozmístěny po celém perimetru a uvnitř LNG stanice. Tyto senzory mohou detekovat jakýkoli pohyb v chráněné oblasti a mohou být napojeny na alarmový systém, který upozorní bezpečnostní personál na možnou hrozbu. Kromě standardních detektorů pohybu mohou být použity i pokročilejší systémy, které detekují vibrace, změny v magnetickém poli nebo přerušení infračervených paprsků. [11]

### 2.5.5 Osvětlení

Osvětlení hraje klíčovou roli v prevenci neoprávněného vstupu a zajištění bezpečného provozu LNG stanice. Stanice jsou vybaveny silným osvětlením, které pokrývá celý perimetr a kritické oblasti. Noční osvětlení je často kombinováno s detektory pohybu, takže se intenzita osvětlení může zvýšit v reakci na detekovaný pohyb. Tím se minimalizuje pravděpodobnost neoprávněného vniknutí do stanice pod rouškou tmy. [11]

### 2.5.6 Ochranné zóny

Ochranné zóny jsou definované oblasti kolem LNG stanice, které mají omezený nebo zakázaný přístup pro veřejnost. Tyto zóny slouží k minimalizaci rizik spojených s potenciálními útoky nebo haváriemi, a to jak pro stanici samotnou, tak pro okolní oblasti. Ochranné zóny mohou zahrnovat bezpečnostní vzdálenosti od kritických komponent stanice, jako jsou zásobníky LNG, a mohou být opatřeny dodatečnými fyzickými bariérami, jako jsou další ploty nebo příkopy. [11]

## 2.6 Řízení rizik

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

### 2.6.1 Tlak

Řízení rizik spojených s tlakem ve stanicích na plnění zkapalněným zemním plynem (LNG) dle normy ČSN EN ISO 16924 je zásadní pro bezpečnost a efektivitu provozu. Vysokotlaké systémy mohou způsobit výbuchy nebo požáry, pokud dojde k úniku plynu nebo selhání tlakových nádob a ventilů. [9]

Analýza rizik pomocí metod jako HAZOP (Hazard and Operability Study) umožňuje stanovit pravděpodobnost a závažnost těchto rizik. Technická opatření zahrnují instalaci bezpečnostních ventilů a přetlakových zařízení, která automaticky uvolňují tlak při jeho nadměrném zvýšení. Používají se také odolné materiály a komponenty pro výrobu tlakových nádob a potrubí. [9]

Organizační opatření zahrnují školení personálu o bezpečném zacházení a nouzových postupech. Bezpečnostní postupy a nouzové plány obsahují jasné pokyny pro evakuaci a komunikaci s nouzovými službami. Pravidelné monitorování tlaků pomocí senzorů

umožňuje včasnou detekci anomálií. Automatické uzavírací systémy rychle reagují na rizika, čímž minimalizují únik plynu a riziko výbuchu. [9]

Pravidelná údržba tlakových systémů, včetně inspekcí a testování, zajišťuje jejich dlouhodobou spolehlivost. Plány údržby by měly vycházet z doporučení výrobců a výsledků předchozích inspekcí. Kontroly a testy pomáhají odhalit potenciální problémy dříve, než dojde k havárii. [9]

### **2.6.2 Statický náboj, jiskra, výboj**

Podle normy ČSN EN ISO 16924 se nejprve identifikují zdroje statického náboje, které mohou vzniknout při manipulaci s LNG. Poté se hodnotí pravděpodobnost a dopady možných výbojů, včetně podmínek vedoucích k zapálení LNG a vzduchu.

Prevence zahrnuje uzemňování zařízení, používání antistatických materiálů a školení personálu. Pravidelná údržba a inspekce zajišťují efektivní fungování těchto opatření. Monitorování a dokumentace incidentů umožňují průběžné zlepšování bezpečnostních strategií. [9]

### **2.6.3 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. [12]
- 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. [12]
- Zvýšená a vysoká teplota povrchu, která se tvoří třením a průchodem elektrického proudu je další riziko vznícení. [12]

Je zakázáno se přibližovat a manipulovat s otevřeným plamenem a přibližovat se ke stanici a taktéž je zakázáno kouřit v blízkosti stanice. [12]

Dodržení pořádku v okolí stanice a neskladování hořlavých látek a předmětů je velice důležité z hlediska snížení rizika vznícení. [12]

#### 2.6.4 Ochrana proti vzniku požár

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. Hasící přístroje jsou rozmístěny dle platné normy ČSN 73 0802 požární bezpečnost – nevýrobní objekty. [12]

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. [13]

#### 2.6.5 Ochrana proti vzniku výbuchu

Ochrana proti výbuchu u LNG stanic dle ČSN EN 60079-10 se zaměřuje na klasifikaci nebezpečných prostorů, kde může vzniknout výbušná atmosféra. LNG je hořlavý plyn, který může při úniku tvořit výbušné směsi se vzduchem. Prvním krokem je analýza možných zdrojů úniku a klasifikace prostorů do zón podle pravděpodobnosti a trvání přítomnosti výbušné atmosféry: Zóna 0 (trvalá přítomnost), Zóna 1 (příležitostná přítomnost) a Zóna 2 (vzácná a krátkodobá přítomnost). [12]

Ochrana zahrnuje technická opatření, jako je použití certifikovaných zařízení s ochranou proti výbuchu (Ex d, Ex e, Ex i), a organizační opatření, jako je údržba, školení personálu a detekce úniků plynu. Detektory plynu monitorují koncentraci plynu a mohou spustit alarm nebo zastavit provoz. Norma zdůrazňuje systematický přístup k hodnocení rizik a plánování ochranných opatření, aby bylo možné minimalizovat riziko výbuchu a zajistit bezpečný provoz LNG stanic. [12]

### 2.7 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). [14]

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 pro přepravu plynu do obcí a menších měst, nebo v různých areálech. 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. [15]

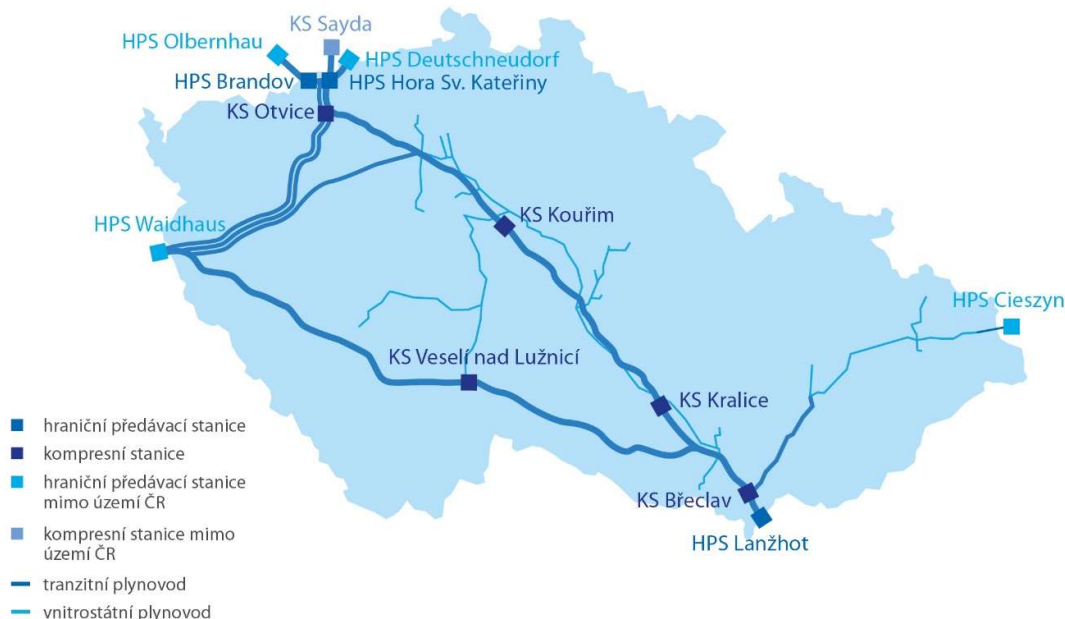


Obrázek 5. Výstavba plynovodu Gazela [16]

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. [14]

Další velmi důležitou součástí plynárenské soustavy jsou předávací stanice, které slouží 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

republiky 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). [17]



Obrázek 6. Mapa přepravní soupravy [17]

Regulační stanice jsou zařízení, která snižují tlak plynu na 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. [18]

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 GWh. Ještě 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. [18]

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. [14]

### 2.7.1 Materiály

Pro výrobu plynovodů se používají různé typy ocelí, které musí být voleny na základě předpokládaných výrobních postupů a způsobu využívání potrubí. [19]

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. [19]

Pro netlakové části, například pro podpěry, podstavce, přepážky a podobné části přivařované k průmyslovému potrubí a pro svařovací materiály, musí být používán materiál dodávaný podle materiálových specifikací obsahujících alespoň požadavky na chemické složení a pevnostní vlastnosti. Požadavky na materiály, používané pro podpěry potrubí, jsou definovány v EN 13480-3. [19]

### 2.7.2 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 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 navržena dodavatelem a uvedena v dokumentaci. [19]

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. [20]

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). [19]

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. [19]

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. [19]

### **2.7.3 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 testy na detekci úniků plynu, při nichž se používají speciální zařízení schopné identifikovat i nejmenší úniky. Jakýkoliv zjištěný únik musí být okamžitě opraven a celý proces zkoušení opakován, dokud nejsou všechny zjištěné nedostatky odstraněny. [21]

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 pokročilé 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 rychlé a efektivní řešení krizových situací, minimalizaci rizik pro lidské zdraví a životní prostředí a co nejrychlejší obnovení bezpečného provozu plynovodu. [21]






### **2.7.4 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. [22]

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. [22]

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. [22]

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 7. Geometrické tvary a barvy pro bezpečnostní značky [22]

### 2.7.5 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. [21]

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 také 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. [21]

### 2.7.6 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. [23]

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 vedení záznamů o provedených kontrolách a údržbě pro účely sledování dlouhodobé účinnosti. Pro zajištění správné funkce systému katodické ochrany je nutné vypracovat 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. [24]

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. [25]

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. [25]

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. [25]

### 3 RELEVANTNÍ PRÁVNÍ A STRATEGICKÉ DOKUMENTY

#### 3.1 Evropská unie

##### 3.1.1 Evropský Green Deal

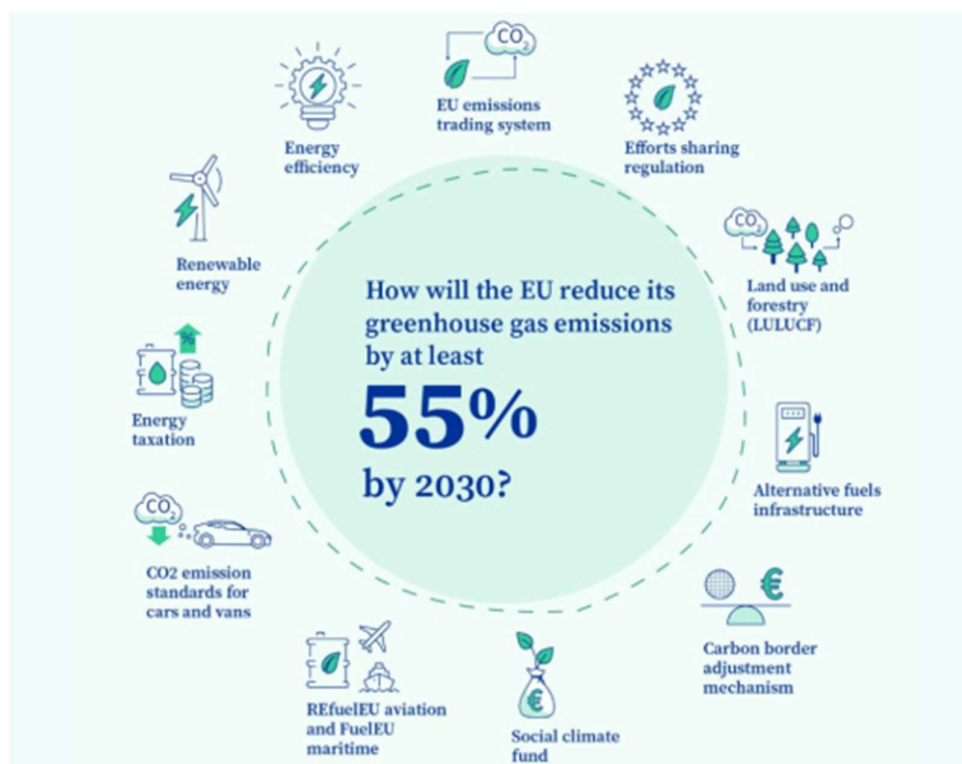
Evropský Green Deal, nebo také Zelená dohoda pro Evropu, je ambiciózní plán Evropské unie, jehož cílem je učinit z Evropy první klimaticky neutrální a energeticky nezávislý kontinent do roku 2050. Tento program, který byl představen Evropskou komisí v prosinci 2019, zahrnuje širokou škálu opatření, jejichž cílem je snížit emise skleníkových plynů, podpořit udržitelný rozvoj a transformovat evropskou ekonomiku směrem k zelenějším a čistějším technologiím. [26]



Obrázek 8. Cíle Evropského Green Dealu [27]

Jedním z hlavních cílů Evropského Green Dealu je dosažení energetické nezávislosti Evropy a čistých nulových emisí skleníkových plynů do poloviny tohoto století. K tomu slouží balíček legislativních návrhů „Fit for 55“, kdy se EU zavázala snížit své emise do roku 2030 alespoň o 55 % ve srovnání s úrovněmi z roku 1990. Aby toho dosáhla, plán zahrnuje různé

iniciativy, jako reformu systému obchodování s emisními povolenkami (ETS) s postupným snižováním povolenek, zavedení nového ETS pro silniční dopravu a budovy, revize směrnic o obnovitelných zdrojích energie a energetické účinnosti s cílem dosáhnout 40% podílu obnovitelných zdrojů a zvýšit energetickou účinnost. Dále balíček obsahuje zavedení uhlíkového cla (CBAM) pro dovoz zboží z třetích zemí, revizi zdanění energie dle jejího obsahu CO<sub>2</sub>, přísnější cíle pro snižování emisí mimo ETS, posílení pravidel pro využívání půdy a lesnictví (LULUCF), a stanovení přísnějších limitů emisí CO<sub>2</sub> pro nová vozidla s cílem dosáhnout nulových emisí u nových automobilů do roku 2035. Součástí je také podpora infrastruktury pro alternativní paliva, jako jsou nabíjecí stanice pro elektromobily a plnicí stanice pro vodík. [26]



Obrázek 9. Cíle Fit For 55 [28]

Součástí Green Dealu je také nová strategie pro udržitelnou a inteligentní mobilitu, která zahrnuje rozvoj čistějších dopravních technologií a podporu veřejné dopravy. Kromě toho plán zahrnuje opatření k ochraně a obnově přírodních ekosystémů, jako jsou lesy, moře a mokřady, které hrají klíčovou roli při absorpci uhlíku. [26]

Evropský Green Deal také klade důraz na spravedlivý přechod k zelenější ekonomice. To znamená, že se snaží zajistit, aby nikdo nezůstal pozadu, a podporuje regiony a komunity, které jsou nejvíce zasaženy přechodem k udržitelnějším technologiím. K tomu byla

vytvořena iniciativa Spravedlivý přechodový fond, která poskytuje finanční podporu a technickou pomoc pro regiony závislé na uhlí a jiných fosilních palivech. [26]

Financování Green Dealu je dalším klíčovým aspektem tohoto plánu. Evropská unie plánuje mobilizovat až bilion eur během příštích desetiletí prostřednictvím veřejných a soukromých investic. Součástí financování je například i Evropský fond pro udržitelný rozvoj, který má podpořit investice do zelených technologií a infrastruktury. [26]

Celkově lze říct, že zkapalněný zemní plyn má v kontextu Evropského Green Dealu roli přechodného řešení, které může pomoci snížit emise a podpořit energetickou bezpečnost v krátkodobém horizontu. Nicméně, dlouhodobým cílem Green Dealu je dosažení klimatické neutrality, což znamená, že LNG bude postupně nahrazován obnovitelnými zdroji energie a dalšími bezemisními technologiemi. [26]

### 3.1.2 EU Strategy for LNG and Gas Storage

Jedná se o dokument Evropské komise, který se zaměřuje na posílení energetické bezpečnosti EU prostřednictvím rozvoje zkapalněného zemního plynu a kapacit pro skladování plynu. Tento přístup má snížit závislost EU na tradičních dodavatelích, diverzifikovat zdroje energie a zvýšit odolnost vůči výpadkům v dodávkách. Plán zahrnuje investice do nových LNG terminálů a skladovacích zařízení, což má také ekonomické a ekologické přínosy. Dokument klade důraz na spolupráci mezi členskými státy a soukromým sektorem. [29]

### 3.1.3 REPowerEU

REPowerEU je plán Evropské unie zaměřený na rychlé snížení závislosti EU na ruských fosilních palivech a na urychlení přechodu na čistou energii. Tento strategický plán byl představen v roce 2022 jako reakce na geopolitické napětí vyvolané ruskou invazí na Ukrajinu, které zvýraznilo zranitelnost Evropy v oblasti energetické bezpečnosti. [30]

Hlavní cíle REPowerEU zahrnují diverzifikaci dodavatelů energie, zvýšení energetické účinnosti, urychlení rozvoje obnovitelných zdrojů energie a zlepšení infrastruktury pro jejich integraci do energetického systému. Program se soustředí na podporu solární a větrné energie, rozvoj zeleného vodíku a posílení elektromobility. [30]

Jedním z klíčových aspektů je diverzifikace dodávek zemního plynu. EU plánuje zvýšit dovoz z jiných zemí než Ruska, například prostřednictvím zkapalněného zemního plynu z

USA, Kataru nebo Austrálie. K tomu bude nutné investovat do nových terminálů a potrubí, které umožní přepravu plynu z různých zdrojů. [30]

Zvýšení energetické účinnosti má za cíl snížit celkovou spotřebu energie v Evropě. To zahrnuje opatření jako renovace budov, modernizace průmyslových procesů a podpora energeticky úsporných technologií. Evropská komise odhaduje, že zvýšením energetické účinnosti by mohlo být dosaženo úspor až 13 % současné spotřeby plynu. [30]

Podpora obnovitelných zdrojů energie je dalším klíčovým pilířem REPowerEU. Evropská unie plánuje do roku 2030 zdvojnásobit kapacitu výroby energie z obnovitelných zdrojů, což zahrnuje zejména solární a větrnou energii. Součástí plánu je také rozvoj technologie pro skladování energie, která je nezbytná pro stabilní dodávky z obnovitelných zdrojů. [30]

REPowerEU rovněž klade důraz na rozvoj zeleného vodíku, který je považován za klíčový prvek budoucího bezuhlíkového energetického systému. Zelený vodík, vyráběný pomocí elektřiny z obnovitelných zdrojů, může být použit v průmyslu, dopravě a energetice jako čisté palivo. [30]

Celkově REPowerEU představuje ambiciózní plán na posílení energetické bezpečnosti EU, snížení závislosti na fosilních palivech a urychlení přechodu k udržitelnému energetickému systému. Implementace tohoto plánu bude vyžadovat rozsáhlé investice a spolupráci mezi členskými státy EU a dalšími globálními partnery. [30]

### **3.1.4 Trans-European Networks for Energy (TEN-E)**

Trans-European Networks for Energy je nařízení a iniciativa Evropské unie, která podporuje rozvoj a integraci energetických infrastruktur mezi členskými státy. Cílem TEN-E je zlepšit propojení národních energetických sítí, zajistit bezpečnost dodávek energie, podpořit obnovitelné zdroje a snížit emise skleníkových plynů. [31]

TEN-E se zaměřuje na elektrickou energii, zemní plyn a ropu, podporuje projekty na přeshraniční propojení, zvyšování kapacity a stabilitu dodávek. Projekty jsou vybírány podle jejich přínosu pro evropský trh a získávají finanční podporu z evropských fondů. [31]

Iniciativa také podporuje spolupráci mezi členskými státy, regulačními orgány a investory, což je klíčové pro odstranění překážek v realizaci projektů. TEN-E tak přispívá k budování moderní, udržitelné a bezpečné energetické infrastruktury, podporující hospodářský růst a environmentální cíle EU. [31]

TEN-E podporuje projekty, které zahrnují infrastrukturu pro LNG, protože LNG hraje klíčovou roli v diverzifikaci zdrojů zemního plynu a zvyšování energetické bezpečnosti v Evropě. [31]

### 3.1.5 Global Gas Outlook 2050

Global Gas Outlook 2050 je strategický dokument, který analyzuje budoucí vývoj globálního trhu se zemním plynem až do roku 2050. Tento dokument, obvykle publikovaný významnými mezinárodními energetickými organizacemi nebo poradenskými firmami, poskytuje detailní přehled o očekávaných trendech v poptávce a nabídce zemního plynu, investicích do infrastruktury, technologickém pokroku, geopolitických faktorech a environmentálních aspektech spojených s používáním zemního plynu. [32]

Dokument se zabývá prognózami poptávky, analyzujícími, jak se bude vyvíjet globální poptávka po zemním plynem v různých regionech s ohledem na ekonomický růst, energetickou politiku a změny v energetickém mixu. Dále obsahuje předpověď budoucí těžby a produkce zemního plynu. [32]

Významnou součástí dokumentu je také diskuse o roli zemního plynu jako přechodového paliva při globálním přechodu na nízkouhlíkovou energetiku, zejména v kontextu snižování emisí skleníkových plynů. Kromě toho nabízí přehled potřebných investic do těžby, přepravy a zpracování zemního plynu, včetně vývoje LNG infrastruktury. [32]

### 3.1.6 Další relevantní právní a strategické dokumenty EU

Nařízení o bezpečnosti dodávek plynu (Regulation (EU) 2017/1938) se zabývá zajištěním bezpečnosti a spolehlivosti dodávek plynu v Evropské unii. [33]

Nařízení o transevropské energetické infrastruktuře (Regulation (EU) No 347/2013) se zaměřuje na rozvoj a integraci energetické infrastruktury napříč Evropou. [34]

Balíček čisté energie pro všechny Evropany (Clean Energy for All Europeans Package) obsahuje opatření pro přechod k čisté energii a zvýšení energetické účinnosti. [35]

Zákon o klimatické neutralitě (European Climate Law) stanovuje právně závazné cíle pro dosažení klimatické neutrality v EU do roku 2050. [36]

## 3.2 Česká republika

### 3.2.1 Státní energetická koncepce ČR

Státní energetická koncepce České republiky je strategický dokument, který stanovuje dlouhodobé cíle a priority v oblasti energetiky. Jejím hlavním úkolem je zajistit stabilní a bezpečnou dodávku energie pro domácnosti i průmysl, při současném dodržování environmentálních závazků a udržitelnosti. Koncepce se zaměřuje na optimalizaci energetického mixu, zvýšení energetické účinnosti a podporu obnovitelných zdrojů energie. [37]

Jedním z klíčových cílů koncepce je diverzifikace energetických zdrojů. Vzhledem k historické závislosti České republiky na fosilních palivech, zejména uhlí, je snaha přecházet na čistší a obnovitelné zdroje energie jako jsou solární, větrné a vodní elektrárny. Jaderná energetika rovněž hraje významnou roli v českém energetickém mixu, přičemž se plánuje rozšíření kapacit stávajících jaderných elektráren. [37]

Dalším důležitým aspektem je energetická účinnost. Koncepce podporuje opatření, která vedou ke snížení spotřeby energie v průmyslu, dopravě a domácnostech. To zahrnuje modernizaci výrobních technologií, zavádění inteligentních energetických systémů a podporu energeticky úsporných stavebních technik. [37]

Státní energetická koncepce také klade důraz na bezpečnost dodávek energie. To zahrnuje nejen fyzickou bezpečnost infrastruktury, ale i kybernetickou bezpečnost energetických sítí. Spolehlivost a odolnost energetických systémů je klíčová pro zajištění nepřerušovaných dodávek energie v případě krizových situací. [37]

V neposlední řadě se koncepce zabývá i ekonomickými a sociálními aspekty. Usiluje o to, aby byly energetické služby dostupné pro všechny občany za přijatelnou cenu, a zároveň podporuje inovace a investice do nových technologií, které mohou přinést ekonomický růst a nová pracovní místa. [37]

Z hlediska problematiky LNG bylo do roku 2020 plánováno propojení české plynárenské soustavy s Polskem a Rakouskem s cílem umožnit dodávky zkapalněného zemního plynu z nově budovaných terminálů v zahraničí, konkrétně z polského Swinoujście a chorvatské Adrie. Klíčovou součástí tohoto plánu bylo vytvoření přeshraničních plynovodů, které by zajistily flexibilitu a bezpečnost dodávek LNG do České republiky. Zároveň se podporovala

diverzifikace evropských plynových tras, aby bylo možné efektivně integrovat LNG terminály v Baltském a Jaderském moři do české přepravní soustavy. [37]

Státní energetická koncepce je ovšem poměrně zastaralý dokument z roku 2015. V roce 2024 byl vydán návrh na aktualizaci tohoto dokumentu, avšak vláda tento návrh k datu 20.8. 2024 stále neschválila. [38]

### 3.2.2 Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu

Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu je strategický dokument, který definuje cíle a opatření na období do roku 2030. Tento plán vychází z evropské legislativy a cílí na snižování emisí skleníkových plynů, zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie a zlepšování energetické účinnosti. Plán se zaměřuje na integraci energetických a klimatických politik, aby byla zajištěna udržitelná a bezpečná energetická budoucnost. [39]

Jedním z hlavních cílů plánu je redukce emisí skleníkových plynů. Česká republika se zavázala snížit emise o 40 % do roku 2030 ve srovnání s úrovní roku 1990. Tento cíl se má dosáhnout prostřednictvím zvýšení efektivity energetického využití, podporou obnovitelných zdrojů a přechodem na čistší technologie v průmyslu a dopravě. [39]

Důležitou součástí plánu je podpora obnovitelných zdrojů energie. Česká republika si klade za cíl zvýšit podíl obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie na 22 % do roku 2030. To zahrnuje podporu výstavby nových solárních a větrných elektráren, využívání biomasy a dalších obnovitelných zdrojů. Klíčovou roli hraje také decentralizace energetické výroby a podpora malých a středních podniků v oblasti obnovitelných technologií. [39]

Plán také klade velký důraz na energetickou účinnost. Cílem je dosáhnout úspor energie ve výši 32,5 % do roku 2030. To zahrnuje opatření na zvyšování energetické účinnosti ve všech sektorech, včetně průmyslu, dopravy a budov. Konkrétní opatření zahrnují modernizaci energetické infrastruktury, zavádění energeticky úsporných technologií a zvyšování povědomí veřejnosti o energetické účinnosti. [39]

V oblasti bezpečnosti dodávek energie plán zahrnuje opatření na zajištění spolehlivosti a odolnosti energetických systémů. To zahrnuje posilování energetické infrastruktury, diverzifikaci zdrojů energie a zajištění dostatečných zásob strategických paliv. Plán také podporuje rozvoj inteligentních sítí a nových technologií pro řízení poptávky a nabídky energie. [39]

V neposlední řadě plán řeší i sociální a ekonomické aspekty energetické politiky. Usiluje o to, aby transformace energetického sektoru byla spravedlivá a přínosná pro všechny občany, a zároveň podporuje inovace a investice do nových technologií. Plán také zahrnuje opatření na zmírnění dopadů energetické transformace na zranitelné skupiny obyvatel a podporu regionálního rozvoje. [39]

### 3.2.3 Národní akční plán energetické účinnosti

Národní akční plán energetické účinnosti České republiky je strategický dokument, který se zaměřuje na zvyšování energetické účinnosti v různých sektorech hospodářství. Cílem tohoto plánu je dosáhnout významných úspor energie, snížit emise skleníkových plynů a přispět k udržitelnosti a konkurenceschopnosti české ekonomiky. Plán vychází z evropské legislativy a stanovuje konkrétní opatření a cíle na období do roku 2030. [40]

Jedním z hlavních cílů Národního akčního plánu energetické účinnosti je snížit celkovou spotřebu energie. Česká republika se zavázala dosáhnout úspor energie ve výši 32,5 % do roku 2030. Tohoto cíle má být dosaženo prostřednictvím různých opatření, která se zaměřují na zlepšení energetické účinnosti ve všech sektorech, včetně průmyslu, dopravy, budov a domácností. [40]

V oblasti průmyslu plán zahrnuje opatření na modernizaci výrobních technologií, zavádění energeticky úsporných postupů a zvýšení povědomí o energetické účinnosti mezi podniky. Podpora inovací a investic do nových technologií je klíčová pro dosažení vyšší energetické účinnosti a snížení provozních nákladů. [40]

V sektoru dopravy plán podporuje rozvoj veřejné dopravy, elektromobility a dalších udržitelných dopravních řešení. Cílem je snížit energetickou náročnost dopravy, snížit emise a zlepšit kvalitu ovzduší. Plán zahrnuje i opatření na podporu cyklistiky a pěší dopravy, které mají pozitivní dopad na zdraví obyvatel a životní prostředí. [40]

Energetická účinnost budov je další klíčovou oblastí plánu. Česká republika se zavázala zvýšit energetickou účinnost ve stávajících budovách a stanovit přísnější energetické standardy pro nové budovy. To zahrnuje zateplování budov, modernizaci topných a chladicích systémů, instalaci energeticky úsporných oken a dveří a využívání obnovitelných zdrojů energie pro vytápění a chlazení. [40]

Národní akční plán energetické účinnosti také zahrnuje opatření na podporu energetické účinnosti v domácnostech. To zahrnuje programy na vzdělávání a informování občanů o

energeticky úsporných opatřeních, finanční podporu pro energetické renovace a zavádění inteligentních energetických systémů, které pomáhají snižovat spotřebu energie. [40]

Důležitou součástí plánu je také monitorování a hodnocení dosažených výsledků. Česká republika se zavázala pravidelně monitorovat pokrok v oblasti energetické účinnosti a přijímat další opatření, pokud by se ukázalo, že stanovené cíle nejsou plněny. Transparentnost a otevřenost procesu hodnocení jsou klíčové pro zajištění důvěry veřejnosti a dalších stran. [40]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 SROVNÁNÍ ENERGETICKÝCH PLYNŮ

Praktická část práce se zaměřuje na porovnání klíčových vlastností LNG s ostatními plynnými zdroji energie. První krok zahrnuje analýzu literatury, kde se shromažďují a hodnotí vědecké studie a technické zprávy o LNG, CNG, NG, LPG, Bioplynu, Biometanu a BioLNG. Cílem je získat informace o energetické účinnosti, ekologických dopadech a praktickém využití těchto zdrojů. Následuje srovnávací studie zaměřená na porovnání energetické účinnosti, fyzikálních vlastností, ekologických dopadů (primárně emisí oxidu uhličitého) a možnostmi přepravy a skladování daných zdrojů. Výsledky této analýzy poskytují hlubší vhled do rozdílů mezi jednotlivými zdroji energie. Informace z předchozích kroků nám umožňují identifikovat hlavní rozdíly a podobnosti mezi LNG a ostatními zdroji. Praktické využití zdrojů energie je hodnoceno z hlediska dostupnosti technologie, ekonomické životaschopnosti a flexibility využití. Tento přístup pomáhá identifikovat technické a ekonomické výhody, ale také 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, což umožňuje dospět k informovaným závěrům o jejich výhodách a nevýhodách.

### 4.1 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 (1 – 10 barů). Při zkapalnění 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 s tlakem a existuje jen v kapalně fázi při teplotách nižších než  $-80 \text{ }^\circ\text{C}$  při vysokých tlacích. [41]

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 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 g CO<sub>2</sub>/MJ. Časté také bývají úniky metanu, u kterých avšak stále neexistují přesná data a je nutná další studie. [42]

Náhradou uhlí šetří LNG 550 g CO<sub>2</sub>/kWh a 20 g CO<sub>2</sub>/MJ. [41]

Čerpací stanice LNG nejsou po Evropě moc rozšířené, avšak kvůli zvýšené poptávce by se jejich počet měl do budoucna zvýšit. [43]

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 m<sup>3</sup> plynu ročně, přičemž 3 miliardy m<sup>3</sup> jsou určeny pro Českou republiku. [44]

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. [45]

Vzhledem k tomu, že se LNG po dopravě do cílové opět zplyňuje, je těžké určit jeho cenu jako takovou, také, protože se primárně zpětně zplyňuje. Jeho cena je vyjadřuje v dolarech za milion britských termálních jednotek (MMBtu), kdy jeho cena k roku 2024 je kolem 35 USD/MMBtu. Pro lepší srovnání s ostatními zdroji energie přepočteme cenu na Kč/kWh. Cena LNG za kWh je přibližně 2,6 Kč. Tuto cenu musíme brát s nadhledem, jelikož cena LNG je velmi proměnlivá.

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%	Hustota	
		LNG	400 kg/m <sup>3</sup>
		Hustota plynného skupenství	0,7 kg/m <sup>3</sup>
Charakteristické teploty		Výbušnost	
Teplota varu	-162 °C	Výbušný ve směsi se vzduchem v rozmezí	4,3–15 % obj.
Kritický bod (maximální teplota kapalně fáze)	-82 °C		
Zápalná teplota	650 °C	Oktanové číslo pro spalovací motory	120 - 130
Stechiometrické teplota plamene	1957 °C		

Tabulka 1. Vlastnosti LNG [8]

## 4.2 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 na teplotě a tlaku. V běžných podmínkách se pohybuje kolem  $0,7 \text{ kg/m}^3$ , avšak při stlačení až  $800 \text{ kg/m}^3$ . Při produkci CNG se produkuje méně oxidu uhličitého než například při produkci LNG, protože stlačení zemního plynu je energeticky méně náročné.[46]

Emise oxidu uhličitého u CNG jsou  $62,5 \text{ g CO}_2/\text{MJ}$  neboli  $225 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$ . [47]

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. [48]

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. [49]

CNG je ke květnu roku 2024 možné v České republice natankovat na 236 čerpacích stanicích za průměrnou cenu  $32,00 \text{ Kč/kg}$ . Průměrná cena v  $\text{m}^3$  je  $22,90 \text{ Kč}$ , což je ekvivalent 1 l benzínu nebo nafty. Momentálně se jedná o nejlevnější palivo na trhu, hlavně kvůli nulové spotřební dani. [48]

### 4.2.1 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  $-162 \text{ °C}$  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 barů až 248 barů.

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.

Jak je patrné z níže uvedené tabulky, CNG a LNG se výrazně odlišuje fyzikálními vlastnostmi, což je dáno jejich rozdílným skupenstvím (CNG je plynné a LNG kapalné). Z

hlediska výhřevnosti je LNG efektivnější, protože ačkoliv oba mají výhřevnost 50 MJ/kg, LNG dokáže vyprodukovat požadovanou energii s menším množstvím paliva než CNG. Jednou z atraktivních vlastností CNG je jeho výrazně nižší cena a také nižší emise oxidu uhličitého.

	CNG	LNG
<b>Hustota</b>	800 kg/m <sup>3</sup>	400 kg/m <sup>3</sup>
<b>Tlak</b>	200 - 248 barů	1 - 10 barů
<b>Výhřevnost</b>	50 MJ/kg	50 MJ/kg
<b>Emise</b>	225 g CO <sub>2</sub> /kWh	655 g CO <sub>2</sub> /kWh
<b>Cena</b>	2,17 Kč/kWh	2,6 Kč/kWh

*Tabulka 2. srovnání CNG s LNG*

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.

### 4.3 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). [50]

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. [51]

Hustota LPG je pro letní směs 552 kg/m<sup>3</sup> a pro zimní směs 538 kg/m<sup>3</sup>, respektive 510 kg/m<sup>3</sup> pro propan a 580 kg/m<sup>3</sup> pro butan. Výhřevnost propanu je 46,60 MJ/kg a výhřevnost butanu 47,70 MJ/kg. [50]

Průměrné emise LPG jsou mezi 210 g až 270 g CO<sub>2</sub>/kWh. Automobily poháněné LPG mají průměrně o 21 % menší uhlíkovou stopu než automobily poháněné dieselem a benzínem, avšak mají lehce vyšší spotřebu. [52]

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 Kč/l na 918 čerpacích stanicích. [53]

#### 4.3.1 Porovnání LPG s LNG

Při srovnání LPG (zkapalněná směs propan-butanu) a LNG (zkapalněný zemní plyn) si můžeme povšimnout mnoha 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.

Jak je patrné v tabulce níže, výhodou LNG je jeho vyšší výhřevnost (50 MJ/kg) než u LPG (46,60 MJ/kg pro propan a 47,70 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 vhodnější pro motory a jejich chod.

Co se týče emisí, LPG má průměrné hodnoty emisí 210 g až 270 g CO<sub>2</sub>/kWh, zatímco u LNG tyto hodnoty mohou dosahovat až 655 g CO<sub>2</sub>/kWh, hlavně kvůli jeho náročnosti na zkapalnění a dopravu. Dalším velkým problémem LNG mohou být úniky metanu, který je mnohem horší než CO<sub>2</sub> a vyvolává rychlejší a intenzivnější oteplování atmosféry.

Jak je patrné z níže uvedené tabulky, cena za LPG je vyšší. To je způsobeno tím, že uvedená cena LPG je pro maloodběry na čerpacích stanicích, zatímco cena LNG je pro velkoodběry. Proto je třeba brát tyto ceny s nadhledem, protože reálná cena LPG může být mírně nižší než cena LNG.

	LPG - letní směs	LNG
Hustota	552 kg/m <sup>3</sup>	400 kg/m <sup>3</sup>
Tlak	5 - 10 barů	1 - 10 barů
Výhřevnost	47,26 MJ/kg	50 MJ/kg
Emise	210 - 270 g CO <sub>2</sub> /kWh	655 g CO <sub>2</sub> /kWh
Cena	2,65 Kč/kWh	2,6 Kč/kWh

Tabulka 3. srovnání letní směsi LPG s LNG

	LPG - zimní směs	LNG
Hustota	538 kg/m <sup>3</sup>	400 kg/m <sup>3</sup>
Tlak	5 - 10 barů	1 - 10 barů
Výhřevnost	47,04 MJ/kg	50 MJ/kg
Emise	210 - 270 g CO <sub>2</sub> /kWh	655 g CO <sub>2</sub> /kWh
Cena	2,65 Kč/kWh	2,6 Kč/kWh

Tabulka 4. srovnání zimní směsi LPG a LNG

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.

#### 4.4 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. [54]

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 kg/m<sup>3</sup> a výhřevnost 34MJ/m<sup>3</sup>. [54]

Problémem může být extrakce zemního plynu a jeho doprava při kterém často uniká metan, který je 30krát více výhřevný než CO<sub>2</sub> ve 100letém horizontu. Pouze při 0,2 % úniku může mít zemní plyn stejný vliv na klimatickou změnu jako uhlí. [55]

Emise zemního plynu jsou 200 g CO<sub>2</sub>/kWh. [56]

Průměrná cena zemního plynu pro květen 2024 je 1 254 Kč/MWh nebo 1,25 Kč/kWh a 13,19 Kč/m<sup>3</sup> bez DPH. [57]

#### 4.4.1 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. Zemní plyn se přepravuje při tlaku 0,02 až 100 barů v závislosti na typu potrubí, zatímco LNG se přepravuje při atmosférickém tlaku při teplotě -162 °C.

Jak je patrné z níže uvedené tabulky, tak má LNG vysokou výhřevnost 50 MJ/kg, což je výhodné pro velkoobjemové energetické aplikace jako jsou elektrárny a průmyslové pece, kde je potřeba velké množství energie z malého objemu paliva. Zemní plyn je s výhřevností 34 MJ/m<sup>3</sup> méně energeticky účinný na objem, ale jeho snadná dostupnost a variabilita využití od domácností po průmysl z něj činí extrémně flexibilní zdroj energie.

Přestože LNG vyžaduje energeticky náročný proces zkapalnění, který může zvýšit jeho celkové emise skleníkových plynů, nabízí možnost snížení emisí CO<sub>2</sub> na jednotku energie při spalování, pokud se pro dané procesy využijí obnovitelné zdroje energie. Obecně jsou však emise oxidu uhličitého 200 g/kWh u zemního plynu a 655 g/kWh u LNG. Zásadním problémem obou zdrojů energie mohou být úniky metanu.

Velmi atraktivní vlastností zemního plynu je jeho nízká cena, která činí 1,25 Kč/kWh, ve srovnání s LNG, jehož cena je 2,6 Kč/kWh.

	NG	LNG
<b>Hustota</b>	0,69 kg/m <sup>3</sup>	400 kg/m <sup>3</sup>
<b>Tlak</b>	0,02 - 100 barů	1 - 10 barů
<b>Výhřevnost</b>	34 MJ/kg	50 MJ/kg
<b>Emise</b>	200 g CO <sub>2</sub> /kWh	655 g CO <sub>2</sub> /kWh
<b>Cena</b>	1,25 Kč/kWh	2,6 Kč/kWh

*Tabulka 5. srovnání zemního plynu s LNG*

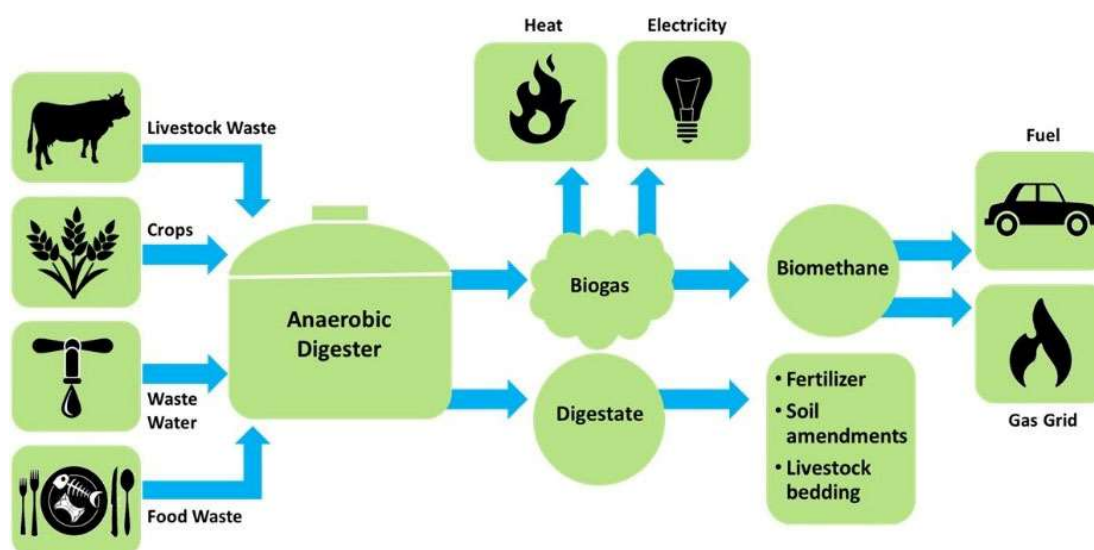
LNG také vyžaduje větší počáteční investice do infrastruktury, jako jsou zkapalňovací zařízení a speciální transportní a skladovací zařízení. Tato logistika se promítá do vyšší ceny LNG ve srovnání se zemním plynem, který je obecně levnější díky nižším nákladům na distribuci a rozsáhlé dostupnosti přes plynovodní síť.

#### 4.5 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. [58]

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. [58]

Jak lze vidět na obrázku níže, samotný bioplyn může být využíván pro produkci elektrické energie. Také při jeho produkci vzniká teplo, které je často využíváno pro vytápění okolních budov. Při použití zařízení na úpravu bioplynu pro jeho vyčištění nám vzniká biometan. [59]



Obrázek 10. Proces výroby bioplynu a jeho možné využití [59]

K roku 2023 se v České republice nacházelo celkem 540 bioplynových stanic s maximálním instalovaným výkonem 350,5 MW. [60]

Biometan je možné používat stejným způsobem jako zemní plyn a také ho je možné vtlačet do plynárenské distribuční sítě. Jeho velkou výhodou je nízká uhlíková stopa a obnovitelnost, avšak za cenu snížení produkce potravin na orné půdě a pěstováním plodin vhodných pro výrobu bioplynu, primárně kukuřice. [60]

Hustota biometanu musí být v rozmezí  $0,55 \text{ kg/m}^3$  až  $0,75 \text{ kg/m}^3$ . [61]

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. [62]

Určení ceny biometanu je poměrně problematické, jelikož se nejedná o klasickou komoditu obchodovatelnou na volném trhu, avšak se dá 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. [20]



*Obrázek 11. Bioplynová stanice v Mladé Boleslavi [63]*

Na obrázku výše můžeme vidět bioplynovou stanici určenou pro zpracování organických odpadů, jako například zbytků jídla, nebo potravin s prošlým datem minimální trvanlivosti, která se nachází v Mladé Boleslavi. Zpracovávaný biometan se Mladé Boleslavi dodává ve formě BioCNG (stlačený biometan) pro pohon autobusů městské dopravy nebo v čisté formě pro užití v domácnostech. [63]

#### **4.5.1 BioLNG**

BioLNG, také 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. [64]

#### 4.5.2 Porovnání biometanu s LNG

LNG je vyrobeno chlazením zemního plynu na  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což mu umožňuje zaujímat mnohem menší objem a být efektivně 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.

Jak je patrné z níže uvedené tabulky, biometan je složením velmi podobný zemního plynu.

	<b>Biometan</b>	<b>LNG</b>
<b>Hustota</b>	0,55 - 0,75 kg/m <sup>3</sup>	400 kg/m <sup>3</sup>
<b>Tlak</b>	1 - 250 barů	1 - 10 barů
<b>Výhřevnost</b>	35 MJ/kg	50 MJ/kg
<b>Emise</b>	44,6 CO <sub>2</sub> /kWh	655 g CO <sub>2</sub> /kWh
<b>Cena</b>	1,3 - 2,7 Kč/kWh	2,6 Kč/kWh

*Tabulka 6. srovnání Biometanu s LNG*

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. Můžeme ho také stlačit (BioCNG) nebo zkapalnit (BioLNG). 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<sub>2</sub> 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 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 (ale nemusí) 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.

#### **4.6 Tabulkové srovnání všech energetických plynů**

Následující tabulka poskytuje přehled technických a ekonomických parametrů různých typů plynů, které jsou využívány v energetice a dopravě. Tabulka srovnává jednotlivé plyny na základě jejich hustoty, tlaku, výhřevnosti, emisí CO<sub>2</sub> a ceny za kilowatthodinu.

Tento přehled umožňuje rychlou orientaci v rozdílech mezi těmito palivy z hlediska jejich energetické účinnosti, ekologického dopadu a nákladů na provoz, což je zásadní pro volbu optimálního paliva v závislosti na specifických podmínkách a požadavcích dané aplikace.

	LNG	LPG - letní směs	LPG - zimní směs
<b>Hustota</b>	400 kg/m <sup>3</sup>	552 kg/m <sup>3</sup>	538 kg/m <sup>3</sup>
<b>Tlak</b>	1 - 10 barů	5 - 10 barů	5 - 10 barů
<b>Výhřevnost</b>	50 MJ/kg	47,26 MJ/kg	47,04 MJ/kg
<b>Emise</b>	655 g CO <sub>2</sub> /kWh	210 - 270 g CO <sub>2</sub> /kWh	210 - 270 g CO <sub>2</sub> /kWh
<b>Cena</b>	2,6 Kč/kWh	2,65 Kč/kWh	2,65 Kč/kWh
	CNG	NG	Biometan
<b>Hustota</b>	800 kg/m <sup>3</sup>	0,69 kg/m <sup>3</sup>	0,55 - 0,75 kg/m <sup>3</sup>
<b>Tlak</b>	200 - 248 barů	0,02 - 100 barů	1 - 250 barů
<b>Výhřevnost</b>	50 MJ/kg	34 MJ/kg	35 MJ/kg
<b>Emise</b>	225 g CO <sub>2</sub> /kWh	200 g CO <sub>2</sub> /kWh	44,6 CO <sub>2</sub> /kWh
<b>Cena</b>	2,17 Kč/kWh	1,25 Kč/kWh	1,3 - 2,7 Kč/kWh

*Tabulka 7. srovnání energetických plynů*

## 5 PROGNOZA

### 5.1 Prognostika

Prognostika je vědní obor, který se zaměřuje na rozvoj teorií, metod a praxe prognózování. Jejím hlavním cílem je podpora tvorby prognóz, což znamená systematické zkoumání budoucnosti s cílem vytvořit vědecky podložené výpovědi o budoucím stavu objektů nebo jevů. Prognostika se odlišuje od běžného předvídaní tím, že využívá vědecké metody a poznatky, čímž se snaží dosáhnout co největší míry spolehlivosti a přesnosti ve svých závěrech. Základním rysem prognostiky je její interdisciplinární charakter, což znamená, že čerpá z mnoha vědních oborů a integruje jejich výsledky do komplexních prognóz. [65]

Dělení prognostiky zahrnuje několik hlavních přístupů a typů prognóz. Z hlediska metodologie se prognostika dělí na normativní a explorativní. Normativní prognostika vytyčuje cíle a hledá způsoby, jak jich dosáhnout, zatímco explorativní prognostika se zaměřuje na analýzu současných trendů a na jejich základě předpovídá možné budoucí scénáře. Dále se prognózy mohou lišit podle časového horizontu (krátkodobé, střednědobé, dlouhodobé), podle předmětu zkoumání (např. vojenské, sociální, technologické) a podle přístupu k tvorbě (intuitivní, matematické, komparační). [65]

Prognostika plní ve společnosti několik klíčových funkcí. Mezi ně patří především identifikace potenciálních budoucích hrozeb a příležitostí, podpora rozhodovacích procesů, a tvorba strategií a plánů pro budoucí rozvoj. Prognózy jsou cenným nástrojem pro státní správu, podniky i jednotlivce, kteří na jejich základě mohou připravovat strategie, které minimalizují rizika a využívají příležitosti. Význam prognostiky spočívá také v podpoře racionálního jednání, které je založeno na informacích o možných budoucích stavech a vývoji společnosti. [65]

### 5.2 Použitá prognostická metoda

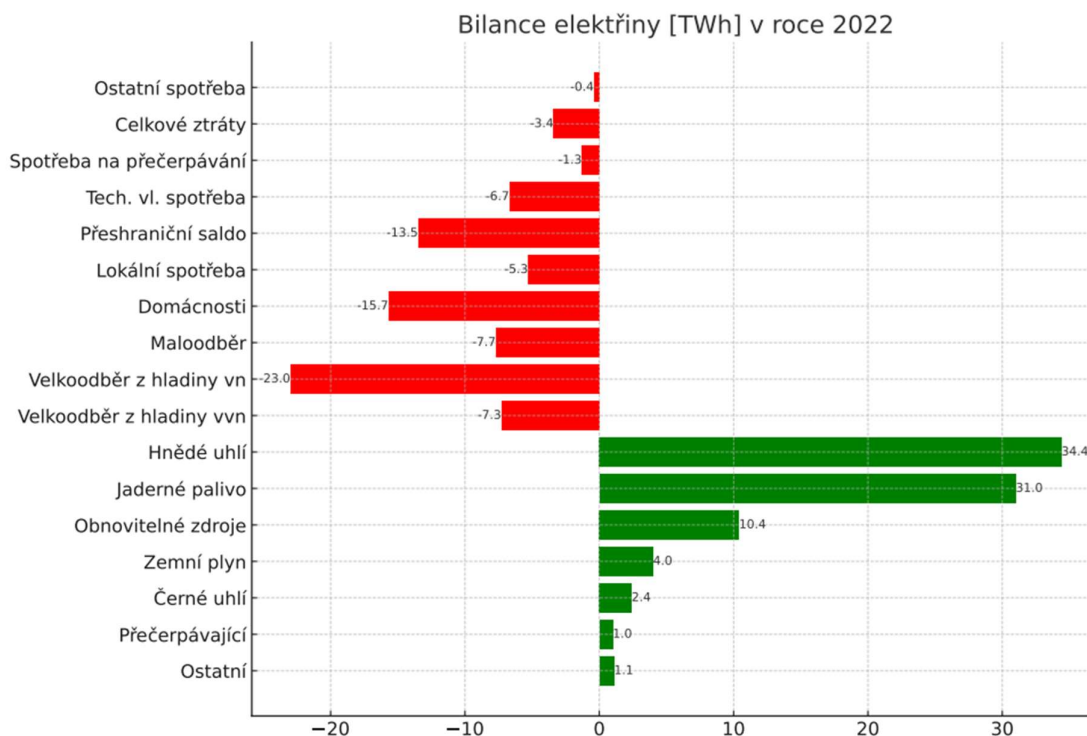
Pro vytvoření prognózy byla použita extrapolace trendů, která využívá sledování určitých ukazatelů (proměnných) v časových řadách a jejich projekci do budoucnosti. Tato metoda vychází z předpokladu, že vývoj hodnot těchto proměnných nebo procesů bude v budoucnu pokračovat stejným směrem nebo stejnou rychlostí. Pro zajištění co nejpřesnějších prognóz je klíčové stanovit zákonitosti, které ovlivňují vývoj zkoumaných jevů nebo procesů. Pokud není možné tyto zákonitosti přesně určit, extrapolaci nelze považovat za spolehlivou vědeckou metodu. [65]

### 5.3 Prognóza

Zkapalněný zemní plyn (LNG) se stal významnou součástí globálního energetického mixu, který je dnes stále dominován uhlím a ropou. V uplynulých desetiletích jeho role narůstala díky technologickým pokrokům, které umožnily efektivnější přepravu zemního plynu přes oceány. V současné době jeho popularita v Evropě roste v důsledku geopolitických událostí, jako je válka na Ukrajině a s tím spojené sankce na ruský plyn a ropu. Dovoz energetických surovin ze zemí s nestabilní politickou situací, jako je Rusko nebo státy na Blízkém východě, navíc posiluje snahy o diverzifikaci energetických zdrojů, přičemž LNG z politicky stabilních zemí, jako jsou USA nebo Austrálie, představuje jednu z klíčových alternativ.

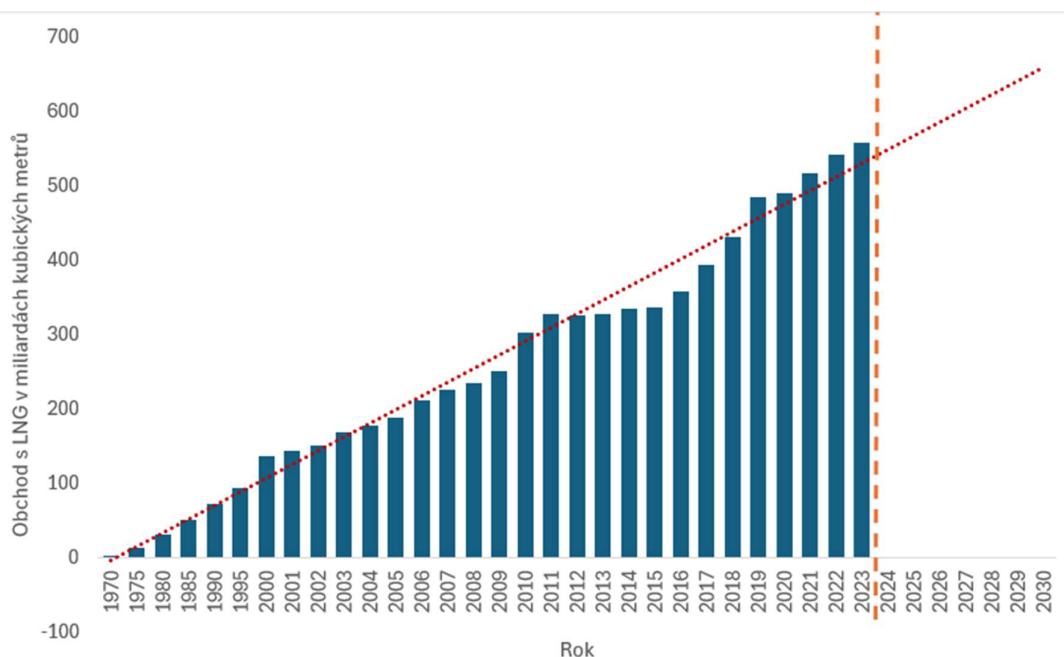
LNG je zkapalněný zemní plyn, ochlazený na teplotu kolem  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což umožňuje výrazné snížení jeho objemu a tím efektivnější skladování a přepravu. Tato technologie se stává stále populárnější, protože umožňuje nejen diverzifikaci energetických zdrojů, ale také snižuje emise skleníkových plynů ve srovnání s tradičními fosilními palivy, jako jsou uhlí a ropa.

Jak ukazuje graf, v roce 2022 bylo hlavním zdrojem energie v České republice stále hnědé uhlí, následované jadernou energií. Obnovitelné zdroje energie postupně nabývají na významu, zatímco zemní plyn, včetně LNG, který se zpětně zplyňuje a dopravuje plynovody na místa určení, zaujímá čtvrté místo v energetickém mixu, a je využíván především k výrobě elektrické energie.



Graf 1. Výroba a využití elektrické energie v ČR v roce 2022 [vlastní]

Abychom splnili cíle evropského Green Dealu, je nezbytné nahradit výrobu elektřiny z uhlí a ropy. Jaderná energie, uznaná Evropskou unií jako zelený zdroj, může hrát klíčovou roli v tomto přechodu. Další významnou možností je LNG, které, i když není dokonalým zdrojem energie, může významně přispět k přechodu na obnovitelné zdroje a zajistit určitou energetickou stabilitu.



Graf 2. Obchod s LNG od roku 1970-2023 v miliardách m<sup>3</sup> [vlastní]

Graf výše znázorňuje růst obchodu s LNG v miliardách kubických metrů v průběhu let 1970 až 2023, s predikcí růstu do roku 2030. Data ukazují postupný nárůst objemu obchodu v průběhu let, s výraznějším zrychlením v posledních letech. Tečkovaná červená linie představuje trendovou křivku, která predikuje pokračující růst až do roku 2030, kdy by roční objem obchodu s LNG mohl dosáhnout 700 miliard m<sup>3</sup>. Svislá oranžová přerušovaná čára označuje hranici mezi aktuálními daty (do roku 2023) a predikcí (roky 2024–2030).

## 5.4 Pozitivní prognóza

Zkapalněný zemní plyn (LNG) hraje klíčovou roli v boji proti klimatickým změnám díky své schopnosti snižovat emise skleníkových plynů ve srovnání s tradičními fosilními palivy. Při spalování LNG se do atmosféry uvolňuje přibližně o 45 % méně CO<sub>2</sub> než při spalování uhlí a o 30 % méně než při spalování ropy. Tento významný rozdíl je zvláště důležitý v sektoru výroby elektrické energie, kde LNG nabízí účinnou alternativu k uhlí. Kromě toho LNG výrazně snižuje emise oxidů síry a dusíku a téměř eliminuje emise pevných částic, což přispívá ke zlepšení kvality ovzduší a snižuje zdravotní rizika spojená s jeho znečištěním.

Dalším zásadním přínosem LNG je jeho role při zvyšování energetické bezpečnosti a diverzifikaci dodavatelských zdrojů. Země využívající LNG nejsou závislé na plynovodech, což jim umožňuje importovat plyn z různých regionů světa a tím snižovat geopolitická rizika i závislost na jednotlivých dodavatelích. Tento aspekt zajišťuje flexibilnější reakci na

politické a tržní turbulence. Například Japonsko a Jižní Korea, které jsou silně závislé na dovozu energie, mohou díky LNG zabezpečit své energetické potřeby bez nutnosti velkých investic do infrastruktury spojené s alternativními zdroji energie.

Flexibilita LNG je dalším klíčovým faktorem, který umožňuje rychlou adaptaci na změny v energetické poptávce. LNG terminály mohou být navrženy a postaveny relativně rychle ve srovnání s jinými typy energetické infrastruktury, jako jsou jaderné nebo uhelné elektrárny. Kromě toho je možné postupně zvyšovat kapacity stávajících LNG terminálů bez nutnosti masivních počátečních investic. LNG také poskytuje důležitou záložní kapacitu pro země usilující o zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie ve svém energetickém mixu. Pomáhá vyrovnávat kolísání výroby energie z obnovitelných zdrojů a zajišťuje stabilní dodávky energie v obdobích, kdy produkce z obnovitelných zdrojů klesá.

Kromě těchto přímých přínosů v oblasti snižování emisí a zvyšování energetické bezpečnosti může LNG hrát klíčovou roli v podpoře obnovitelných zdrojů energie. Díky své schopnosti rychle reagovat na změny v poptávce může LNG efektivně doplňovat obnovitelné zdroje, jako jsou větrné a solární elektrárny, jejichž výroba může být nepravidelná v závislosti na počasí a denní době. Tím LNG pomáhá udržovat stabilitu energetické sítě a zajišťuje kontinuitu dodávek elektrické energie i v obdobích, kdy produkce z obnovitelných nebo jiných zdrojů není dostatečná.

## 5.5 Negativní prognóza

Ačkoli LNG produkuje méně emisí skleníkových plynů než tradiční fosilní paliva, přináší s sebou významná environmentální rizika. Jednou z hlavních obav je únik metanu, který má ve srovnání s oxidem uhličitým přibližně 30krát vyšší schopnost zachycovat teplo v atmosféře během 100 let. K únikům metanu může dojít v kterékoli fázi dodavatelského řetězce, od těžby po distribuci, což může oslabit některé z klimatických výhod LNG. Kromě toho zkapalňovací proces vyžaduje značnou spotřebu energie, což může vést k nárůstu celkových emisí skleníkových plynů, pokud tato energie nepochází z obnovitelných zdrojů.

Manipulace s LNG představuje také významná bezpečnostní rizika kvůli jeho extrémně nízkým teplotám a potenciálu pro vznícení. Kontakt LNG s vodou může vést k rychlému vypařování, které může způsobit exploze. K zajištění bezpečnosti jsou zapotřebí speciální materiály a technologie, stejně jako přísné dodržování bezpečnostních protokolů. Například výbuch v alžírské Skikdē v roce 2004, při němž zahynulo 23 lidí a 74 dalších bylo zraněno, poukazuje na tato rizika.

LNG projekty vyžadují značné počáteční kapitálové výdaje, což může 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 hrají rovněž významnou roli, neboť země závislé na dovozu LNG mohou být vystaveny geopolitickým rizikům a cenovým šokům, což může vést k nestabilitě v jejich 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
Global	386.3	35	165.3	38	783.5	61	669.4	18

Tabulka 8. Odhadovaná cena vybudování LNG stanic [23]

Cena LNG terminálů se pohybuje v řádu stovek milionů dolarů, jak ukazuje tabulka. Nejlevnější variantou jsou plovoucí stanice pro příjem LNG, které stojí přibližně 165,3 milionu dolarů, zatímco nejdražší jsou pevninské terminály pro export LNG s průměrnou cenou 783,5 milionu dolarů.

Ačkoli LNG může sloužit jako přechodné řešení směrem k čistším formám energie, vyvstávají otázky ohledně jeho dlouhodobé udržitelnosti. Závislost na LNG by mohla potenciálně zpomalit 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.

## 5.6 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 potřebnou 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 efektivitě v oblastech, kde jsou 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 pro vaření a vytápění. NG zůstává hlavním pilířem pro stacionární energetické aplikace díky své široké dostupnosti a nízkým provozním nákladům. Biometan, který se 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 klíčových 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.

potřebu dalšího výzkumu a rozvoje technologií pro zefektivnění 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 se doporučuje, 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. Větší důraz by měl být 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] NFPA 59A. *Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG)*. 2023. ISBN 978-1455929696.
- [11] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 1473, *Zařízení a vybavení pro zkapalněný zemní plyn - Navrhování pozemních zařízení*, 2021.
- [12] *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].
- [13] Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb. In: . 2008. Vyhláška č. 23/2008 Sb.
- [14] 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].
- [15] 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.
- [16] Plynovod Gazela zahajuje zkušební provoz, napojí Česko na ruský zemní plyn. Online. *IROZHLAS*. 2013. Dostupné z: <https://www.irozhlas.cz/fotogalerie/5819267?fid=6002091>. [cit. 2024-08-21].
- [17] *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.
- [18] *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].
- [19] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN ISO 13480, *Kovová průmyslová potrubí*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

- [20] HAITL, Martin. *Biometan: - kde je vůle, tam je cesta?* Online. In: MIKROP ČEBÍN A.S. Mikrop. 10.10. 2023n. 1. Dostupné z: <https://www.mikrop.cz/magazin/biometan-kde-je-vule~m1546>. [cit. 2024-05-24].
- [21] 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.
- [22] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN ISO 3864, Grafické značky - Bezpečnostní barvy a bezpečnostní značky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [23] AHMAD, Zaki. *Cathodic Protection*. Online. In: ScienceDirect.com. 2006. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/cathodic-protection>. [cit. 2024-05-24].
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] EVROPSKÁ KOMISE. Evropská zelená dohoda. Online. Dostupné z: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_cs](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_cs). [cit. 2024-08-17].
- [27] EU Green Deal. Online. Dostupné z: <https://img.kurzy.cz/zpravy/obrazky/44/747844/green-deal-4.png>. [cit. 2024-08-21].
- [28] Fit For 55. Online. Dostupné z: [https://build-up.ec.europa.eu/sites/default/files/styles/bup\\_detail\\_page/public/illustrations/diseno\\_sin\\_titulo\\_26.png?itok=eSmdíYdV](https://build-up.ec.europa.eu/sites/default/files/styles/bup_detail_page/public/illustrations/diseno_sin_titulo_26.png?itok=eSmdíYdV). [cit. 2024-08-21].
- [29] EVROPSKÁ KOMISE. Liquefied Natural Gas and gas storage will boost EU's energy security. Online. In: . Brusel, 2016. Dostupné

- z: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/hu/MEMO\\_16\\_310](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/hu/MEMO_16_310). [cit. 2024-08-17].
- [30] EVROPSKÁ KOMISE. REPowerEU. Online. 2022. Dostupné z: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en). [cit. 2024-08-17].
- [31] EVROPSKÁ KOMISE. Trans-European Networks for Energy. Online. 2022. Dostupné z: [https://energy.ec.europa.eu/topics/infrastructure/trans-european-networks-energy\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/infrastructure/trans-european-networks-energy_en). [cit. 2024-08-17].
- [32] *Global Gas Outlook 2050*. Online. 8th Edition. GECF, 2024. Dostupné z: <https://www.gecf.org/resources/files/pages/global-gas-outlook-2050/gecf-global-gas-outlook-20231.pdf>. [cit. 2024-08-20].
- [33] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2017/1938 ze dne 25. října 2017 o opatřeních na zajištění bezpečnosti dodávek zemního plynu a o zrušení nařízení (EU) č. 994/2010, Úř. věst. L 280, 28.10.2017, s. 1–56.
- [34] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 347/2013 ze dne 17. dubna 2013, kterým se stanoví hlavní směry pro transevropské energetické sítě a zrušuje rozhodnutí č. 1364/2006/ES, Úř. věst. L 115, 25.4.2013, s. 39–75.
- [35] EVROPSKÁ KOMISE. Clean energy for all Europeans package. Online. 2019. Dostupné z: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en). [cit. 2024-08-17].
- [36] EVROPSKÁ KOMISE. European Climate Law. Online. 2023. Dostupné z: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en). [cit. 2024-08-17].
- [37] *Státní energetická koncepce ČR*. Online. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2010. Dostupné z: <https://www.mpo.gov.cz/dokument5903.html>. [cit. 2024-08-17].
- [38] Vláda odložila schválení energetické koncepce. Online. *České noviny*. 2024. Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/2544474>. [cit. 2024-08-20].
- [39] *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*. Online. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2020. Dostupné z: <https://www.mpo.gov.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepni->

- dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/. [cit. 2024-08-17].
- [40] *Národní akční plán energetické účinnosti ČR*. Online. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2017. Dostupné z: <https://www.mpo.gov.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/strategicke-dokumenty/narodni-akcni-plan-energeticke-ucinnosti-cr--150542/>. [cit. 2024-08-17].
- [41] *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].
- [42] ABRAHAM, 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].
- [43] *LNG: Liquefied Natural Gas*. Online. In: UTA. Dostupné z: <https://web.uta.com/en/liquefied-petroleum-gas-lng>. [cit. 2024-05-24].
- [44] *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].
- [45] 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].
- [46] 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].

- [47] *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].
- [48] *CNG+*. Online. Dostupné z: <https://www.cngplus.cz/>. [cit. 2024-05-24].
- [49] 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].
- [50] *LETNÍ A ZIMNÍ SMĚS LPG*. Online. In: LPG Obchod. Dostupné z: <https://www.lpg-obchod.cz/co-je-lpg/>. [cit. 2024-05-24].
- [51] 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].
- [52] 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].
- [53] 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-pohonnych-hmot/2018/1/Zprava\\_Evidence\\_2017\\_2pol\\_1.pdf](https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/statistika/statistika-cerpacich-panic-pohonnych-hmot/2018/1/Zprava_Evidence_2017_2pol_1.pdf). Zpráva od Ministerstva průmyslu a obchodu.
- [54] 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].
- [55] 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].

- [56] 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].
- [57] *Cena plynu za m<sup>3</sup> v roce 2024*. Online. In: Ušetřeno.cz. 2024. Dostupné z: <https://www.usetreno.cz/energie-plyn/cena-plynu-za-m3/>. [cit. 2024-05-24].
- [58] *Výroba biometanu*. Online. In: AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. Air products. Dostupné z: <https://www.airproducts.cz/industries/biomethane-production>. [cit. 2024-05-24].
- [59] 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].
- [60] *Česká bioplynová asociace*. Online. Dostupné z: <https://www.czba.cz/>. [cit. 2024-05-24].
- [61] *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].
- [62] ADELDT, 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:Ln50KVi78f4SaUeD1Y0z1lnewUvds96BCe5lflG3pJ\\_mZDwEi5Z0N>OcYRTOXJfNZDTaWWQuFjxo#sec6https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510011000734?casa\\_token=ScjIZT2X-WEAAAAA:Ln50KVi78f4SaUeD1Y0z1lnewUvds96BCe5lflG3pJ\\_mZDwEi5Z0N>OcYRTOXJfNZDTaWWQuFjxo#sec6](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875510011000734?casa_token=ScjIZT2X-WEAAAAA:Ln50KVi78f4SaUeD1Y0z1lnewUvds96BCe5lflG3pJ_mZDwEi5Z0N>OcYRTOXJfNZDTaWWQuFjxo#sec6https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510011000734?casa_token=ScjIZT2X-WEAAAAA:Ln50KVi78f4SaUeD1Y0z1lnewUvds96BCe5lflG3pJ_mZDwEi5Z0N>OcYRTOXJfNZDTaWWQuFjxo#sec6). [cit. 2024-05-24].
- [63] *Mladoboleslavská bioplynová stanice si poradí s odpadem z restaurací i s potravinami s prošlým datem minimální trvanlivosti*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.spolecne-udrzitelne.cz/aktuality/inspirace/mladoboleslavska->

bioplynova-stanice-si-poradi-s-odpadem-z-restauraci-i-s-potravinami-s-proslym-datem-minimalni-trvanlivosti/. [cit. 2024-08-17].

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

[65] VALOUCH, Jan a HROMADA, Martin. *Bezpečnostní Futurologie*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2016. ISBN 978-80-7454-621-1.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

AAV	Vaporizér s okolním vzduchem
CBAM	Uhlíkové clo
CCTV	Closed Circuit Television
CNG	Stlačený zemní plyn
C3-MR	Směsné chladivo předchlazené propanem
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
DMR	Proces s dvojitým smíšeným chladivem
ESD	Zařízení pro nouzové vypnutí
ETS	Emisní povolenky
EU	Evropská unie
HAZOP	Hazard and operability study
IFV	Vaporizér s prostředním médiem
LNG	Zkapalněný zemní plyn
LPG	Zkapalněný ropný plyn
LULUCF	Pravidla a využívání půdy a lesnictví
MCHE	hlavního kryogenního výměníku tepla
NG	Zemní plyn
ORV	Vaporizér na otevřeném stojanu
PE	Polyethylenové povlaky
PP	Polypropylenové povlaky
RFID	Radio Frequency identification
SCV	Vaporizér s ponořeným spalováním
TEN-E	Trans European Network for Energy
CHP	Kombinovaná výroba tepla a elektřin
Ex d	Ochrana s neprůstřelným závěrem

Ex e      Zvýšená bezpečnost

Ex i      Jiskrová bezpečnost

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obrázek 1. Znázornění dílčích energetických transformací technologie LNG [1].....</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 2. Nádrž s úplným zabezpečením [3].....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 3. Mapa sítě plynovodů v Evropě [7] .....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 4. Evropské plynovody ve výstavbě [7].....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 5. Výstavba plynovodu Gazela [16].....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 6. Mapa přepravní soupravy [17] .....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 7. Geometrické tvary a barvy pro bezpečnostní značky [22] .....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 8. Cíle Evropského Green Dealu [27].....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 9. Cíle Fit For 55 [28].....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 10. Proces výroby bioplynu a jeho možné využití [59].....</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 11. Bioplynová stanice v Mladé Boleslavi [63].....</i>	<i>60</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1. Vlastnosti LNG [8]</i> .....	53
<i>Tabulka 2. srovnání CNG s LNG</i> .....	55
<i>Tabulka 3. srovnání letní směsi LPG s LNG</i> .....	57
<i>Tabulka 4. srovnání zimní směsi LPG a LNG</i> .....	57
<i>Tabulka 5. srovnání zemního plynu s LNG</i> .....	58
<i>Tabulka 6. srovnání Biometanu s LNG</i> .....	61
<i>Tabulka 7. srovnání energetických plynů</i> .....	63
<i>Tabulka 8. Odhadovaná cena vybudování LNG stanic [23]</i> .....	69

**SEZNAM GRAFŮ**

<i>Graf 1. Výroba a využití elektrické energie v ČR v roce 2022 [vlastní] .....</i>	<i>66</i>
<i>Graf 2. Obchod s LNG od roku 1970-2023 v miliardách m<sup>3</sup> [vlastní] .....</i>	<i>67</i>

