

# Transport ukapljenog prirodnog plina

---

**Pavlović, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:815893>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-09**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Prijediplomski studij naftnog rudarstva

**TRANSPORT UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA**

Završni rad

Luka Pavlović

N4512

Zagreb, 2023.

Sveučilište u Zagrebu

Završni rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

## TRANSPORT UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA

Luka Pavlović

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

### Sažetak

U ovom je završnom radu obuhvaćen transporta ukapljenog prirodnog plina (LNG-a) morem. Na samom početku rada definirani su osnovni pojmovi i značajke vezani uz prirodni plin, uključujući svojstva LNG-a i trenutnu potražnju za njim u svijetu. Potom su opisani brodovi za transport LNG-a s posebnim osvrtom na izvedbu teretnih prostora (spremnika) kojima su ti brodovi opremljeni.

Ključne riječi: ukapljeni prirodni plin, LNG, transport ukapljenog prirodnog plina, spremnici ukapljenog prirodnog plina

Završni rad sadrži: 32 stranice, 2 tablice, 22 slike, i 13 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGNf-a

Pomagao pri izradi/komentator: Dr. sc. Katarina Žbulj, poslijedoktorandica

Ocjenjivači: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGNf-a  
Dr.sc. Lidia Hrnčević, redovita profesorica RGNf-a  
Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNf-a

Datum obrane: 18.09.2023., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>I</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>II</b>
<b>POPIS KORIŠTENIH OZNAKA .....</b>	<b>III</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. UKAPLJENI PRIRODNI PLIN.....</b>	<b>2</b>
2.1. Općenito o ukapljenom prirodnom plinu.....	2
2.2. Ukapljivanje prirodnog plina.....	3
2.3. Transport ukapljenog prirodnog plina .....	4
2.4. Terminal za uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina.....	5
2.5. Tržište ukapljenog prirodnog plina danas.....	7
<b>3. POVIJEST TRANSPORTA LNG-a .....</b>	<b>9</b>
<b>4. LNG SPREMNICI.....</b>	<b>10</b>
4.1 Samonosivi spremnici.....	10
4.1.1. <i>IHI-SPB spremnik.....</i>	<i>11</i>
4.1.2. <i>Moss Maritime, Moss Rosenberg spremnik.....</i>	<i>13</i>
4.2. Membranski spremnici .....	16
4.2.1. <i>GTT Mark III spremnici.....</i>	<i>18</i>
4.2.2. <i>GTT NO.96 spremnici.....</i>	<i>20</i>
4.2.3. <i>NO.96 Super + spremnici.....</i>	<i>21</i>
<b>5. LNG BRODOVI.....</b>	<b>23</b>
5.1 Podjela LNG brodova prema veličini - volumenu spremnika .....	25
5.1.1. <i>Konvencionalni brodovi tipa 1 i 2 .....</i>	<i>26</i>
5.1.2. <i>Q-Flex i Q-Max brodovi .....</i>	<i>26</i>
5.2 LNG ledolomci .....	27
5.3 Plutajući odobalni terminal za skladištenje i uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina (engl. Floating Storage Regasification Unit – FSRU).....	28
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>31</b>
<b>7. LITERATURA.....</b>	<b>32</b>

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Prikaz pojedinih faza u transportu LNG-a i udio troškova .....	2
Slika 2-2. Ukrcaj ukapljenog prirodnog plina na LNG brod .....	4
Slika 2-3. Usporedba isplativosti transporta nafte i plina kopnenim i morskim putem .....	5
Slika 2-4. Tipovi odobalnih LNG terminala za uplinjavanje .....	6
Slika 2-5. Uzlazni trend svjetske trgovine ukapljenim prirodnim plinom .....	8
Slika 3-1. Prikaz prvih komercijalnih brodova za LNG .....	9
Slika 4-1. Podjela spremnika .....	10
Slika 4-2. Izolacija SPB spremnika .....	12
Slika 4-3. Prikaz unutrašnjosti prizmatskog spremnika .....	13
Slika 4-4. Različiti oblici spremnika prate oblik trupa broda .....	13
Slika 4-5. Prva isporuka broda Moss Rosenberg Verft brodogradilišta 1973. godine .....	14
Slika 4-6. Kuglasti (Mossov) spremnik .....	15
Slika 4-7. Usporedba Mark III i NO.96 spremnika .....	16
Slika 4-8. Poprečni presjek membranskog spremnika .....	17
Slika 4-9. Primarna membrana od nehrđajućeg čelika .....	18
Slika 4-10. Mark III spremnik .....	19
Slika 4-11. GTT NO.96 spremnik .....	20
Slika 4-12. NO.96 Super + spremnik .....	22
Slika 5-1. LNG flota prema godini isporuke i prosječnom volumenu spremnika za skladištenje ukapljenog prirodnog plina .....	23
Slika 5-2. Prikaz razvoja LNG brodova od 1967-2008. godine .....	25
Slika 5-3. Prvi izgrađeni LNG ledolomac .....	28
Slika 5-4. FSRU terminal LNG Croatia .....	30

## **POPIS TABLICA**

Tablica 4-1. Karakteristike Mark III sustava .....	19
Tablica 4-2. Karakteristike NO.96 sustava .....	21

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA

LNG	ukapljeni prirodni plin ( <i>engl. Liquefied Natural Gas</i> )
GBS	fiksni terminal ( <i>engl. Gravity Base Structure</i> )
FSRU	brod sa spremnicima za LNG i postrojenjem za uplinjavanje ( <i>engl. Floating Storage and Regasification unit</i> )
MT	milijuna tona ( <i>engl. Million tonnes</i> )
MTPA	milijuna tona godišnje ( <i>engl. Million tonnes per annum</i> )
RH	Republika Hrvatska
GTT	Gaztransport i Technigaz ( <i>engl. Gaztransport &amp; Technigaz</i> )
SPB. <i>type B</i> )	samonosivi prizmatični spremnici ( <i>engl. Self-supporting Prismatic Shape IMO</i>
PUF	poliuretanska pjena ( <i>engl. Polyurethane foam</i> )
BOR	količina isparenog plina ( <i>engl. Boil off-rate</i> )

## 1. UVOD

Mogući načini transporta prirodnog plina do tržišta uključuju plinovode, ukapljivanje plina i njegov transport brodovima, stlačivanje plina i transport baržama, pretvorbu plina u tekućine i druge načine pretvorbe plina u oblik prihvatljiv za transport. Danas se plin uglavnom transportira plinovodima i brodovima (ukapljen), dok su ostale tehnologije pretvorbe i transporta u razvoju. Iz navedenih podataka o svjetskoj trgovini prirodnim plinom godinama je odnos transportiranih količina prirodnog plina plinovodima i ukapljenog prirodnog plina koji se transportirao brodovima bio oko 70:30 %. S vremenom se taj odnos mijenjao u smislu povećanja udjela transporta plina brodovima. Ukupna trgovina prirodnim plinom 2012. godine iznosila je  $785 \times 10^9 \text{ m}^3$ , od čega je  $460,1 \times 10^9 \text{ m}^3$  odnosno 58,6% transportirano plinovodima, a  $324,9 \times 10^9 \text{ m}^3$  odnosno 41,4% brodovima. Godine 2022. ukupno je u svijetu transportirano  $968,5 \times 10^9 \text{ m}^3$  prirodnog plina, što je smanjenje od 5,1% u odnosu na 2021. godinu s tim da je plinovodima te 2022. godine transportirano  $426,1 \times 10^9 \text{ m}^3$  odnosno 44%, a brodovima  $542,4 \times 10^9 \text{ m}^3$  odnosno 56%. Pritom je interesantno da se količina plina transportirana plinovodima smanjila za 15,5%, a količina ukapljenog transportiranog plina povećala za 5,5% u odnosu na 2021. godinu (British Petroleum, 2023). Treba napomenuti da je 2022. godina, treća godina zaredom da je količina prirodnog plina transportiranog brodovima premašila količinu transportiranu plinovodima. Iz navedenih podataka vidljivo je da je s vremenom došlo i do povećanja količina prirodnog plina kojima se trguje na svjetskom tržištu. Razlozi su dvojaki: transfer s naftne na plinsku ekonomiju radi višestrukih prednosti plina u odnosu na naftu, te porast potrošnje energije u Indiji i Kini. Razlozi povećanja udjela trgovine ukapljenim prirodnim plinom u ukupnoj trgovini prirodnim plinom su: privođenje proizvodnji nekonvencionalnih plinskih ležišta, sve češće privođenje proizvodnji geografski izoliranih plinskih polja, unaprjeđenje tehnologija u cijelom lancu unovčenja ukapljenog prirodnog plina, a naročito povećanje kapaciteta brodova za transport ukapljenog prirodnog plina, što je dovelo do smanjenja jedinične cijene transporta ukapljenog prirodnog plina, a u posljednje dvije godine i ratni sukob Rusije i Ukrajine (The Energy Institute ,2023).

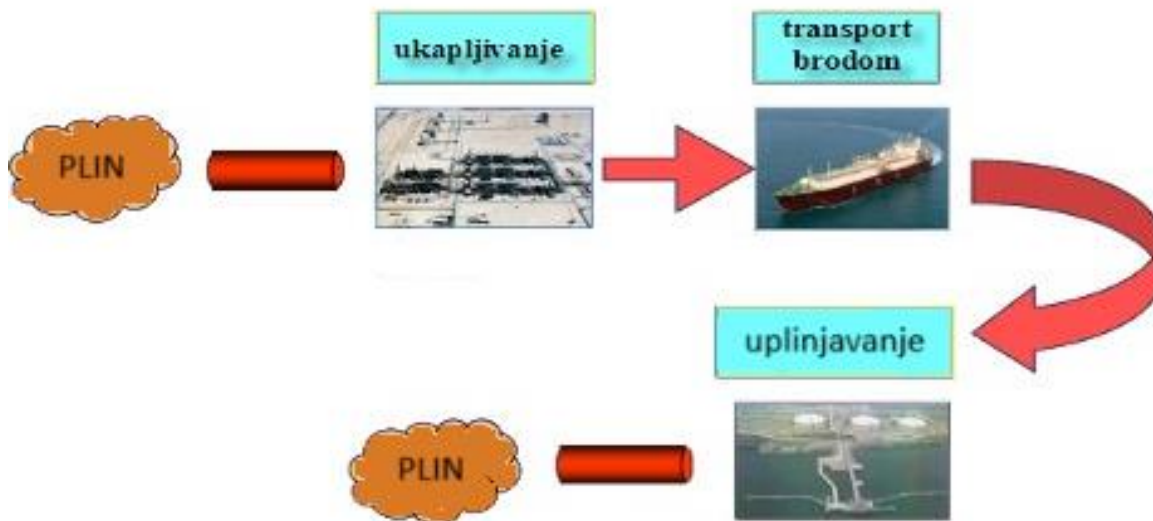
U radu će biti opisan razvoj brodova za transport ukapljenog prirodnog plina s osvrtnom na razvoj spremnika u kojima se prirodni plin tijekom transporta skladišti.



## 2. UKAPLJENI PRIRODNI PLIN

### 2.1. Općenito o ukapljenom prirodnom plinu

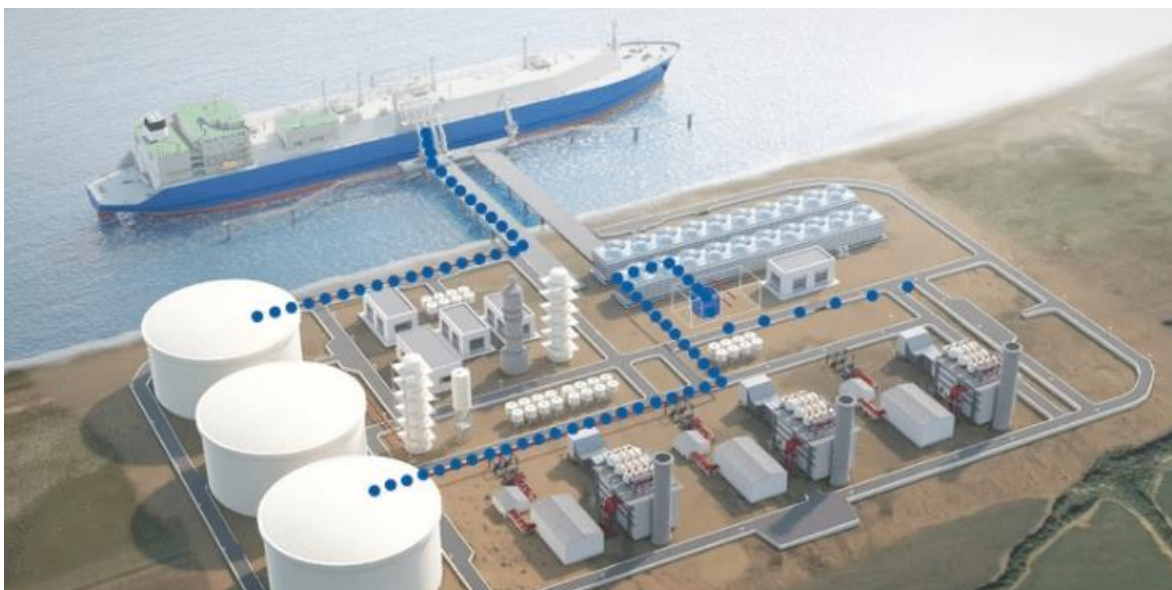
Ukapljeni zemni plin ili ukapljeni prirodni plin je pročišćeni plin koji je rashlađivanjem preveden u tekuće stanje. Glavni razlog ukapljivanja prirodnog plina je mogućnost prijevoza velikih količina na velike udaljenosti morskim putem. Uvjeti pri kojima se prirodni plin transportira u tekućem stanju podrazumijevaju atmosferski tlak i temperaturu od  $-161^{\circ}\text{C}$ . Inače, LNG je smjesa plinova koja se pri temperaturi i tlaku okoline nalazi u plinovitom stanju. U smjesi dominira metan, uz manje udjele etana, propana i butana. LNG je plin bez mirisa, bez boje, netoksičan i nekoroziivan. U slučaju izlaganja okolišnim uvjetima brzo isparava bez ostatka na vodi i tlu. Gustoća LNG -a je, ovisno o njegovom sastavu, između  $430\text{ kg/m}^3$  i  $470\text{ kg/m}^3$ , što znači da je lakši od vode pa u slučaju istjecanja iz brodskih spremnika pluta na njoj dok ne ispari. Lanac opskrbe LNG-om uključuje aktivnosti ukapljivanja, transporta i uplinjavanja (Slika 2-1.).



**Slika 2-1.** Prikaz pojedinih faza u transportu LNG-a i udio troškova (Simon, 2023)

## 2.2. Ukapljivanje prirodnog plina

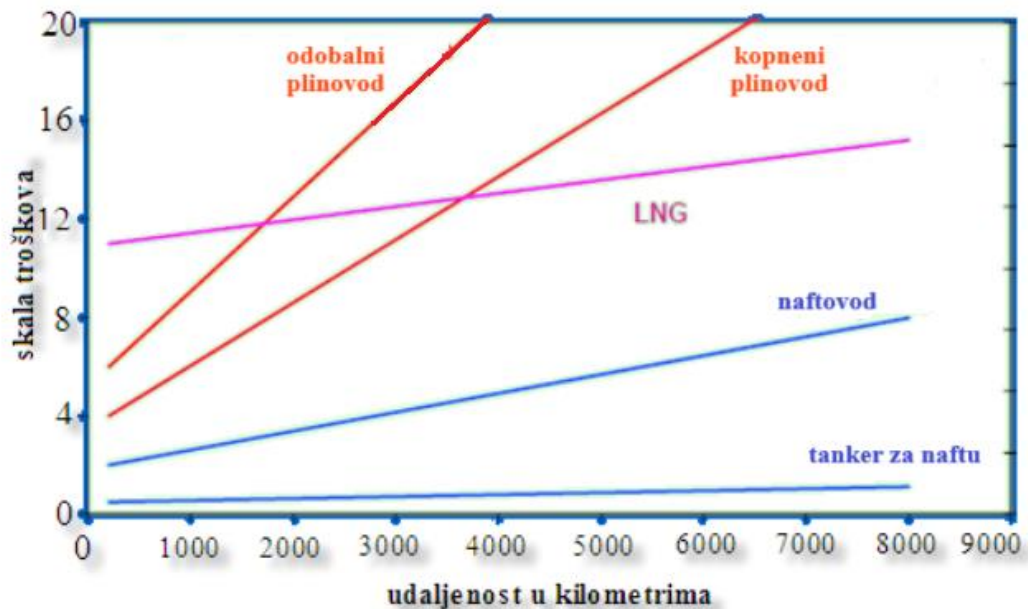
Postupak ukapljivanja prirodnog plina ključna je komponenta u LNG postrojenjima u smislu složenosti, cijene i operativne važnosti. Ukapljeni prirodni plin prelazi u tekuće stanje procesom ukapljivanja kojem prethodi obrada plina odnosno uklanjanje neželjenih primjesa iz prirodnog plina (voda, dušik, živa, kiseli plinovi, tj. sumporovodik i ugljični dioksid, visokomolekularni ugljikovodici i sl.). Voda i ugljični dioksid uklanjaju se kako bi se spriječilo stvaranje hidrata tijekom ukapljivanja, što može dovesti do začepjenja vodova i druge opreme. Dušik se izdvaja zbog mogućeg slojevitog odvajanja u spremniku ukapljenog plina, a živu treba ukloniti do granice kod koje neće doći do stvaranja korozije na izmjenjivačima topline koji su izrađeni od aluminijske legure. Osim što stvaraju koroziju, kisele plinove treba izdvojiti i zbog postizanja kvalitete izlaznog plina koja će onda diktirati cijenu tog plina na tržištu. Visokomolekularni ugljikovodici uklanjaju se zbog cijene koju postižu na tržištu i postizanja odgovarajuće ogrjevne vrijednosti plina. Nakon čišćenja, prirodni plin ulazi u dio postrojenja u kojem se vrši njegovo ukapljivanje. Tehnologija ukapljivanja temelji se na ciklusima hlađenja, u kojima se topli, prethodno obrađeni plin, hladi u više stupnjeva do prelaska u tekuće stanje. Da bi se postigle kriogene temperature potrebne za proizvodnju LNG -a, potrebno je uložiti energiju odnosno rad u ciklusima hlađenja kroz rashladne kompresore. Prirodni plin u konačnici prelazi u tekuće stanje pri atmosferskom tlaku i temperaturi od oko  $-161^{\circ}\text{C}$  (Simon et al., 2009). Tijekom transformacije u tekućinu plin prolazi kroz smanjenje volumena u omjeru, od približno 600:1. Smanjenje volumena čini ga ekonomičnijim za prijevoz na velike udaljenosti te omogućava njegovo lakše ukrcavanje u posebno dizajnirane spremnike za prijevoz (Slika 2-2.).



**Slika 2-2.** Ukrcaj ukapljenog prirodnog plina na LNG brod ( Burckhardt Compression, n.d.)

### 2.3. Transport ukapljenog prirodnog plina

Nakon proces ukapljivanja prirodnog plina te njegovog ukrcaja na LNG brod, LNG se transportira na određenu lokaciju. LNG brodovi su brodovi s dvostrukom oplatom. Transport LNG-a brodom, u usporedbi sa plinovodima, je relativno nov način transporta plina te ima 40-godišnju povijest uz ostvarenu iznimnu pouzdanost i sigurnost. Jedan od razloga transporta prirodnog plina LNG brodom je ekonomičnost samog procesa u odnosu na plinovode. Podmorski plinovodi su isplativiji na kraćim udaljenostima, a iznad određene duljine postaje ga isplativije transportirati brodovima (Slika 2-3.).



**Slika 2-3.** Usporedba isplativosti transporta nafte i plina kopnenim i morskim putem (Simon, 2023)

#### 2.4. Terminal za uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina

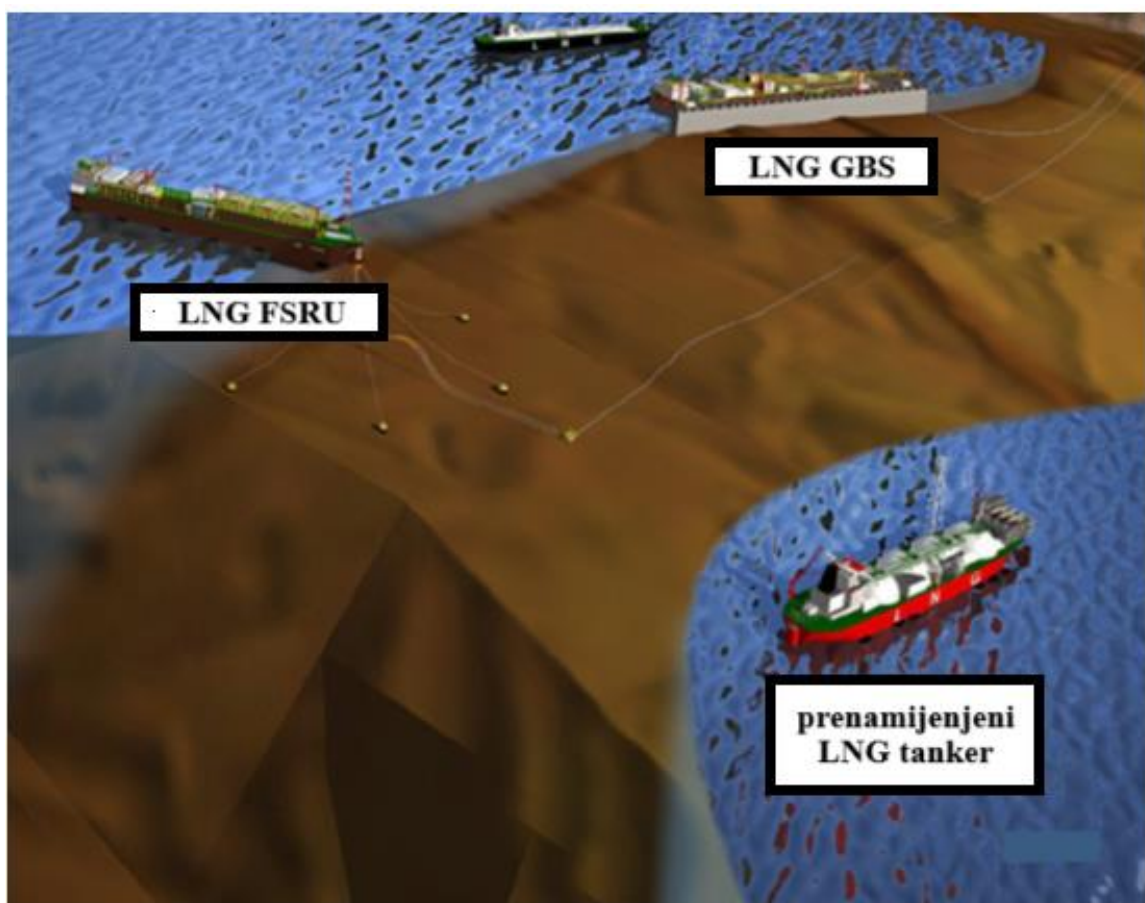
Terminal za uplinjavanje LNG -a mjesto je gdje se LNG isporučuje krajnjim korisnicima prirodnog plina. Neke od glavnih funkcija terminala su:

- prihvatanje brodova za transport LNG-a,
- pretakanje LNG-a u spremnike na terminalu, kamione cisterne za prijevoz LNG-a ili spremnike za LNG na brodovima manjeg volumena ili one pogonjene LNG-om,
- skladištenje LNG-a,
- uplinjavanje LNG-a, s mogućnošću podešavanja njegovog sastava, i
- isporuka ugovorenih količina plina u plinsku mrežu

Terminal se obično sastoji od pristaništa za istovar LNG -a i postrojenja za skladištenje i otpremu prirodnog plina, zajedno sa sustavom grijanja radi ponovnog pretvaranja LNG -a u

prirodni plin. Postupak uplinjavanja je proces zagrijavanja LNG-a koji se obično koristi izvorima topline na sobnoj temperaturi. Većina terminala za zagrijavanje ukapljenog plina koristi morsku vodu.

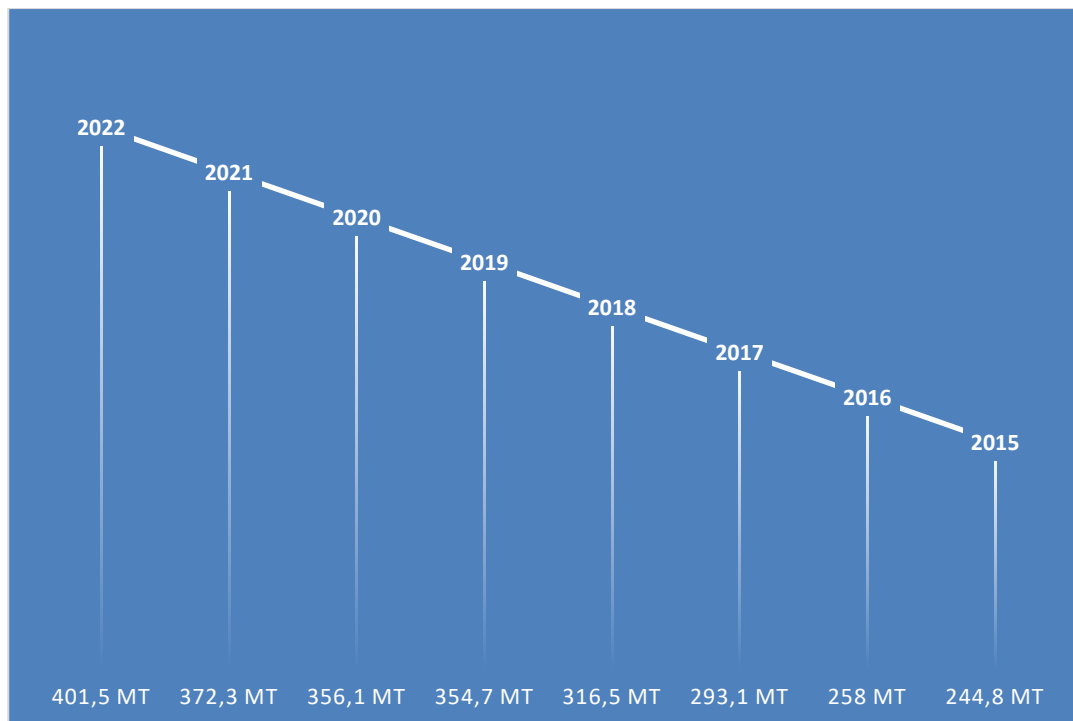
Trenutno postoje dvije vrste LNG terminala za uplinjavanje kopneni (*engl. onshore*) i odobalni (*engl. offshore*). *Offshore* terminali za uplinjavanje dijele se na fiksne - GBS terminale (*engl. Gravity Base Structure*) koji se koriste u plićim morima i plutajuće FSRU (*engl. Floating Storage and Regasification unit*) koji se koriste u dubljim morima (Slika 2-4.). GBS je odobalni terminal na dubini mora do 54 m na kojem su spremnici smješteni u betonskoj unutrašnjosti strukture dok se oprema nalazi na betonskom kućištu. Kod FSRU terminala najčešće se radi o prenamijenjenom LNG brodu, iako ima i novoizgrađenih terminala. Prednosti takvih terminala su kraće vrijeme izgradnje, izbjegavanje dugotrajnog procesa otkupa zemljišta i dobivanja svih potrebnih dozvola za rad, kao i manje problema zbog negativne percepcije projekta u javnosti.



**Slika 2-4.** Tipovi odobalnih LNG terminala za uplinjavanje (Simon, 2023)

## 2.5. Tržište ukapljenog prirodnog plina danas

Udio ukapljenog prirodnog plina u svjetskoj trgovini prirodnim plinom posljednjih je godina bitno povećan (Slika 2-5.). Povećanje svjetske trgovine ukapljenim prirodnim plinom u 2022. godini od 25,4 MT u odnosu na 2021. godinu potaknuto je porastom potražnje za LNG-om u Europi kako bi se nadoknadio gubitak zbog prekida dobave plina iz Rusije. Europa je prošle godine uspjela uvesti 126,6 MT kako bi nadoknadila taj gubitak, što je čini drugom po veličini uvoznicom LNG-a u svijetu. Australija je zadržala svoj položaj najvećeg izvoznika LNG-a u 2022. godini, izvozeći 80,9 MT naspram 79,0 MT u 2021. godini. Najveća izvozna regija i dalje je Azijsko-pacifička regija koja je zabilježila ukupni izvoz od 136,6 MT u usporedbi sa 131,4 MT u 2021. godini. Azijsko-pacifička regija također je nastavila biti najveća uvozna regija s neto uvozom od 160,9 MT prošle godine, što predstavlja porast od 4,6 MT u usporedbi sa 2021. godinom. Zbog kineskih blokada povezanih s COVID-19 i visokih međunarodnih cijena koje su prekinule spot uvoz LNG-a u Aziju, Japan je ponovno postao najveći svjetski uvoznik LNG-a sa uvozom od 73,6 MT u usporedbi sa 74,9 MT u 2021. godini. Od travnja 2023. godine globalna trgovina ukapljenim prirodnim plinom povezala je 20 izvoznih tržišta sa 48 tržišta s uvoznom infrastrukturom, a sve više globalizirano LNG tržište omogućilo je preusmjeravanje ogromnih količina energije u nekoliko mjeseci. U 2022. godini, u Europi je zabilježeno najveće povećanje isporuke od 14,5 MTPA, a slijede je Azijsko-pacifička regija s 8,5 MTPA, Azija sa 6 MTPA i Latinska Amerika sa 2,2 MTPA. Od 31,2 MTPA dodanog kapaciteta za uplinjavanje u 2022. godini, više od 80% je iz novoizgrađenih terminala. Naime, 2022. godine u rad je pušteno devet novih terminala, s još tri projekta proširenja kapaciteta u Nizozemskoj, Kini i Hrvatskoj. Hrvatska je dodala 0,2 MTPA svom terminalu LNG Croatia na Krku čime je njegov prihvatni kapacitet dosegao 2,1 MTPA u 2022. godini (IGU, 2023).



**Slika 2-5.** Uzlazni trend svjetske trgovine ukapljenim prirodnim plinom (IGU, 2023)



### 3. POVIJEST TRANSPORTA LNG-a

Razvoj brodova za ukapljeni prirodni plin započeo je sredinom dvadesetog stoljeća. Prvi brod za ukapljeni prirodni plin bio je Methane Pioneer koji je imao skladišni prostor od 5 000 m<sup>3</sup>, a nastao je pretvorbom američkog teretnog broda Normati, 1958. godine. Teretni mu se prostor sastojao od pet aluminijskih samonosivih prizmatskih spremnika, koji su bili toplinski izolirani drvenim pločama, a postojala je i sekundarna zaštitna pregrada za slučaj istjecanja ukapljenog plina. Methane Pioneer započeo je svoju prvu plovidbu u siječnju 1959. godine. U svom je radnom vijeku obavio trideset plovidbi, a 1972. godine povučen je iz uporabe i pretvoren u spremnik za ukapljeni prirodni plin. Methane Princess i Methane Progress (Slika 3-1.) prvi su komercijalni brodovi za ukapljeni prirodni plin. Sagrađeni su 1964. godine u britanskim brodogradilištima. Oba su broda bila u vlasništvu tvrtke Conch International Methane i svaki je imao po devet prizmatskih spremnika izrađenih prema projektu iste tvrtke, ukupnog obujma od 27 400 m<sup>3</sup>. Prevozili su LNG za tvrtku British Gas od Alžira do otoka Canvey na rijeci Temzi. Methane Princess obavio je više od petsto plovidbi i povučen je iz upotrebe tek 1998. godine dok je Methane Progress plovio 467 puta, a otpisan je 1992. godine (Posavec et al., 2010).

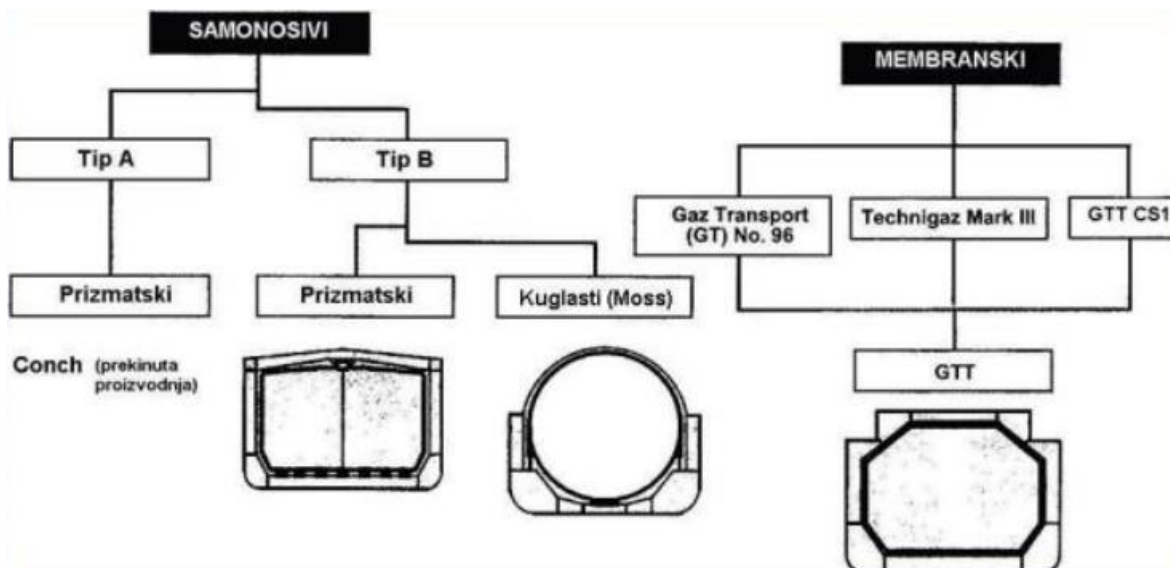


**Slika 3-1.** Prikaz prvih komercijalnih brodova za LNG-a (Posavec et al., 2010)



## 4. LNG SPREMNICI

Tijekom razvoja tehnologije prijevoza ukapljenog prirodnog plina, javile su se mnoge eksperimentalne konstrukcije spremnika (Slika 4-1.), no industrija je ubrzo isključila iz primjene složene i zahtjevne projekte pa su se u primjeni do danas zadržala dva tipa spremnika: samonosivi neovisni i membranski spremnici.



Slika 4-1. Podjela spremnika na brodovima za prijevoz LNG-a (Posavec et al., 2010)

Danas se za transport u svijetu koristi 668 brodova, od toga se na njih 81,6% nalaze membranski spremnici čiji je glavni proizvođač kompanija GTT (*Gaztransport & Technigaz*). Ostalih 18,4% čine samonosivi spremnici, koji se dijele na sferične (Moss tip) spremnike i prizmatične (IHI tip) spremnike.

### 4.1 Samonosivi spremnici

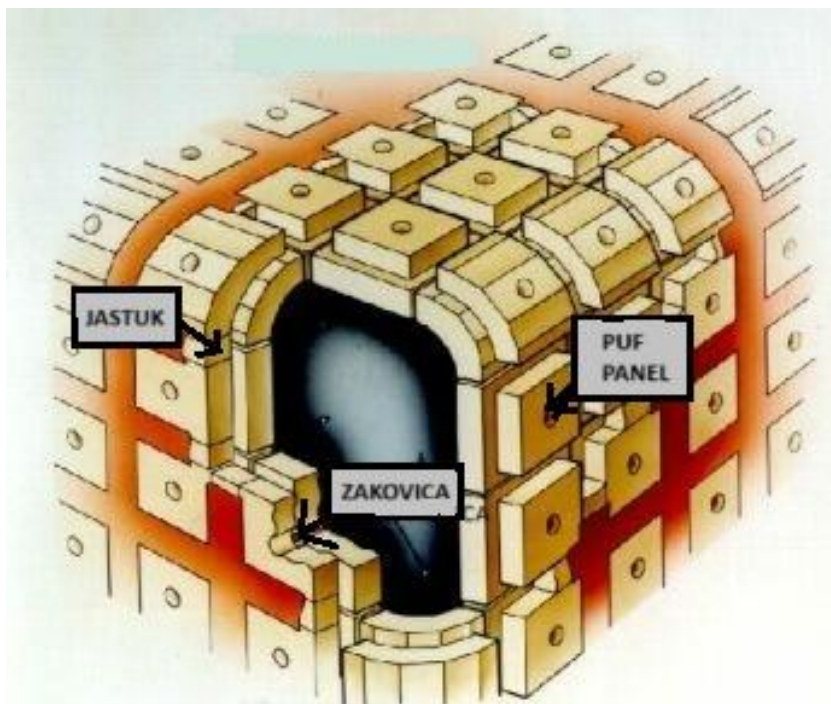
Samonosivi, neovisni spremnici su teške, čvrste strukture, oblika prizme ili kugle (najčešće). Samonosivi znači da stijenka spremnika u potpunosti preuzima opterećenja koja se unutar spremnika javljaju zbog tlakova, a neovisni znači da se grade neovisno o trupu broda i da trup broda služi samo za preuzimanje njihove težine. Projektirani su da u plinskom dijelu spremnika izdrže pretlak od 0,7 bar. U praksi se, međutim, predtlak unutar spremnika održava ispod 0,25 bar-a. Dijele se na dva tipa, tip A i tip B. Spremnici tipa A bio je potreban potpuni sekundami

zaštitni zid oko spremnika, budući da analize naprezanja nisu bile precizno izrađene. Spremnici ovog tipa su bili ugrađeni u brodove Methane Princess i Methane Progress, a izradila ih je, kao i brodove, tvrtka Conch. Oba su broda imala probleme s istjecanjem ukapljenog plina prilikom testiranja. Ti su problemi, zajedno s potpuno promašenom konstrukcijom trećeg broda, uzrokovali prestanak izrade prizmatskih Conch spremnika. Spremnici tipa B se dijele na prizmatske (IHI-SPB tip) i kuglaste (Moss tip). Na tim su spremnicima obavljene sveobuhvatne analize naprezanja, pa oko spremnika nije potreban potpuni sekundarni, već samo djelomični zaštitni zid u obliku posude za skupljanje LNG-a u slučaju istjecanja, koja se nalazi ispod spremnika (Posavec et al., 2010).

#### 4.1.1. IHI-SPB spremnik

IHI-SPB je skraćena za samonosive prizmatske spremnike tipa B (*engl. Self-supporting Prismatic shape IMO type B*). Od gore navedena tri tipa spremnika (membranski, Moss tip i prizmatski), IHI-SPB je jedini razvijen u Japanu. Japanska ujedinjena morska korporacija - JMU (*engl. Japan Marine United Corporation*) posjeduje licencu za proizvodnju IHI-SPB spremnika u glavnim brodogradilištima u Japanu i Južnoj Koreji od 2015. godine. Ovaj tip spremnika je 1993. godine prvi put postavljen u dva LNG broda ukupnog volumena od 87 500 m<sup>3</sup>. Bili su to brodovi *Polar Spirit* i *Arctic Spirit* (SPB Technology, n.d.).

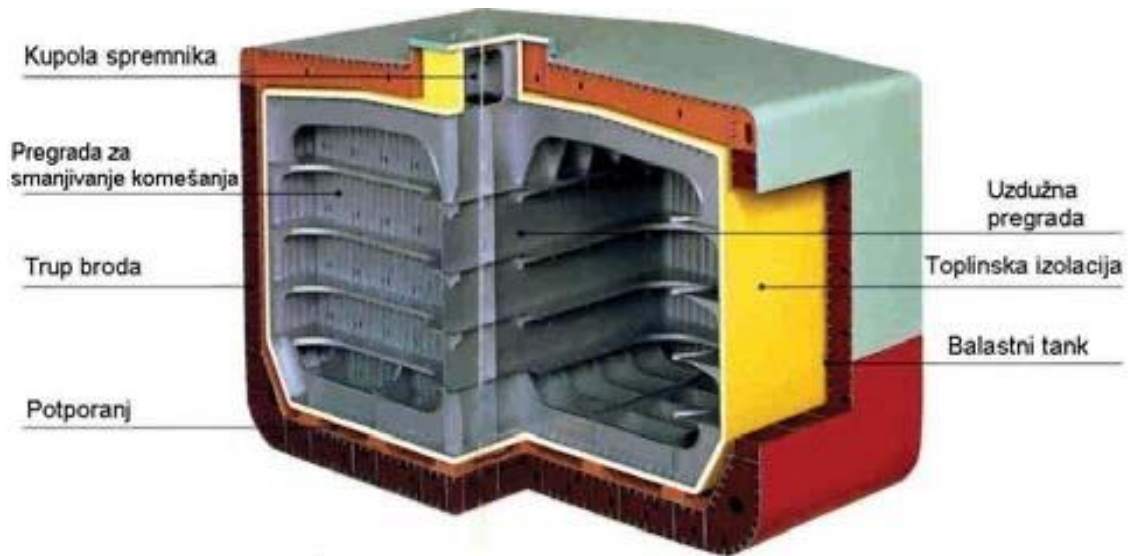
Spremnici su izrađeni od slitine aluminija ili od nehrđajućeg čelika s udjelom nikla od 9%. Izolacija spremnika se u osnovi sastoji od ploča od poliuretanske pjene (*engl. polyurethane foam panels - PUF*), koje su međusobno pričvršćene zakovicama. Između ploča smješteni su tzv. jastučići koji apsorbiraju relativna kretanja između spremnika i izolacije i uklanjaju toplinska naprezanja u samoj izolaciji (Slika 4-2.).



**Slika 4-2.** Izolacija SPB spremnika (SPB Technology, n.d.)

Unutar spremnika se nalaze pregrade načinjene od ploča povećane krutosti. Jedna pregrada podudara se s uzdužnom osi broda, a druga je okomita na nju stoga se ne očekuje problem zapljuskivanja ukapljenog plina tijekom plovidbe i uvijek je moguća bilo koja razina punjenja LNG-a u spremniku. Presjek prizmatskog spremnika tipa B prikazan je na slici 4-3.

Spremnici leže na potpornjima koji preuzimaju vertikalno opterećenje uslijed težine spremnika. Postoje i bočni potpornji koji preuzimaju bočno opterećenje koje se javlja kada se brod naginje na stranu. Tijekom utovara i istovara ukapljenog prirodnog plina, mijenja se temperatura spremnika, što je uzeto u obzir pri konstrukciji, pa je omogućeno termičko širenje i stezanje spremnika (Posavec et al., 2010).



**Slika 4-3.** Prikaz unutrašnjosti prizmatskog spremnika (Posavec et al., 2010)

Jedna od značajki SPB-a je slobodan odabir oblika samog spremnika, odnosno njegov oblik se dizajnira na način da se prati kontura trupa broda (Slika 4-4.).



**Slika 4-4.** Različiti oblici spremnika prate oblik trupa broda (SPB Technology, n.d.)

#### *4.1.2. Moss Maritime, Moss Rosenberg spremnik*

Prije točno 50 godina (1973. godine) brodogradilište Moss Rosenberg Verft isporučilo je prvi Moss LNG spremnik (Slika 4-5.). Finsko brodogradilište Kvaerner Moss 1991. godine kupilo je licencu za izgradnju brodova s ovim tipom spremnika. Sve do 2000. godine ti su se

spremnici nazivali Kvaerner-Moss spremnici. Te je godine prekinuto je partnerstvo s finskim brodogradilištem, te kompanija preuzima ime Moss Maritime pod kojim je poznata i danas (Moss Maritime, n.d.).

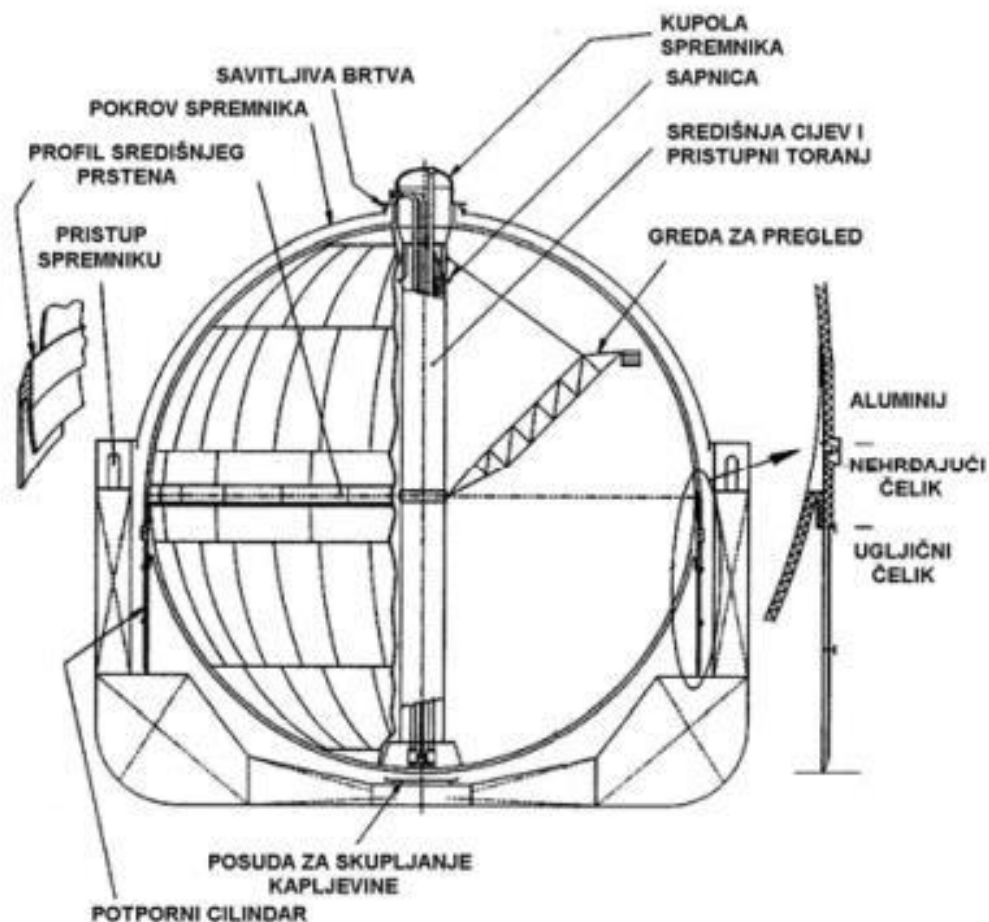


**Slika 4-5.** Prva isporuka broda Moss Rosenberg Verft brodogradilišta 1973. godine (Moss Maritime, n.d.)

Jednostavan oblik Moss LNG spremnika omogućuje visoku točnost predviđenja naprezanja i vijeka trajanja svih dijelova strukture spremnika uslijed zamora pa nema potrebe za punom sekundarnom membranom. Djelomičnu sekundarnu membranu čini tanka oplata uz potporu izolacijske strukture. Brodovi s Mossovima spremnicima nemaju, zbog sferičnog oblika spremnika, u potpunosti iskorišten prostor u trupu broda. To je negativno sa stajališta ekonomičnosti prijevoza, no ima i pozitivnu stranu zbog samog sfernog oblika. Radi jednostavnosti oblika smanjen je utjecaj djelovanja slobodne površine tereta što znači da neće doći do komešanja tereta unutar spremnika pa brod može ploviti i s djelomično napunjenim spremnikom.

Kuglasti Mossovi spremnici su izrađeni od ploča legure aluminija te ploča čelika s 9% nikla, velikih debljina stijenke (Posavec et al., 2010.). Imaju dvostruku stijenku i središnji prsten koji osigurava integritet spremnika. Središnji prsten preuzima bočno opterećenje, a cilindar navaren na prsten vertikalno. Gornji dio cilindra je od legure aluminija, a donji dio od čelika. Donji je dio cilindra navaren na trup broda. Toplinska se izolacija sastoji od sloja izolacijskih ploča

načinjenih od poliuretanske pjene koje su pričvršćene na vanjsku stijenku jednako raspoređenim zakovicama. Zaštitna oplata obložena je tankim aluminijskim pločama jer aluminij ne hrđa, može jedino korodirati kada je u kontaktu s drugim metalom ili lutajućim strujama (Posavec et al., 2010). Prikaz unutrašnjosti sferičnog spremnika vidljiv je na slici 4-6.

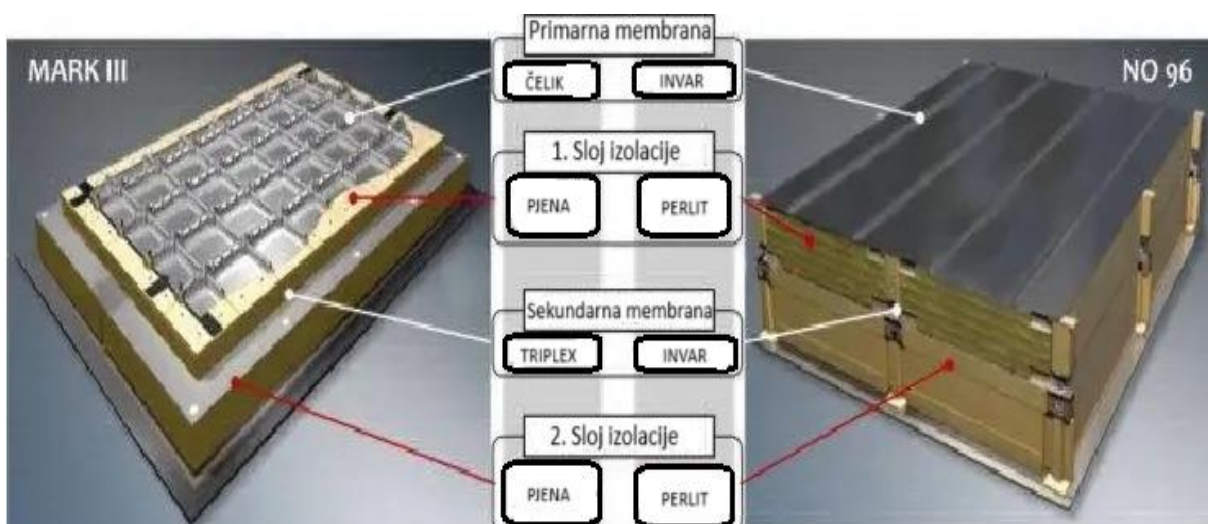


**Slika 4-6.** Kuglasti (Mossov) spremnik (Posavec et al., 2010)



## 4.2. Membranski spremnici

Spremnici ovog tipa nisu samonosivi i opterećenjem uslijed težine utječu na trup broda. Spremnici sadrže membranu koja ih štiti od utjecaja niskih temperatura te omogućuje direktno ukrcavanje LNG-a u tank. Dva dominantna i danas najčešće korištena membranska tipa spremnika su Mark III sustav dizajniran od strane Technigaz-a i NO.96 sustav razvijen od strane Gaztransport-a. Oba spremnika sadrže primarnu i sekundarnu membranu od metala ili kompozitnog materijala koji se minimalno skuplja tijekom hlađenja. Mark III uključuje dva sloja izolacije od poliuretanske pjene, dok NO.96 koristi sanduke od šperploče ispunjene perlitom, staklenom vunom ili pjenom (Slika 4-7.).



**Slika 4-7.** Usporedba Mark III i NO.96 spremnika (GTT, n.d.)

Tipski raspored slojeva sličan je u oba membranska tipa: primarna membrana koja je direktno u kontaktu s teretom, pa primarna izolacija, sekundarna membrana pa sekundarna izolacija direktno u kontaktu s dvostrukom oplatom trupa broda (Slika 4-8.).



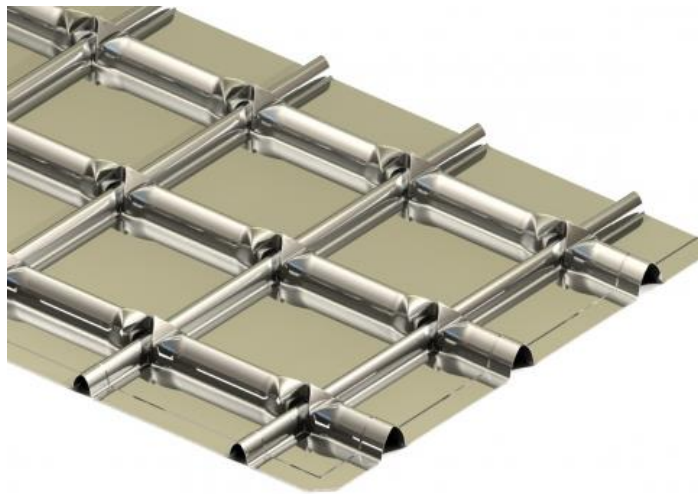
**Slika 4-8.** Poprečni presjek membranskog spremnika (Simon, 2023)

Nakon godina tehnološkog nadmetanja, 1994. godine došlo je do spajanja Gaztransporta i Technigaza u jedinstvenu kompaniju pod nazivom GTT. Ovo spajanje ujedinilo je dvije inovativne tehnologije s dugim iskustvom u transportu LNG-a. Technigaz je svoj prvi projektirani LNG brod isporučio 1964. godine, a Gaztransport 1969. godine. Novonastala kompanija GTT je nastavila s unapređenjem oba tipa membrana i razvila novi sustav spremnika pod nazivom Next 1 koji uključuje dvije metalne membrane poduprte slojem izolacije ojačane poliuretanskom pjenom.



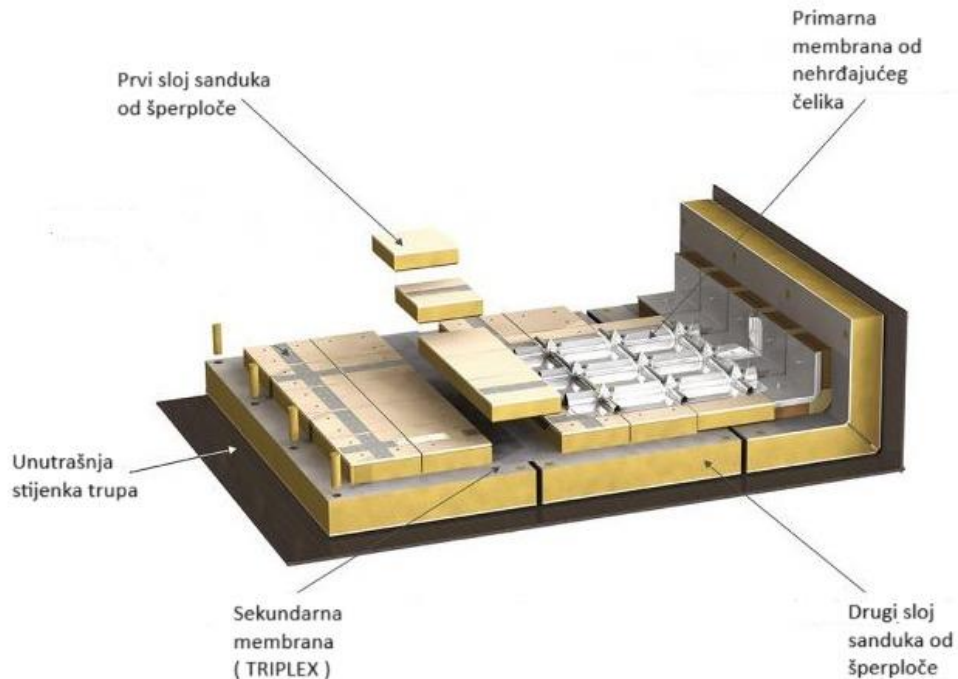
#### 4.2.1 GTT Mark III spremnici

Spremnici GTT Mark III se sastoje od primarne i sekundarne membrane poznate pod nazivom Triplex (dva sloja staklenih vlakana i aluminijska folija u sredini), te dvostruke toplinske izolacije. Primarna je membrana izrađena od nehrđajućeg čelika debljine 1,2 mm i naborana je kako bi se omogućilo njezino termičko rastezanje i skupljanje (Slika 4-9.). Toplinska izolacija iza primarne membrane izrađena je od slojeva sanduka od šperploče unutar kojih se nalazi armirana poliuretanska pjena. Unutar izolacije nalazi se sekundarna membrana.



**Slika 4-9.** Primarna membrana od nehrđajućeg čelika (GTT, n.d.)

Raspored membrana i slojeva izolacije je takav da je primarna membrana u kontaktu s ukapljenim plinom, iza nje je sloj sanduka od šperploče, zatim sekundarna membrana (Triplex), te na kraju drugi sloj sanduka od šperploče koji je pričvršćen za trup broda (Slika 4-10.).



**Slika 4-10.** Mark III spremnik (GTT, n.d.)

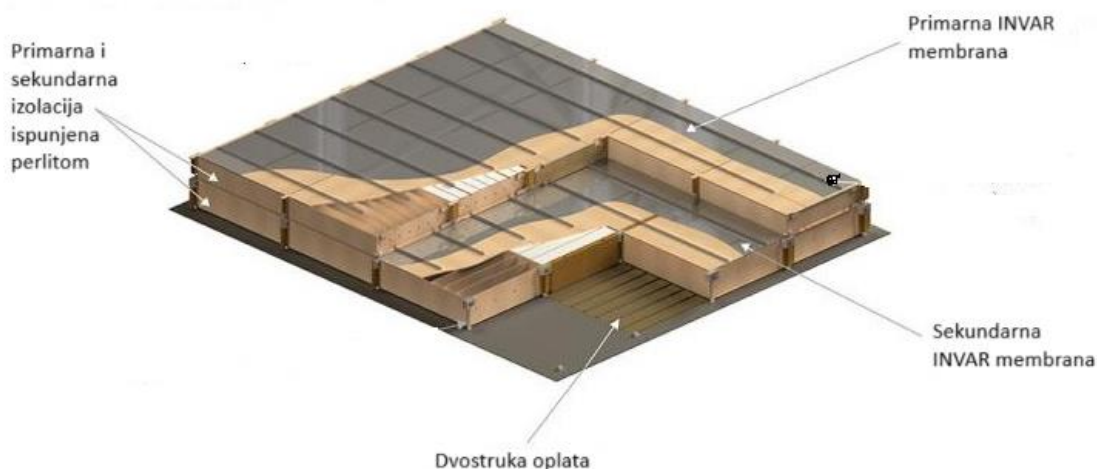
GTT je godinama unaprjeđivao spremnik Mark III i to kroz njegove inačice Mark III Flex i Mark III Flex+ koji imaju isti raspored membrana i izolacije. Postoji nekoliko razlika u karakteristikama između tri gore navedena tipa poput BOR-a (*engl. Boil-off rate* količina tekućine koja isparava iz spremnika zbog propuštanja topline i izražava se u postotcima ukupnog volumena tekućine po jedinici vremena) i debljine toplinske izolacije (Tablica 4-1.).

**Tablica 4-1.** Karakteristike Mark III sustava (GTT, 2023)

	<b>Mark III</b>	<b>Mark III Flex</b>	<b>Mark III Flex +</b>
BOR, Spremnik od 170 000 m <sup>3</sup>	Od 0,15 do 0,125%	Od 0,10 do 0,085%	0,07%
Godina izlaska na tržište	1969	2011	2017
Ispuna izolacije	Poliuretanska pjena 130kg/m <sup>3</sup>		
Membrane	Primarna membrana od nehrđajućeg čelika debljine 1.2 mm		
	Sekundarna membrana od kompozitnog materijala		
Debljina primarne + sekundarne izolacije	<b>270 mm = 100 +170</b>	<b>400 mm = 100 + 300</b>	<b>480 mm = 100 + 380</b>

#### 4.2.2 GTT NO.96 spremnici

GTT spremnik NO 96 sličan je GTT Mark spremniku jer ima dva identična i nezavisna metalna membranska sloja. Unutrašnja membrana koja je u kontaktu s teretom (ukapljenim prirodnim plinom) je primarna, dok je vanjska membrana sekundarna. Uloga metalnih membrana je da služe kao primarna i sekundarna prepreka istjecanju ukapljenog plina. Obje membrane su od invara (čelik sa 36% nikla) debljine 0,7 mm, koji je otporan na toplinsku dilataciju. Dvostruka izolacija, koja se sastoji od ploča šperploče ispunjene laganim perlitom je ojačana iznutra da izdrži tlakove uslijed kretanja fluida u spremniku i absorbira energiju kretanja tekućine. Raspored membrana i slojeva izolacije prikazan je na slici 4-11.



**Slika 4-11.** GTT NO.96 spremnik (GTT, n.d.)

Perlit kao izolacija može biti zamijenjen pjnom kao u spremniku oznake NO.96 L03 i L03+ ili staklenom vunom u spremniku tipa NO.96 GW. Spremnici se međusobno razlikuju i po količini isparenog plina (BOR). Karakteristike svakog tipa opisane su u tablici 4-2.

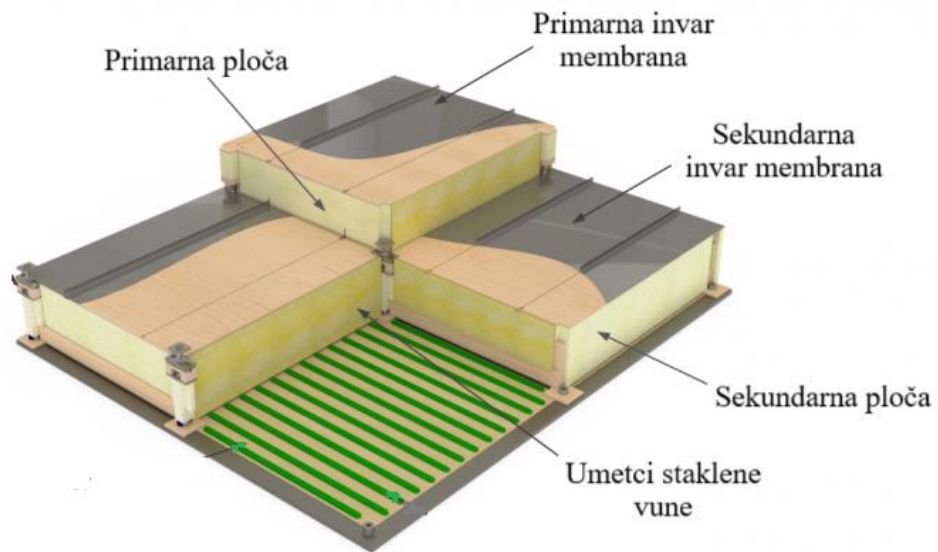
**Tablica 4-2.** Karakteristike NO.96 sustava (GTT, 2023)

	<b>NO.96</b>	<b>NO.96 GW</b>	<b>NO.96 L03</b>	<b>NO.96 L03+</b>
BOR, Spremnik od 170 000 m <sup>3</sup>	0,15%	0,13%	0,11%	0,10%
Ispuna izolacije	Perlit	Staklena vuna	Staklena vuna + pjena	
Membrane	Invar debljine 0,7 mm			
Debljina primarne + sekundarne izolacije	<b>530 mm = 230 + 300</b>			

#### 4.2.3 NO.96 Super + spremnici

Spremnik NO.96 Super + je poboljšana verzija spremnika NO.96 koja zadržava glavne značajke NO.96 tehnologije, posebice dvostruke invar metalne membrane. Tehnologija NO.96 Super + integrira izolacijske ploče od ojačane poliuretanske pjene umjesto kutija od šperploče, koje se koriste za primarni i sekundarni izolacijski prostor, kako bi se smanjio ulazak topline unutar spremnika (Slika 4-12.). Osim toga, zbog poboljšanja izolacije, između izolacijskih ploča umetnuti su slojevi staklene vune.

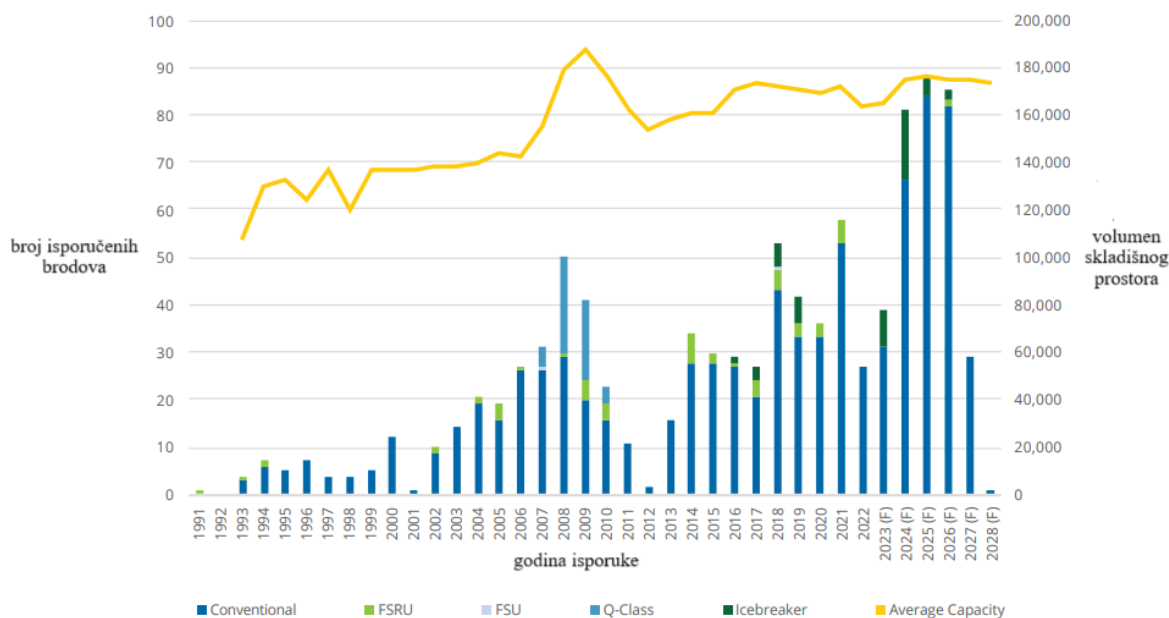
Uz ovu inovaciju, poboljšani tip spremnika karakterizira i smanjenje količine isparenog plina (BOR) od svega 0,085% za LNG brodove standardne veličine s ukupnim volumenom spremnika od 170 000 m<sup>3</sup> (u odnosu na 0,11% V/d za NO.96 L03+).



**Slika 4-12.** NO.96 Super + spremnik (GTT, n.d.)

## 5. LNG BRODOVI

Kako je već istaknuto, LNG se prevozi posebnim brodovima koji moraju zadovoljiti određene sigurnosne standarde. Često ih se naziva „metanizerima“, zbog sastava plina kojeg prevoze, budući da u njemu prevladava metan. Svjetskim morima trenutno plovi 668 aktivnih brodova za transport ukapljenog prirodnog plina (Slika 5-1.). Porast potražnje za LNG-om u svijetu rezultirao je 2022. godine povećanjem flote brodova od 4% u odnosu na 2021. godinu.



**Slika 5-1.** LNG flota prema godini isporuke i prosječnom volumenu spremnika za skladištenje ukapljenog prirodnog plina (IGU, 2023)

Postoji nekoliko podjela brodova za prijevoz LNG-a. Brodove za prijevoz LNG-a moguće je podijeliti s obzirom na vrstu pogona (propulzije), s obzirom na veličinu pri čemu ta podjela često objedinjuje dimenzije broda i ukupni volumen spremnika za ukapljeni plin, prema namjeni te prema tipu spremnika (poglavlje 4).

Aktivni brodovi za prijevoz LNG-a imaju sljedeće pogonske sustave (IGU, 2023):

- parnoturbinski sustav (*engl. Steam Turbine*)

- sustav sa sporohodnim dizelskim motorima sa sustavom za ukapljivanje i iskorištenje isparka (*engl. Slow-speed diesel with re-liquefaction plant - SSSR* )
- dvo-gorivni dizel električni sustav (*engl. Dual-Fuel Diesel Electric – DFDE*)
- tro-gorivni dizel električni sustav (*engl. Tri-Fuel Diesel Electric – TFDE*)
- sporohodni dvo-gorivni elektronički kontrolirani dizelski motor s ubrizgavanjem plina (*engl., M-type, Electronically Controlled, Gas Injection – ME-GI, ME-GA*)
- niskotlačni sporohodni dvo-gorivni električni sustav (*engl. Low pressure slow-speed dual-fuel – XDF*)

Do 2000. godine sustavi parnih turbina bili su jedino dostupno pogonsko rješenje za LNG brodove. Ključni nedostatak parnih turbina je njihova niska učinkovitost od svega 35% pri punom opterećenju. Uz to sve veći troškovi loživog ulja i stroži propisi o emisijama ispušnih plinova doveli su do razvoja učinkovitijih alternativa kao što su DFDE, TFDE, SSSR i ME-GI pogoni koji su približno 25-50% učinkovitiji u odnosu na parnoturbinski sustav. Trenutno LNG brodovi pogonjeni parnim turbinama čine 33% od ukupne flote koja uključuje 668 brodova, dok DFDE i TFDE LNG brodovi čine 29% ukupne aktivne flote. SSSR pogonski sustav, koji uključuje dva dizelska motora male brzine uz četiri pomoćna generatora s postrojenjem za ponovno ukapljivanje radi vraćanja isparenog plina u LNG spremnike u tekućem stanju, uveden je zajedno s DFDE sustavom 2006. godine. Međutim, velika potrošnja električne energije zbog postrojenja za ukapljivanje poništava je prednosti u smislu učinkovitosti pogonskog sustava i ograničila primjenu SSSR sustava samo na brodove vrlo velike nosivosti (Q-Flex i Q-Max), te je zbog toga danas ovakav pogonski sustav ugrađen na svega 48 brodova. Sustavi ME-GI, ME-GA i X-DF predstavljaju veliki pomak u korist učinkovitosti, ekonomije i ekološke učinkovitosti u odnosu na popularne propulzijske sustave prethodne generacije – parne turbine, DFDE i TFDE. Upravo zbog toga popularnost ME-GA sustava je porasla, trenutno ih u postojećoj floti brodovi nema, ali su naručena 122 broda s ME-GA pogonskim sustavom, od kojih će osam biti isporučeno 2023. godine, 33 broda 2024. godine, 41 brod 2025. godine, 25 brodova 2026. godine i 15 brodova 2027. godine. Trenutno je aktivno 114 brodova sa XDF sustavom što iznosi 17% ukupne aktivne flote brodova, dok je do 2025. godine naručeno 146 brodova s ovim pogonskim sustavom. Ove brojke su pokazatelj da će pogonski sustavi ME-GA i XDF činiti veliki udio naručenih brodova u budućnosti (IGU, 2023).

## 5.1 Podjela LNG brodova prema veličini - volumenu spremnika

S porastom potražnje za ukapljenim prirodnim plinom s godinama, povećavao se i broj terminala za ukapljivanje, a posljedično i proizvodnja ukapljenog plina. To je pak rezultiralo potrebom za sve većim brojem brodova za transport ukapljenog plina. Mogućnost transporta većih količina plina značila je manju cijenu transporta pa se s vremenom povećavao i volumen spremnika za skladištenje ukapljenog plina na brodu odnosno dimenzije broda.

Prema veličini se LNG brodovi koji se danas koriste mogu podijeliti u četiri skupine: konvencionalne LNG brodove tipa 1 i tipa 2, Q-Flex brodove te Q-Max brodove (Slika 5-2.).



**Slika 5-2.** Prikaz razvoja LNG brodova od 1976-2008. godine (Milolaža, 2021)

Najveći udio otpada na konvencionalne brodove tipa 2. Od 27 novoizgrađenih brodova isporučenih 2022. godine, njih 24 imaju kapacitet između 170 000 i 200 000 m<sup>3</sup>. S obzirom na nagli porast trgovine LNG-om u posljednja dva desetljeća, globalna flota LNG-a je relativno



„mlada“. Brodovi starosti manje od 20 godina čine 87,7% od ukupne aktivne flote. Noviji brodovi su veći i učinkovitiji i karakterizira ih ekonomičnost projekta tijekom čitavog radnog vijeka. Samo 14 aktivnih brodova staro je 30 ili više godina, uključujući šest koji su pretvoreni u FSRU ili FSU (IGU, 2023).

### *5.1.1 Konvencionalni brodovi tipa 1 i 2*

Prvi LNG brodovi ovog tipa izgrađeni su sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Takvi brodovi imali su nešto manje tankove nego prosječni današnji LNG brodovi. Njihov volumen bio je između 125 000 m<sup>3</sup> i 135 000 m<sup>3</sup>, pa iste nazivamo konvencionalnim LNG brodovima tipa 1.

S razvojem LNG industrije, točnije početkom 21. stoljeća, zbog veće potražnje za LNG-om LNG brodovi postaju sve veći pa se i ukupni volumen njihovih spremnika povećava i iznosi između 145 000 m<sup>3</sup> do 165 000 m<sup>3</sup>. Zbog kasnijeg razvoja i različitog (većeg) volumena spremnika nazivaju se konvencionalnim brodovima tipa 2.

### *5.1.2 Q-Flex i Q-Max brodovi*

Transport ukapljenog prirodnog plina dramatično se promijenio kada je katarska broderska kompanija „Nakilat“ predstavila svoje brodove Q-Flex (volumen spremnika od 210 000 do 217 000 m<sup>3</sup>) i Q-Max (263 000 do 266 000 m<sup>3</sup>), koje je razvila s ciljem isporuke velikih količina ukapljenog plina u Aziju i Europu. Prvi izgrađeni brodovi klase Q-Flex bili su „Al Ruwais“ i „AlSafliya“. Porinuti su u more u rujnu 2007. godine, a izgrađeni u cijelosti u korejskom brodogradilištu „Daewoo Shipbuilding i Marine Engineering Ltd“. Q-Flex brodovi sa prosječnim volumenom transportiranog ukapljenog plina od oko 216 200 m<sup>3</sup> su po volumenu oko 40% veći od konvencionalnih LNG brodova. Njihova dužina je 315 m, a širina 50 m.

Q-Max brodovi su, kao i Q-Flex brodovi, brodovi sa spremnicima membranskog tipa. Impresivnih su dimenzija jer njihova dužina iznosi 345 metara, a širina 53,8 metara. Mogu

tijekom jedne plovidbe prevesti 266 000 m<sup>3</sup> ukapljenog prirodnog plina. Prvi Q-Max brod nazvan Mozah, prema vlasniku - katarskom šeiku Mozah Nasser al-Misnadu, isplovio je sa suhog doka brodogradilišta na otoku Geoje u Južnoj Koreji u studenome 2007. godine, a isporučen je vlasniku 29. rujna 2008. godine. Katarska kompanija „Nakilat“, vlasnik ovog i serije Q Flex i Q-Max brodova za prijevoz ukapljenog prirodnog plina, ima danas najveću LNG flotu na svijetu od ukupno 69 brodova (Milolaža, 2021).

Nakon isporuke većeg broja brodova Q-klase, većinu novoizgrađenih brodova karakterizira ukupni volumen spremnika između 150 000 i 180 000 m<sup>3</sup>. Ovi brodovi sada čine 62% trenutne flote LNG brodova. Interesantno je da je od travnja 2023. godine u izgradnji 312 naručenih LNG, što znači da će se brojka od 668 trenutno aktivnih LNG brodova povećati za 46% . Ovo govori da će trgovina LNG-om nastaviti rasti u skladu s planiranim povećanjem kapaciteta za ukapljivanje, osobito u SAD-a (IGU, 2023).

## 5.2 LNG ledolomci

Do razvoja ove klase brodova došlo je zbog potrebe za prijevozom ukapljenog prirodnog plina iz ruskih terminala za ukapljivanje na Sahalinu i Yamalu, koji se nalaze u području pokrivenim ledom. Ono što je posebno kod ovih brodova jest da mogu ploviti morem koje je prekriveno slojem leda debljine do 2,1 m. Također, jedna od odlika ovih brodova je i mogućnost plovidba u vodi niske temperature, čak do -52 °C. Brodovi su izrađeni od čelika E razreda (čelik za izgradnju brodova) po posebnim ruskim klasifikacijskim standardima (GOST5521). Struktura broda ojačana je zbog leda.

Prvi izgrađeni brod ove klase bio je motorni brod „*Christophe de Margerie*“. Njegova dužina je 299 m, širina 50 m, a ukupni volumen spremnika za LNG je 172 600 m<sup>3</sup> (Slika 5-3.).



**Slika 5-3.** Prvi izgrađeni LNG ledolamac (BBC News, 2017)

Konstrukcija ovih brodova uključuje niz inovativnih rješenja, pa su ti brodovi bitno skuplji u odnosu na ostale. Zbog rusko-ukrajinskog sukoba, došlo je do odgode isporuke ili otkazivanja izgradnje novih jer su međunarodne sankcije Rusiji zakomplicirale isporuku opreme i plaćanja. Do 2024. godine trebalo je biti isporučeno 28 novonaručenih LNG ledolomaca (IGU, 2023).

### 5.3 Plutajući odobalni terminal za skladištenje i uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina (engl. Floating Storage Regasification Unit – FSRU)

Iako se radi o terminalima, budući su smješteni na plutajućem postrojenju uvršteni su u skupinu brodova timviše što su mnoga od tih postrojenja i bili brodovi za transport LNG-a pa su naknadno prenamijenjeni u terminale za uplinjavanje. Ovi su brodovi tijekom svog radnog vijeka najčešće usidreni na jednom mjestu i plove samo do konačnog odredišta, ali se mogu i premiještati s jedne lokacije na drugu. Njihova je namjena uplinjavanje prirodnog plina, a mogu biti izvedeni kao novoizgrađene jedinice ili se postojeći brodovi povlače iz flote i prenamijenjuju u plutajući terminal. Najčešće dužine ovih brodova su oko 290 m, a širine

između 45 i 50 m dok je najčešći ukupni volumen spremnika na tim brodovima između 125 000 m<sup>3</sup> i 170 000 m<sup>3</sup>.

FSRU *Independence* prva je novoizgrađena plutajuća jedinica u svijetu za prihvatanje, skladištenje i uplinjavanje. Brod je naručen 2011. godine, a izgradnja je završila u veljači 2014. godine u brodogradilištu „Hyundai Heavy Industries (HHI)“ u Južnoj Koreji za brodovlasnika, Norvešku kompaniju „Höegh LNG“. Trenutno na svijetu ima 45 aktivnih FSRU brodova koji čine 6,7% ukupne flote od 668 LNG brodova.

U ovu skupinu brodova spada i FSRU LNG Croatia.

U travnju 2019. godine započela je u Hrvatskoj, u općini Omišalj na otoku Krku, izgradnja odobalnog plutajućeg terminala za uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina da bi već u siječnju 2021. godine isti bio pušten u rad. Terminal se sastoji od kopnenog dijela i FSRU (*engl. Floating storage and regasification unit*) broda (Slika 5-4.). FSRU LNG Croatia je prenamijenjeni brod za transport ukapljenog prirodnog plina Golar Viking koji je bio dio aktivne flote od 2005. godine, kada je izgrađen, do 2020. godine. Dimenzije broda su: dužina 280 metara i širina 43 metra. Ima četiri spremnika za ukapljeni plin ukupnog volumena 140 206 m<sup>3</sup>. Maksimalni kapacitet pretovara sa LNG tankera je 8 000 m<sup>3</sup>/h, a maksimalni/godišnji kapacitet uplinjavanja 338 000 m<sup>3</sup>/h odnosno 2,9 milijardi m<sup>3</sup>/godišnje. Tijekom prekrcaja, minimalni kapacitet uplinjavanja iznosi 60 000 m<sup>3</sup>. Od početka rada 2021. godine pa do kolovoza 2023. godine na terminal je pristiglo ukupno 70 brodova za prijevoz LNG-a.

Do današnjeg dana volumen prihvaćenog LNG-a iznosi  $9,66 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, a u transportni sustav RH isporučeno je više od 5,7 milijardi metara kubnih prirodnog plina (LNG Hrvatska, 2023).



**Slika 5-4.** FSRU terminal LNG Croatia (LNG Hrvatska, n.d.)

## 6. ZAKLJUČAK

Industrija ukapljenog prirodnog plina razvija se nevjerojatnom brzinom. Rastuća potreba za energijom profilira ukapljeni prirodni plin kao idealan energent zbog razvijenosti tržišta ukapljenog prirodnog plina i mogućnosti nabave iz bilo koje zemlje proizvođača. U svijetu političkih ucjena energentima, trgovina ukapljenim prirodnim plinom omogućuje bilo kojoj državi s terminalom za uplinjavanje sigurnost opskrbe prirodnim plinom. Iako je transport prirodnog plina cjevovodima na udaljenostima do 4000 km jeftiniji, baš ta raspoloživost i dostupnost uzrokuju golem rast industrije ukapljenog prirodnog plina. Posljedično, razvija se i područje transporta ukapljenog plina i u smislu povećanja flote i unaprjeđenja pojedinih dijelova sustava. Neka od tih unaprjeđenja (spremnici i pogonski sustavi) razmatrana su u ovom radu i iz iznesenih podataka vidljivo je da trgovina ukapljenim prirodnim plinom još uvijek nije dosegla svoj vrhunac. Tome u prilog govori i činjenica da iako se broj brodova za transport ukapljenog prirodnog plin u zadnjih se deset godina više nego udvostručio, još se uvijek naručuju stotine novih brodova za transport LNG-a.

## 7. LITERATURA

1. BRITISH PETROLEUM, 2023. *bp-s Energy Outlook 2023 edition*.
2. IGU International Gas Union 2023. *World LNG report 202 edition*.
3. MILOLAŽA K., 2021. *Klase i veličine LNG brodova*. Završni rad. Sveučilište u Rijeci, pomorski fakultet.
4. POSAVEC D., SIMON K., MALNAR M., 2010. *Brodovi Za Ukapljeni Prirodni Plin*, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 22., Zagreb, pp. 55-62.
5. SIMON K., 2023. Materijali s predavanja. Rudarsko-geološko-naftni fakultet
6. SIMON K., MALNAR M., VRZIĆ V., 2009. *Proces Ukapljivanja Prirodnog Plina*, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 21., Zagreb, pp. 93-102.
7. THE ENERGY INSTITUE, 2023. *Statistical Review of World Energy 72<sup>nd</sup> edition*.

### Web izvori:

8. BBC News. n.d. *First tanker crosses northern sea route without ice breaker*, 2017. URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-41037071> (25.08.2023.)
9. Burckhardt Compression. n.d. *LNG export terminals*. URL: <https://www.burckhardtcompression.com/solution/gas-transport-storage/lng-export-terminals/> (23.08.2023.)
10. GTT, *Technologies*. n.d. URL: <https://gtt.fr/technologies> (26.08.2023.)
11. LNG Hrvatska. 2023. URL: <https://lng.hr> (01.09.2023.)
12. MOSS MARITIME. n.d. *Our history*. URL: <https://www.mossw.com/history/> (24.08.2023.)
13. SPB TECHNOLOGY. n.d. URL: [https://www.ihl.co.jp/offshore/spbmenu\\_e.htm](https://www.ihl.co.jp/offshore/spbmenu_e.htm) (23.08.2023.)

## **IZJAVA**

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.*



---

Luka Pavlović





KLASA: 602-01/23-01/122  
URBROJ: 251-70-12-23-2  
U Zagrebu, 11.09.2023.

Luka Pavlović, student

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/122, URBROJ: 251-70-12-23-1 od 30.06.2023. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### TRANSPORT UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada prof. dr. sc. Katarina Simon nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentoricu dr. sc. Katarina Žbulj.

Mentorica:

(potpis)

prof. dr. sc. Katarina Simon

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

(potpis)

dr. sc. Katarina Žbulj

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)