

Promjene u industriji ukapljenog prirodnog plina u razdoblju od 2011. do 2022. godine

Rudan, Karlo

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:423172>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij naftnog rudarstva

**PROMJENE U INDUSTRIJI UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA U
RAZDOBLJU OD 2011. DO 2022. GODINE**

Diplomski rad

Karlo Rudan

N405

Zagreb, 2024.

PROMJENE U INDUSTRIJI UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA U RAZDOBLJU OD 2011. DO 2022.
GODINE

Karlo Rudan

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Svjetsko tržište ukapljenog prirodnog plina (UPP) bilježi značajne promjene od početka 21. stoljeća. U početku je izvozom UPP-a dominiralo nekoliko zemalja, da bi do kraja 2022. na tržištu bilo aktivno 20 zemalja izvoznica od kojih najviše izvoze SAD, Australija i Katar. Unatoč fluktuacijama u izvezenim količinama, u promatranom razdoblju očit je trend povećanja izvezenih količina koje su početkom 2023. godine dosegle rekordnu razinu od 401,5 milijuna tona, dok je ukupni kapacitet postrojenja za ukapljivanje iznosio 478,4 milijuna tona ukapljenog plina godišnje, a plutajući terminali za ukapljivanje prirodnog plina pojavili su se kao troškovno učinkovita rješenja. U istom razdoblju (2011. do 2022.) broj zemalja uvoznica se povećao sa 25 na 46, s tim da je kapacitet uplinjavanja krajem 2022. godine dosegao 901,9 milijuna tona godišnje s Japanom, Južnom Korejom i Kinom kao glavnim tržištima. Pojava plutajućih jedinica za uplinjavanje i skladištenje prirodnog plina (FSRU) omogućila je fleksibilnost i troškovne prednosti posebice u Europi kao odgovor na geopolitičke napetosti. Aktivnost tržišta ogleda se i u širenju flote za prijevoz UPP-a u kojoj je svake godine sve više novih brodova sve većih zapremina. Razvijaju se novi pogonski sustavi brodova kao i inovacije u konstrukciji spremnika. Zbog povećanja cijene čelika na svjetskom tržištu, sve strožih propisa u području zaštite okoliša koje trebaju zadovoljiti brodovi kojima se transportira UPP, povećava se cijena brodova i produljuju rokovi isporuke. Usprkos navedenim ograničenjima, države izvoznice, prije svega Katar i SAD, najavljuju velika ulaganja u nove projekte i proširenje postojećih terminala što znači da će industrija ukapljenog prirodnog plina i u budućnosti biti vrlo aktivna u opskrbi svijeta dovoljnim količinama prirodnog plina.

Ključne riječi: UPP, terminal za ukapljivanje, terminal za uplinjavanje, UPP brod, izvoznici UPP-a, uvoznici UPP-a, UPP bunkering

Diplomski rad sadrži: 49 stranica, 3 tablice, 23 slike, 46 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGNF

Komentor: Dr. sc. Katarina Žbulj, viša asistentica

Ocjenjivači: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGNF
Dr. sc. Karolina Novak Mavar, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Vladislav Brkić, izvanredni profesor RGNF

Datum obrane: 22.2.2024., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

CHANGES IN THE LIQUEFIED NATURAL GAS INDUSTRY IN THE PERIOD FROM 2011 TO 2022

Karlo Rudan

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The global liquefied natural gas (LNG) market has undergone significant changes since the beginning of the 21st century. Initially, a few countries dominated LNG exports, but by the end of 2022, there were 20 active exporting countries, with the United States, Australia, and Qatar leading in exports. Despite fluctuations in exported quantities, there is a clear trend of increasing exports, which reached a record level of 401.5 million tons by early 2023, while the total liquefaction capacity amounted to 478.4 million tons of LNG annually, with floating LNG terminals emerging as cost-effective solutions. During the same period (2011 to 2022), the number of importing countries increased from 25 to 46, with the regasification capacity reaching 901.9 million tons annually by the end of 2022, with Japan, South Korea, and China as the main markets. The emergence of floating storage and regasification units (FSRUs) has provided flexibility and cost advantages, especially in Europe, in response to geopolitical tensions. Market activity is also reflected in the expansion of the LNG transportation fleet, with an increasing number of new, larger vessels being introduced each year. New propulsion systems for ships and innovations in tank construction are being developed. Due to the rising price of steel in the global market and increasingly stringent environmental regulations that LNG transport vessels must comply with, the cost of ships is increasing, and delivery times are being extended. Despite these limitations, exporting countries, especially Qatar and the United States, announce significant investments in new projects and the expansion of existing terminals, indicating that the liquefied natural gas industry will remain highly active in supplying the world with sufficient quantities of natural gas in the future.

Keywords: LNG, liquefaction plant, regasification plant, LNG exporters, LNG importers, LNG bunkering

Thesis contains: 49 pages, 3 tables, 23 figures and 46 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: Full Professor Katarina Simon, PhD
Tech. Assistance Senior Assistant Katarina Žbulj, PhD

Reviewers: Full Professor Katarina Simon, PhD
Associate Professor Karolina Novak Mavar, PhD
Associate Professor Vladislav Brkić, PhD

Defence date: February 22, 2024, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA	II
POPIS KRATICA	III
1. UVOD	1
2. PRIKAZ TRGOVANJA UKAPLJENIM PRIRODNIM PLINOM U RAZDOBLJU OD 2011. DO 2022. GODINE	2
2.1 Izvoznici ukapljenog prirodnog plina	2
2.1.1 Katar	6
2.1.2. Australija.....	9
2.1.3. Sjedinjene Američke Države	11
2.2 Uvoznici ukapljenog prirodnog plina.....	14
2.3 Terminali za ukapljivanje	17
2.4 Terminali za uplinjavanje	23
3. BRODOVI ZA TRANSPORT UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA	30
3.1. Pogonski sustavi UPP brodova	32
3.2. Karakteristike flote za prijevoz ukapljenog prirodnog plina	36
3.3 UPP bunkering	40
4. ZAKLJUČAK.....	45
5. LITERATURA.....	46

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Izvoz ukapljenog prirodnog plina po pojedinim regijama u periodu 2010. - 2025. godine	4
Slika 2-2. Usporedba najvećih izvoznika UPP-a za pojedine godine u milijunima tona	5
Slika 2-3. Polje North Field.....	6
Slika 2-4. Postrojenje za UPP u Kataru	8
Slika 2-5. Lokacije proizvodnih polja i polja s dozvolom za istraživanje ugljikovodika na području North West Shelf	10
Slika 2-6. Nekonvencionalna plinska ležišta u SAD-u	12
Slika 2-7. Usporedba uvezenih količina ukapljenog prirodnog plina (milijuni tona) u zemlje uvoznice u razdoblju od 2011. do 2022. godine	16
Slika 2-8. Cijene prirodnog plina u razdoblju od 2010. do 2022.	17
Slika 2-9. Usporedba svjetskog kapaciteta ukapljivanja po državama za razdoblje od 2011. do 2022. godine	21
Slika 2-10. Kretanje ukupnih kapaciteta ukapljivanja s vremenom na svjetskim terminalima.....	22
Slika 2-11. Lokacije svjetskih terminala za ukapljivanje	22
Slika 2-12. Postojeće, buduće i moguće količine ukapljivanja za pojedine svjetske regije	23
Slika 2-13. Usporedba kapaciteta za uplinjavanje po državama za pojedine godine	26
Slika 2-14. Lokacije svjetskih FSRU terminala	27
Slika 2-15. Lokacije svjetskih terminala za uplinjavanje	28
Slika 2-16. Kapaciteti uplinjavanja za pojedine regije	28
Slika 2-17. Skladišni kapaciteti za pojedine regije	29
Slika 3-1. GTT-ov dizajn UPP broda s tri spremnika MARK III Flex u usporedbi s dosadašnjim konceptom rasporeda i broja spremnika	31
Slika 3-2. Dugoročne i spot cijene najma brodova u razdoblju od siječnja 2008. godine do rujna 2011. godine	39
Slika 3-3. Cijene najma na spot tržištu u razdoblju od 2015. godine do kraja prvog tromjesječja 2023. godine, istočno od Sueza	39
Slika 3-4. Cijene najma na spot tržištu u razdoblju od 2015. godine do kraja prvog tromjesječja 2023. godine, zapadno od Sueza	40
Slika 3-5. Popis UPP bunkering brodova	42
Slika 3-6. Lokacije europskih brod-brod i kamion-brod bunkering luka	44

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Australski terminali za ukapljivanje s pripadajućim kapacitetima	10
Tablica 2-2. Projekti terminala za ukapljivanje u SAD-u	14
Tablica 3-1. Udio različitih spremnika na brodovima za prijevoz UPP-a s prednostima i nedostacima spremnika pojedinog tipa	30

POPIS KRATICA

CII (engl. *Carbon Intensity Indicator*) – Indikator ugljičnog otiska

DFDE (engl. *Dual fuel diesel electric*) – propulzijski sustav na dva goriva

EEXI (engl. *Energy Efficiency Existing Ship Index*) – sustav temeljen na poticajima koji potiče brodovlasnike da poboljšaju energetske učinkovitost brodova

FLNG (engl. *Floating Liquefied Natural Gas*) – Plutajuće postrojenje za proizvodnju, skladištenje i pretovar ukapljenog prirodnog plina

FSRU (engl. *Floating storage and regasification unit*) – Plutajuće postrojenje za skladištenje i uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina

GIIGNL (engl. *International Group of Liquefied Natural Gas Importers*) - Međunarodnog udruženja uvoznika ukapljenog prirodnog plina

GWP (engl. *Global warming potential*) – Potencijal globalnog zatopljenja

IGU (engl. *International Gas Union*) – Međunarodno plinsko udruženje

IMO (engl. *International maritime organization*) – Međunarodna pomorska organizacija

MTPA (engl. *Million tonnes per annum*) – Milijuna tona godišnje

NFE (engl. *North Field East*) – projekt proširenja kapaciteta ukapljivanja u Kataru

NFS (engl. *North Field South*) – projekt proširenja kapaciteta ukapljivanja u Kataru

PNG – Papua Nova Gvineja

SAD – Sjedinjene Američke Države

SSD (engl. *Slow – Speed Diesel*) – konvencionalni propulzijski sustav na dizel

TFDE (engl. *Tri fuel diesel electric*) – propulzijski sustav na tri goriva

UAE – Ujedinjeni Arapski Emirati

UPP – Ukapljeni prirodni plin

1. UVOD

Industrija ukapljenog prirodnog plina (UPP) igra ključnu ulogu u zadovoljavanju sve veće potražnje za prirodnim plinom. Od početka 21. stoljeća UPP sektor je prošao kroz značajne transformacije, što je potaknuto geopolitičkim promjenama, tehnološkim inovacijama i sve većim naglaskom na održivosti okoliša. Ovaj diplomski rad ima za cilj analizirati stanje UPP industrije u razdoblju od 2011. do 2022. godine, s naglaskom na dostupnim količinama ukapljenog odnosno uplinjenog plina, tehnologijama ukapljivanja i uplinjavanja i unaprjeđenjima u razvoju brodova za transport UPP-a. Kroz navedeno vremensko razdoblje vidljive su promjene koje su oblikovale industriju i tržište ukapljenog prirodnog plina i utjecale na njihov daljnji razvoj. Osim toga, zbog ambicioznih klimatskih ciljeva koje moraju zadovoljiti projekti u bilo kojoj grani svjetskog gospodarstva, UPP industrija suočava se s imperativom smanjenja svog ugljičnog otiska. Stoga se u radu razmatra strategija i inicijativa glavnih sudionika u industriji ukapljenog plina u smislu ispunjenja zahtjeva za dekarbonizacijom, istražujući izazove i prilike povezane s usklađivanjem UPP djelatnostima sa svjetskim ciljevima održivosti.

2. PRIKAZ TRGOVANJA UKAPLJENIM PRIRODNIM PLINOM U RAZDOBLJU OD 2011. DO 2022. GODINE

Povijest trgovanja ukapljenim prirodnim plinom može se pratiti od sredine 20. stoljeća kada su zaživjeli prvi uspješni projekti proizvodnje UPP-a. Uspostava prvog komercijalnog UPP terminala Arzew u Alžiru 1964. godine značila je ključni trenutak pokretanja proizvodnje UPP-a dovoljne za izvoz (Tusiani i Shearer, 2007). Razdoblje između 1960. i 1970. godine obilježava razvoj pionirskih UPP projekata, posebice u Sjedinjenim Američkim Državama, od kojih je jedno postrojenje za ukapljivanje prirodnog plina Kenai na Aljasci. Početkom 1970-ih, Japan je postao značajan sudionik razvoja UPP tržišta kao najveći uvoznik UPP-a. U narednim desetljećima došlo je do svjetske ekspanzije UPP infrastrukture, s ključnim razvojem terminala za ukapljivanje u Maleziji, Kataru, a kasnije i u Australiji. Pojava spot tržišta i brojnih terminala za uplinjavanje diljem svijeta 1990-ih omogućila je fleksibilnije trgovinske aranžmane (Tusiani i Shearer, 2007). Zbog velikih ulaganja u izgradnju terminala za ukapljivanje prirodnog plina Katar je početkom 2000-ih postao vodeći izvoznik UPP-a, zadržavši tu poziciju skoro dvadeset godina. U 21. stoljeću došlo je do diverzifikacije dobavljača UPP-a, a uvođenje plutajućih tehnologija dodatno je proširilo mogućnosti trgovine UPP-om.

2.1 Izvoznici ukapljenog prirodnog plina

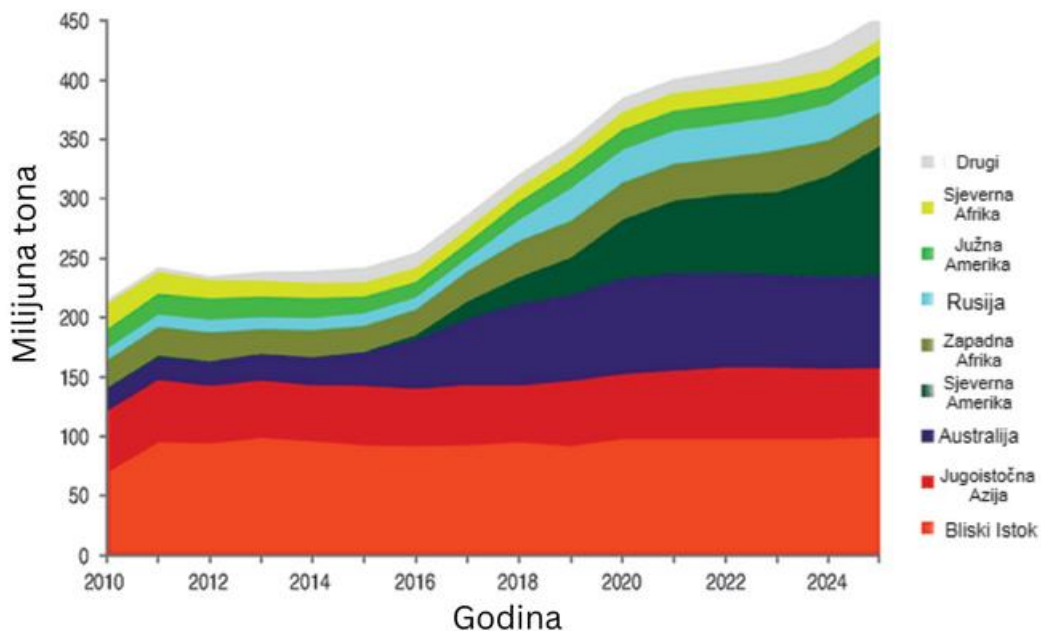
Svjetsko tržište ukapljenog prirodnog plina (UPP-a) doživjelo je značajne transformacije od početka 21. stoljeća. Prema podacima Međunarodnog plinskog udruženja (engl. *International Gas Union (IGU)*), Rystad Energy i Međunarodnog udruženja uvoznika ukapljenog prirodnog plina (engl. *International Group of Liquefied Natural Gas Importers (GIIGNL)*), 2006. godine samo je 13 država izvozilo UPP i to: Alžir, Australija, Bruneji, Egipat, Indonezija, Libija, Malezija, Nigerija, Oman, Katar, Trinidad i Tobago, Ujedinjeni Arapski Emirati (UAE) i Sjedinjene Američke Države (SAD). Volumen plina kojim se trgovalo od 2006. do 2011. godine porastao je sa 159,1 milijuna tona na 241,5 milijuna tona, a najveća izvozna regija bila je Bliski Istok (International Gas Union [IGU], 2012). Već do kraja 2011. godine, UPP je izvozilo 18 država od kojih je Katar držao mjesto najznačajnijeg svjetskog izvoznika UPP-a, osiguravajući gotovo jednu trećinu svjetske opskrbe UPP-om. Katar, Malezija i Indonezija u to su vrijeme zajedno osiguravali oko 50% svjetske proizvodnje i opskrbe UPP-om. Broj zemalja izvoznica UPP-a u 2016. godini i dalje je bio 18, a Katar je zadržao status najvećeg izvoznika UPP-a. Pet najvećih izvoznika UPP-a te su

godine bili Katar, Australija, Malezija, Nigerija i Indonezija, a ukupno trgovanje je iznosilo 258 milijuna tona što u odnosu na 2011. godinu predstavlja povećanje od 6,4% (IGU, 2017).

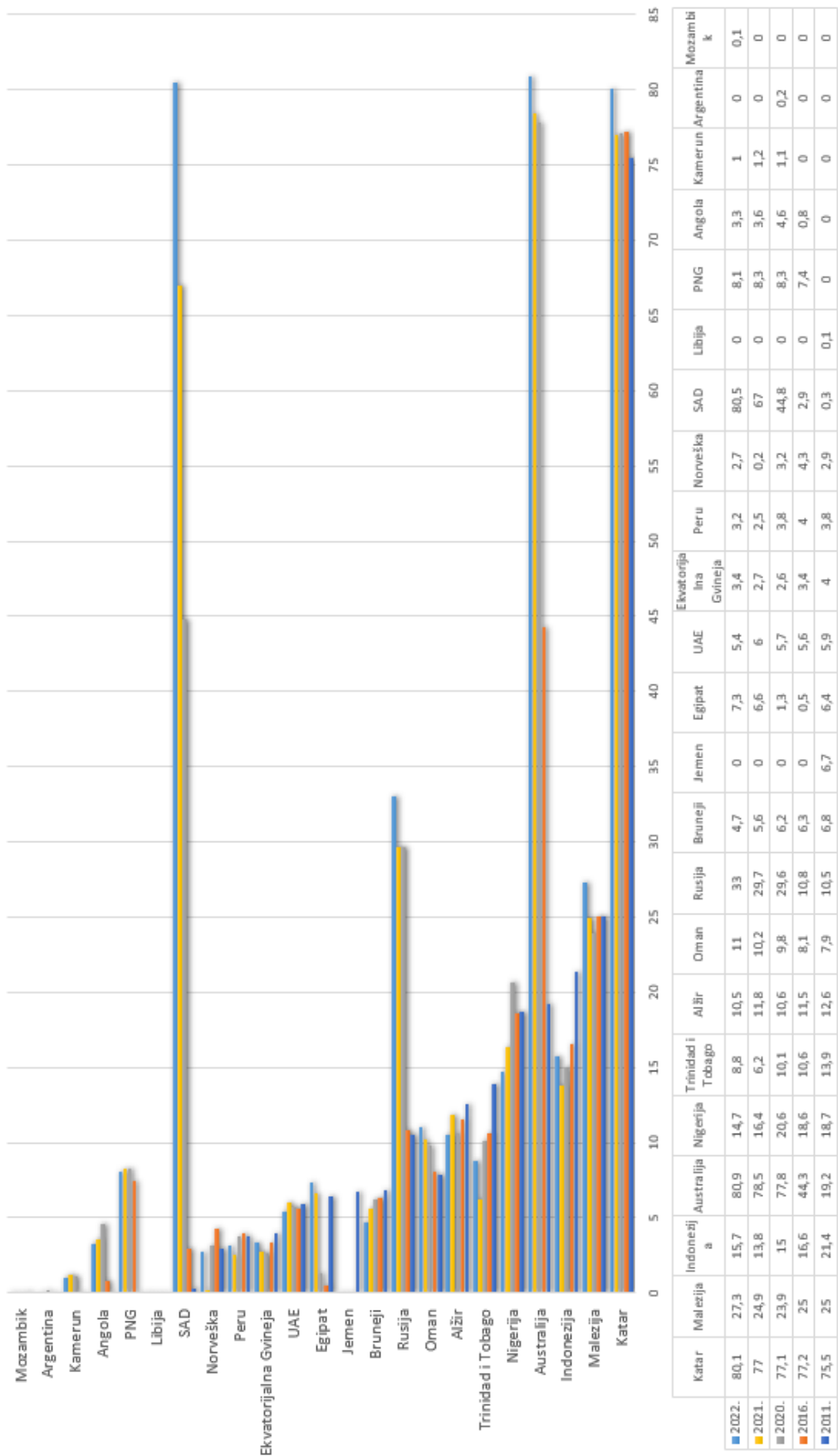
Ponovni izvoz ukapljenog prirodnog plina (UPP) događa se kada zemlja uvoznica iskrca UPP u spremnike za skladištenje koji se nalaze na terminalu, a zatim taj isti UPP pretovari na drugi brod(ove) i isporuči u druge zemlje (Energy Information Administration [EIA], 2011). Godine 2011. samo su Belgija, Brazil, Meksiko, Španjolska i SAD ponovno izvezile UPP. Krajem 2016. godine ponovno izvezene količine ostale su relativno stabilne na razini od 4,4 milijuna tona raspoređenih na 10 država ponovnih izvoznica UPP-a, a SAD su bile jedina država koja je pored izvoza plina iz domaće proizvodnje sudjelovala i u „ponovnom izvozu“. Trgovina ponovnog izvoza suočavala se s izazovima zbog sve veće ponude UPP-a na svjetskom tržištu, koji su kupci po povoljnijim cijenama mogli nabavljati unutar svojih regija. Gledajući regionalno, unatoč padu u udjelu trgovine UPP-om, Bliski Istok je i dalje bio najveća izvozna regija, dok su Sjeverna Amerika i Azija-Pacifik povećale svoj udio u ukupnoj trgovini UPP-om. U odnosu na 2016. godinu, broj država izvoznica 2020. godine bio je 20, a Azijsko-pacifička regija je u odnosu na 2016. godinu pretekla Bliski Istok i postala najveća izvozna regija (IGU, 2021). Australija je nadmašila Katar i postala vodeći izvoznik, isporučivši 77,8 milijuna od ukupnih 356,1 milijuna tona. Povećanje ukupne količine UPP-a kojom se 2020. godine trgovalo na svjetskom tržištu u odnosu na 2016. godinu iznosilo je 27,5%. Te je godine (2020.) uočljivo drastično smanjenje od 41% u kategoriji ponovno izvezenih količina UPP-a u odnosu na 2016. godinu, a najveći ponovni izvoznici bili su Singapur i Francuska. U odnosu na 2011. godinu kada je samo pet država ponovno izvezilo UPP, u 2020. godini su u ponovnom izvozu sudjelovale 22 države, ali se unatoč povećanju broja država, volumen trgovanja smanjio i činio je tek 1% ukupnog trgovanja. U 2021. godini Sjedinjene Američke Države izvezle su 67 milijuna tona UPP-a što je 18% ukupnog svjetskog izvoza od 372,3 milijuna tona te tako zabilježile povećanje izvoza od 50% u odnosu na prethodnu godinu. Iako je Azijsko-pacifička regija i dalje nastavila dominirati kao primarna izvozna regija, Sjeverna Amerika znatno je povećala svoj udio u ukupnoj trgovini zahvaljujući SAD-u (IGU, 2022). Ponovni izvoz porastao je za 35%, dosegnuvši 3,5 milijuna tona, što i dalje čini približno 1% ukupne trgovine, a najveći ponovni izvoznici bili su Španjolska i Francuska. Singapur je kao stalni lider ponovnog izvoza, doživio pad od 68%. Treba napomenuti kako su se ponovnom izvozu pridružili: Japan, Brazil, Tajland i Hrvatska, a Europa je utovarila 67% svih ponovno izvezenih količina. U odnosu na prethodnu godinu kada su 22 države sudjelovale u ponovnom izvozu,

2021. godine sudjelovalo ih je 27. Australija je 2022. godine i dalje vodeći izvoznik UPP-a, dok je SAD pretekao Katar i postao drugi najveći izvoznik UPP-a. Količine UPP-a izvezene iz Australije, SAD-a i Katara činile su 60% ukupne svjetske trgovine UPP-om koja je dosegla rekordan iznos od 401,5 milijuna tona (IGU, 2023). Od 20 izvoznica, samo ih je 6 zabilježilo pad izvoza i to pretežito države Afrike, koja je i jedina regija koja je zabilježila pad izvoza. Ponovni izvoz je u odnosu na godinu prije porastao za 20% i dosegao 4,7 milijuna tona te premašio razinu iz 2016. godine uz smanjenje broja država koje sudjeluju u ponovnom izvozu na 24. Slika 2-1. prikazuje izvezene količine UPP-a za pojedine regije s projekcijama za 2024. i 2025. godinu.

Slika 2-2. prikazuje najveće svjetske izvoznike ukapljenog prirodnog plina i izvezene količine.



Slika 2-1. Izvoz ukapljenog prirodnog plina po pojedinim regijama u periodu 2010. - 2025. godine (GIIGNL, 2022)



Slika 2-2. Usporedba najvećih izvoznika UPP-a za pojedine godine u milijunima tona (Rystad Energy, 2023)

2.1.1 Katar

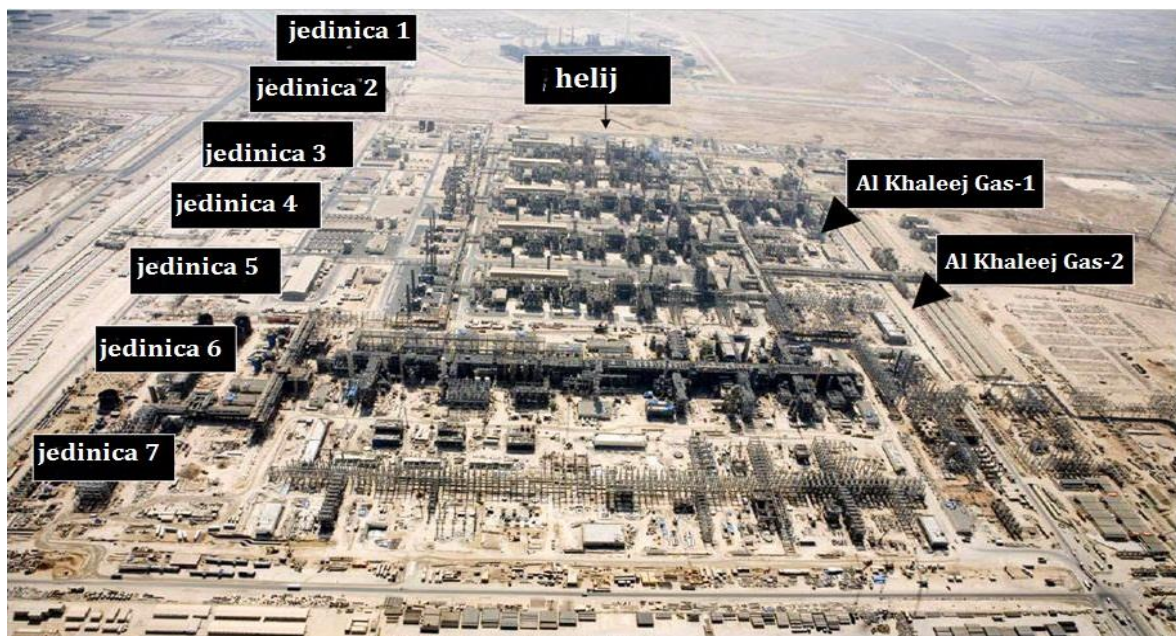
Rastuće tržište ukapljenog prirodnog plina (engl. *Liquefied Natural Gas*- LNG) i sve niži troškovi transporta plina do potrošača, krajem 90-ih prošlog stoljeća omogućili su Kataru da se nametne kao jedna od najvećih država izvoznica UPP-a na svijetu (Abujbara, 2006). Tako nagli razvoj Katara omogućila je proizvodnja prirodnog plina iz plinsko-kondenzatnog polja North Field. Polje smješteno sjeveroistočno od obale Katara, otkriveno je 1971. i najveće je plinsko – kondenzatno ležište na svijetu s procijenjenim pridobivim rezervama od $26 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$, što čini Katar trećom zemljom svijeta po zalihama prirodnog plina s 10% ukupnih svjetskih rezervi prirodnog plina (Edwards, 2009). Ukupne zalihe prirodnog plina u ležištu iznose $37 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$, a kondenzata $4769,62 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, od čega je $1590 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pridobivo (Edwards, 2009). Polje North Field (Slika 2-3) se prostire na površini od 6000 km^2 , na dubini mora od 65 metara, dok je ležište 3000 metara ispod dna mora. Krajem 2010. godine Katar je postigao projektirani proizvodni kapacitet od 77 milijuna tona ukapljenog prirodnog plina godišnje, dok je proizvodnja UPP-a dosegla 80,2 milijuna tona godišnje, za što su bile zaslužne dvije tada najveće kompanije za proizvodnju UPP-a u svijetu - Qatargas i RasGas koje su se 2018. godine spojile u kompaniju pod nazivom QatarEnergy LNG.



Slika 2-3. Polje North Field (Natural Gas Intelligence, 2022)

U proizvodnji UPP-a, jedinice za ukapljivanje (engl. *trains*) su jedinice unutar postrojenja (terminala) za ukapljivanje koje omogućavaju potrebnu obradu proizvedenog prirodnog plina, nakon čega slijedi njegovo ukapljivanje (Mokhatab et al., 2014). Prema podacima kompanije QatarEnergy, QatarGas sada QatarEnergy LNG N(1) osnovan je 1984. godine i uključuje tri proizvodne jedinice koje približno proizvode 10 milijuna tona ukapljenog plina godišnje. Postrojenje se opskrbljuje iz mreže 20 proizvodnih bušotina, koje iz polja North Field proizvode 45 milijuna kubičnih metara prirodnog plina dnevno. QatarEnergy LNG N(2) predstavljao je prekretnicu u industriji UPP-a jer uključuje dvije najsuvremenije jedinice za ukapljivanje, od kojih svaka može proizvesti 7,8 milijuna tona ukapljenog prirodnog plina godišnje (QatarEnergy, 2024). N(2) uključuje 30 proizvodnih odobalnih bušotina i tri kopnene utisne bušotine. Primjenom procesa ukapljivanja AP-X tvrtke Air Product, proizvodnja UPP-a započela je iz jedinice za ukapljivanje br. 4 u ožujku 2009. godine nakon čega je uslijedila jedinica za ukapljivanje br. 5, u rujnu 2009. godine. Projekt QatarEnergy LNG N(3) podrazumijevao je izgradnju nove jedinice za ukapljivanje br. 6, koja također može proizvesti 7,8 milijuna tona ukapljenog plina godišnje, a koja je započela s proizvodnjom 2010. godine. UPP koji proizvodi N(3) transportira se pomoću flote od deset najmodernijih brodova volumena skladišnog prostora između 210 000 do 266 000 m³. N(3) projekt uključuje tri proizvodne platforme bez posade, 33 bušotine, dva pomorska cjevovoda i tri kopnene utisne bušotine za odlaganje otpadnih voda, koje dijele s projektom QatarEnergy LNG N(4) (QatarEnergy, 2024). N(3) proizvodi 39 milijuna m³/dan. Proizvodnja iz QatarEnergy LNG N(4) je započela 2011. godine i označila je završetak planiranih projekata proširenja. Ta inicijativa podrazumijevala je izgradnju velike jedinice za ukapljivanje br. 7 s proizvodnim kapacitetom od 7,8 milijuna tona ukapljenog prirodnog plina godišnje. Ovaj projekt uključuje 3 platforme bez posade, svaka s 11 bušotina i dva podmorska cjevovoda koja dijele s N(3) i N(4), a dnevno proizvodi 39 milijuna m³ plina (QatarEnergy, 2024). Osnovan 1993. godine RasGas danas QatarEnergy LNG S(1) uključuje dvije jedinice za ukapljivanje, jedinicu br. 1 i jedinicu br. 2, od kojih svaka može proizvesti 3,3 milijuna tona ukapljenog prirodnog plina godišnje. QatarEnergy LNG S(2) osnovan je 2001. godine i sadrži 3 jedinice za ukapljivanje (jedinice br. 3,4 i 5). Svaka jedinica ima proizvodni kapacitet od 4,7 milijuna tona ukapljenog prirodnog plina godišnje. QatarEnergy LNG S(3) osnovan je 2005. godine, a sastoji se od jedinica za ukapljivanje br. 6 i 7, koje predstavljaju najnoviju generaciju, od kojih svaka može proizvesti 7,8 milijuna tona ukapljenog prirodnog plina godišnje.

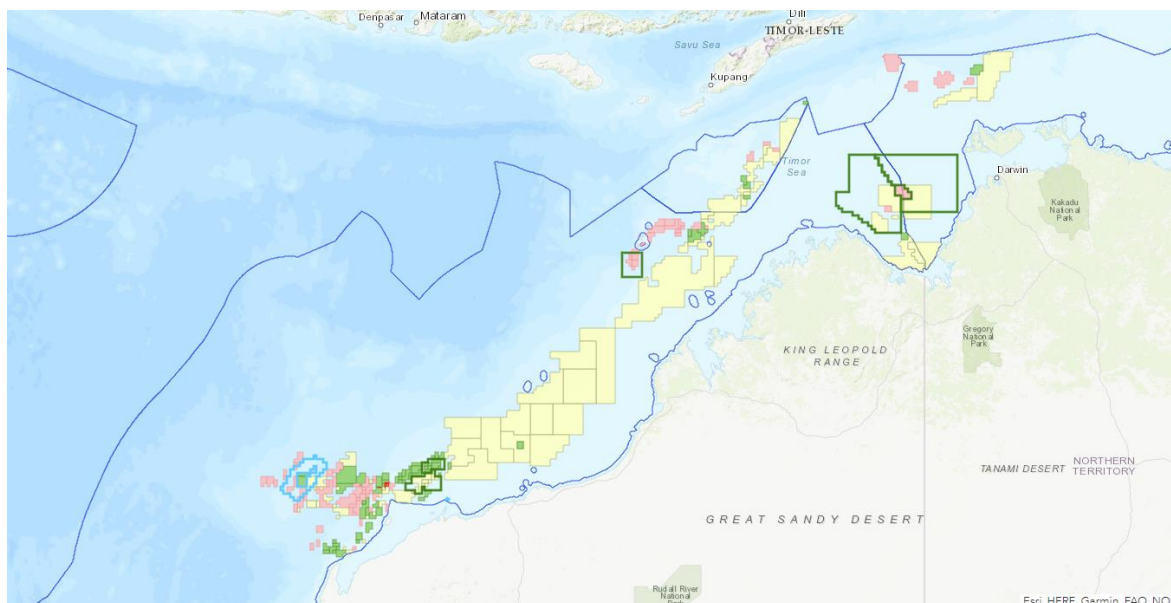
QatarEnergy je tek 2017. godine najavio dodatna proširenja kapaciteta ukapljivanja u sklopu novih projekata North Field East (NFE) i North Field South (NFS). Projekt North Field East predstavlja značajnu inicijativu za proširenje čiji je cilj povećanje kapaciteta proizvodnje UPP-a u Kataru za 43% kako bi dosegao 110 milijuna tona ukapljenog prirodnog plina godišnje do 2025. godine. Projekt uključuje razvoj četiri nove jedinice za ukapljivanje, postavljanje osam platformi i bušenje 80 novih bušotina. Značajno je da projekt integrira solarnu energiju, tehnologiju hvatanja i skladištenja ugljikovog dioksida i tehnologiju niskih emisija NO_x. QatarEnergy LNG ulazi u projekt uz zajednička ulaganja s vodećim energetskim tvrtkama, kao što su TotalEnergies, Eni, ExxonMobil, ConocoPhillips i Shell. Projekt North Field South (NFS) dio je šire inicijative za proširenje North Field polja s ciljem povećanja proizvodnje UPP-a u Kataru na 126 milijuna tona ukapljenog plina godišnje (QatarEnergy, 2024). NFS, za kojeg se očekuje da će početi s proizvodnjom do 2026. godine, imat će kapacitet od 16 milijuna tona ukapljenog plina godišnje i pridonijet će klimatskim ciljevima Katara kroz smanjene emisije stakleničkih plinova. NFS će obuhvaćati pet proizvodnih platformi, 50 bušotina i postrojenja na kopnu, uključujući dvije jedinice za ukapljivanje i jedinicu za hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida. Projekt je osigurao dugoročne ugovore s već spomenutim tvrtkama (QatarEnergy, 2024). Slika 2-4. prikazuje postrojenje za proizvodnju UPP-a, na kojem se mogu vidjeti jedinice za ukapljivanje.



Slika 2-4. Postrojenje za UPP u Kataru (Regan, 2017)

2.1.2. Australija

Australija je 2022. godine bila najveći svjetski izvoznik UPP s količinom od 80,9 milijuna tona ukapljenog plina. Plin koji se ukapljuje proizvodi se iz konvencionalnih ležišta (plinska ležišta u regiji North West Shelf) i iz nekonvencionalnih ležišta, odnosno ležišta ugljena (područje istočne Australije) (Geoscience Australia, 2023). Otprilike tri četvrtine australskog UPP-a izvozi se u Aziju: Kina, Japan, Južna Koreja i Indija i to uglavnom na temelju dugoročnih ugovora. Australija je započela izvoz UPP-a 1989. godine, nakon dovršetka svog prvog UPP postrojenja Karratha terminal u regiji North West Shelf (NWS) (Liu et al., 2020). North West Shelf, smješten na sjeverozapadu Australije, najveći je australski projekt koji uključuje pridobivanje nafte i plina na odobalnim proizvodnim platformama, preradu na kopnu, izvoz UPP-a i obradu i isporuku prirodnog plina u plinovitom stanju za industrijske, komercijalne i domaće potrebe (Woodside Energy, 2008). Tradicionalno se na terminalima za ukapljivanje za hlađenje koristila morska voda. Međutim, zbog zabrinutosti za okoliš u blizini terminala, hlađenje vodom zamijenjeno je hlađenjem zrakom. Karratha terminal bio je pionir u optimizaciji proizvodnje UPP-a uz primjenu tehnologije hlađenja zrakom (Engineering Australia, 2017). Slika 2-5. prikazuje sjeverozapadni dio Australije, uključujući North West Shelf, gdje su crvenom i zelenom bojom označena proizvodna polja, dok su žutom bojom označena polja koja imaju dozvolu za provođenje istraživanja ugljikovodika. Iako se većina prirodnog plina u Australiji nalazi u pojasu North West Shelf, plin se već više od 40 godina proizvodi i u podmorju jugoistočne Australije (Ogle, 2019).



Slika 2-5. Lokacije proizvodnih polja i polja s dozvolom za istraživanje ugljikovodika na području North West Shelf (NEATS, 2024)

U Australiji postoji 10 terminala za ukapljivanje (International Group of Liquefied Natural Gas Importers [GIIGNL], 2022) (Tablica 2-1.).

Tablica 2-1. Australijski terminali za ukapljivanje s pripadajućim kapacitetima (GIIGNL, 2022)

TERMINAL	KAPACITET (milijuni tona/g)	OPERATOR
Northwest Shelf (NWS)	16,3	Woodside
Pluto T1	4,9	Woodside
Gorgon T1-T3	15,6	Chevron
Wheatstone T1-T2	8,9	Chevron
Darwin	3,7	Santos
GLNG T1-T2	7,8	Santos
QCLN T1-T2	9	Shell
PRELUDE (FLNG)	3,6	Shell
APLNG T1-T2	9	Australia Pacific LNG
ICHTHYS T1-T2	8,9	Inpex

Australija sadašnju količinu proizvedenog UPP-a namjerava povećati za još 45,5 milijuna tona ukapljenog prirodnog plina godišnje kroz realizaciju projekata proširenja postojećih terminala kao što su Ichthys (0,4 MTPA), Abbot Point LNG (2 MTPA), Darwin LNG T2 (3,5 MTPA), Gorgon LNG T4 (5,2 MTPA) i Wheatstone LNG T3-T5 (15,9 MTPA) (Alam

et al., 2023). Međutim, budući projekti suočavaju se s izazovima opskrbe zbog smanjenja proizvodnje plina iz postojećih ležišta. Ovo ograničenje prisililo je proizvođače da se usredotoče na zadovoljavanje potreba opskrbe postojećih objekata umjesto izgradnje novih (EIA, 2022). Ukoliko ne dođe do planiranog proširenja, vodeća uloga Australije na tržištu UPP-a bi mogla biti ugrožena. Naime, za razliku od Katara i SAD-a, koji imaju široko tržište za izvoz, Australija se uvelike oslanja na Aziju. Ova ovisnost o Aziji predstavlja rizik jer se konkurenti, SAD, Katar i Rusija ubacuju na azijsko tržište, dovodeći u pitanje poziciju Australije (Nakhle, 2023). Budućnost UPP projekata u Australiji je neizvjesna i zbog ograničenih ulaganja u nove projekte, pri čemu je samo jedan UPP projekt, Pluto T2 krenuo u realizaciju (početak rada očekuje se 2026. godine), dok su svi ostali još samo u planu (LNG Prime Staff, 2023). Ukratko, australska UPP industrija suočava se s neizvjesnostima zbog ovisnosti o jednom tržištu, velikoj konkurenciji ostalih velikih proizvođača UPP-a, regulatornim izazovima i manjku ulaganja.

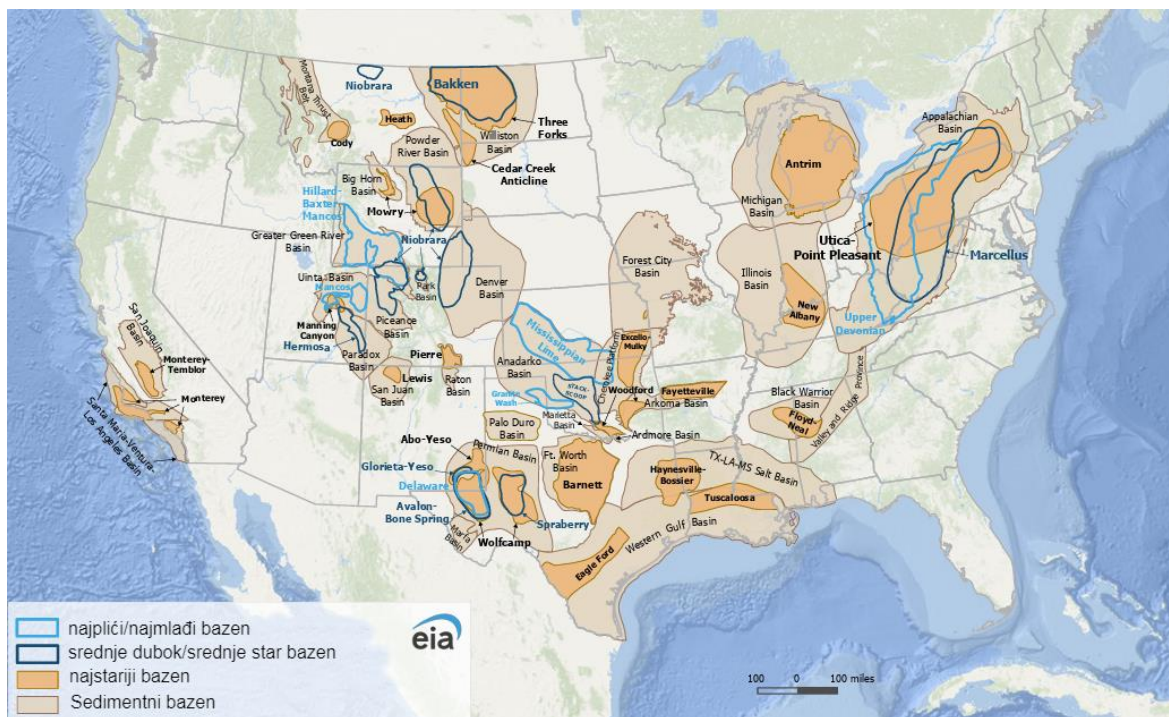
Budući da se većina australske proizvodnje prirodnog plina odvija na sjeverozapadu, australska vlada ne očekuje da će proizvodnja na jugu držati korak s potražnjom. U tom smislu se terminali za uplinjavanje smatraju važnima za minimiziranje rizika od nesigurnosti opskrbe plinom tog dijela Australije (EIA, 2022). Luka Kembla LNG u Novom Južnom Walesu bit će prvi australski terminal za uplinjavanje. Očekuje se da će terminal postati operativan do 2026. godine (EIA, 2022).

2.1.3. Sjedinjene Američke Države

SAD je igrao ključnu ulogu u UPP industriji od njezina početka. Godine 1959. brod Methane Pioneer obavio je prvi transport UPP-a, od Lake Charlesa (Louisiana) do Canvey Islanda (Ujedinjeno Kraljevstvo), demonstrirajući tako sigurnost transporta velikih količina UPP-a preko oceana i postavljajući temelje za svjetsku trgovinu UPP-om (US. Department of Energy, 2017). S velikim resursima prirodnog plina i iznimno razvijenom mrežom plinovoda, Sjeverna Amerika je kroz povijest svoje potrebe za prirodnim plinom zadovoljavala interno. Međutim, 1970-ih godina SAD je počeo uvoziti UPP iz Alžira zbog ograničenja opskrbe, što je dovelo do izgradnje većeg broja terminala za uplinjavanje (Global LNG Fundamentals, 2017). U 1980-ima došlo je do prekomjerne ponude UPP-a na tržištu plina u SAD-u, što je rezultiralo slabom iskoristivošću terminala za uplinjavanje ili njihovim zatvaranjem. U kasnim 1990-ima, terminali za uplinjavanje su ponovno aktivirani zbog straha od nestašice plina. Do 2010. godine porast proizvodnje plina iz nekonvencionalnih ležišta u SAD-u (Slika 2-6.) učinio je uvoz UPP-a nepotrebnim,

preusmjeravajući UPP na svjetska tržišta. Posljedično, mnogi terminali za uplinjavanje, prenamijenjeni su u terminale za ukapljivanje.

Slika 2-6. prikazuje lokacije nekonvencionalnih plinskih ležišta u SAD-u.



Slika 2-6. Nekonvencionalna plinska ležišta u SAD-u (EIA, 2023)

Prema Američkoj upravi za energetske informacije (engl. *US Energy Information Administration* - EIA) (2017), SAD je započeo s izvozom UPP-a u veljači 2016. godine i u roku od sedam godina postao svjetski lider u izvoznim kapacitetima UPP-a, sa sedam terminala za ukapljivanje maksimalnog kombiniranog kapaciteta od 105,6 milijuna tona ukapljenog plina godišnje. Američki izvoz ukapljenog prirodnog plina 2021. godine prvi put je na godišnjoj razini premašio količine plina transportirane plinovodima. Proširenje izvoza UPP-a iz SAD-a nastavit će se s nekoliko novih projekata. Prema Američkom ministarstvu energetike (engl. *Department of Energy* – DOE) (2017), pet izvoznih terminala dobilo je regulatorna odobrenja i trenutno je u izgradnji. Osim toga, potrebna regulatorna odobrenja dobilo je i oko desetak projekata proširenja postojećih terminala. Predviđa se i početak rada tri nova projekta (FLNG New Fortress Energy, Plaquemines LNG Phase 1 i Golden Pass LNG) sa zajedničkim kapacitetom većim od 34 milijuna tona ukapljenog prirodnog plina godišnje. Novi projekti suočavaju se s izazovom porasta cijena izgradnje, pa tako u slučaju projekta Calcasieu Pass, čiji su troškovi izgradnje 2019. godine procijenjeni na 4,5 milijardi američkih dolara, da bi 2022. godine porasli na 7,1 milijardi američkih dolara. Drugi projekti

također se suočavaju sa sličnim inflatornim kapitalnim izdacima. Projekt FLNG tvrtke New Fortress Energy kod Louisiane sadržavat će dva objekta (FLNG1 i FLNG2), zajedno s kompresorskom opremom i plutajućom jedinicom za skladištenje (engl. *Floating storage unit* - FSU). Prije planiranog roka dovršen je i prvi UPP skladišni spremnik u Plaquemines LNG terminalu u Louisiani. Ovo postrojenje, s ukupno četiri spremnika, imat će kapacitet skladištenja od 200 000 m³ UPP-a (Wright, 2023). Osim toga, uspješno je donesena završna financijska odluka o financiranju druge faze projekta Plaquemines LNG. Postrojenje, koje se prostire na 632 hektara, naposljetku će imati do 36 jedinica za ukapljivanje gdje će kapacitet svake jedinice iznositi 0,626 milijuna tona ukapljenog plina godišnje (Wright, 2023). UPP postrojenje Lake Charles je projekt koji ima za cilj proširiti i prenamijeniti postojeći terminal za uplinjavanje u terminal za ukapljivanje. U okviru terminala bit će tri jedinice za ukapljivanje, svaka kapaciteta od 5,5 milijuna tona ukapljenog plina godišnje. Commonwealth LNG je projekt u blizini Camerona, Louisiana, na Američkoj obali Meksičkog zaljeva, s ciljem uspostavljanja terminala za ukapljivanje i izvoz od 8,4 milijuna tona ukapljenog plina godišnje. Terminal će sadržavati šest skladišnih spremnika pojedinačnih kapaciteta 50 000 m³ i primat će brodove do 216 000 m³. UPP terminal tvrtke Delfin usredotočen je na priobalnu luku projektiranu za smještaj četiri FLNG terminala, koji će moći proizvesti ukupno 13 milijuna tona ukapljenog plina godišnje (Wright, 2023). Rio Grande LNG za sljedeće desetljeće je planiran kao terminal za ukapljivanje s pet jedinica za ukapljivanje i kapacitetom od 27 milijuna tona ukapljenog plina godišnje. Osim spomenutih projekata, prema istraživanju Wood Mackenzie postoji još potencijalnih projekata ukapljivanja u SAD-u, s predviđenim datumima pokretanja u rasponu od 2027. do 2028. godine. Ovi projekti bi zajedno s planiranima, a to su: Port Arthur LNG faza 1, Cameron LNG faza 2, CP2 LNG faza 1, CP2 LNG faza 2 i proširenje Freeport LNG s četvrtom jedinicom za ukapljivanje, mogli doprinijeti svjetskom tržištu UPP-a s više od 100 milijuna tona ukapljenog plina godišnje. U Tablici 2-2. prikazani su projekti u izgradnji i potencijalni projekti s pripadajućim kapacitetom ukapljivanja u SAD-u.

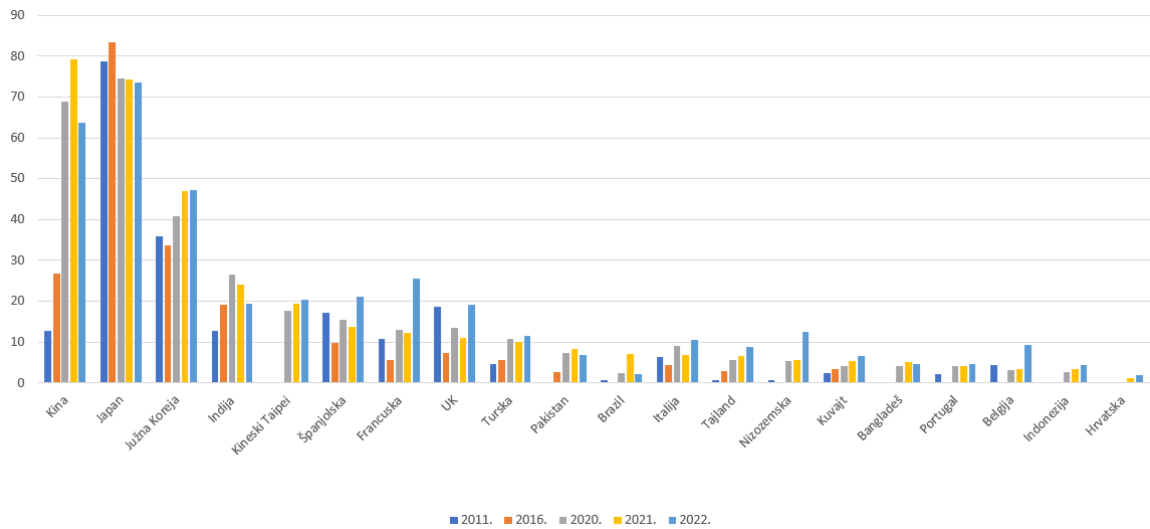
Tablica 2-2. Projekti terminala za ukapljivanje u SAD-u (Wright, 2023)

PROJEKT	OPERATOR	STATUS	KAPACITET (milijuni tona/g)	POČETAK RADA
NNFE LOUISIANA FLNG	New Fortress Energy	U izradi	2,8	2024
PLAQUEMINES LNG PHASE 1	Venture Global	U izradi	13,33	2024
GOLDEN PASS LNG	QatarEnergy/ExxonMobi l	U izradi	18,09	2024
CORPUS CHRISTI STAGE 3	Cheniere	U izradi	10,43	2026
PLAQUEMINES LNG PHASE 2	Venture Global	Vjerojata n razvoj	6,67	2026
PORT ARTHUR LNG PHASE 1	Sempra Infrastructure	Vjerojata n razvoj	13,5	2026
RIO GRANDE LNG PHASE 1	NextDecade	Moguć	16,2	2027
CP2 LNG PHASE 1	Venture Global	Moguć	10	2027
CAMERON LNG PHASE 2	Sempra Infrastructure	Moguć	6,75	2027
CORPUS CHRISTI MIDSCALE T8 I T9	Cheniere	Moguć	2,98	2028
DRIFTWOOD LNG	Tellurian	Moguć	11	2028
FREEPORT TRAIN 4	Freeport LNG	Moguć	5,1	2028
LAKE CHARLES LNG	Energy Transfer	Moguć	16,44	2028
COMMONWEALT H LNG	Commonwealth LNG	Moguć	8,4	2028
CP2 LNG PHASE 2	Venture Global	Moguć	10	2028
DELFIN LNG	Delfin Midstream	Moguć	3,5	2028

2.2 Uvoznici ukapljenog prirodnog plina

Prema podacima Alam et al., (2023), IGU i GIIGNL, od ukupno 25 zemalja uvoznica 2011. godine, Japan i Južna Koreja bili su najveći uvoznici sa zajedničkim udjelom uvoza od 48% ukupne trgovine UPP-om. Japanska potražnja porasla je zbog katastrofe u Fukushima, odnosno zbog zamjene nuklearne energije plinom. U razmaku od pet godina (od 2006. godine) pojavilo se 12 manjih uvoznika koji su uvozili oko 7% ukupne trgovine UPP-om. SAD je iskusio smanjenje uvoza od 2006. što se moglo pripisati rastućoj opskrbi nekonvencionalnim plinom iz domaćih izvora (IGU, 2012). U Azijsko-pacifičku regiju je

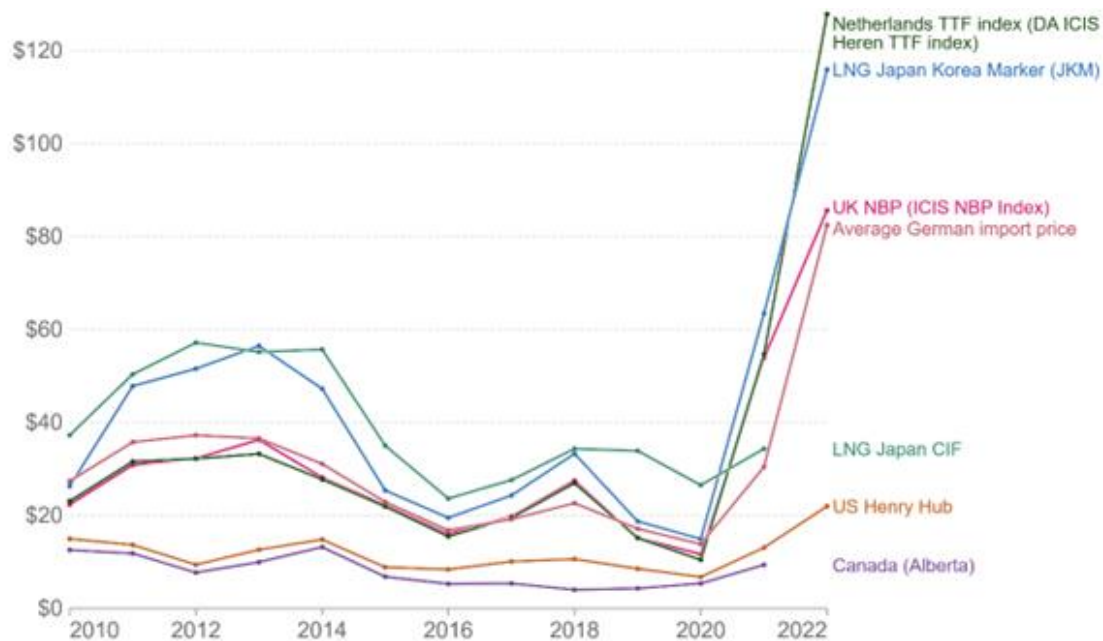
uvezeno 153 milijuna tona UPP-a, a 91% toga plina dolazilo je s Bliskog Istoka (54%) i iz Sjeverne Amerike (37%). Druga najveća izvozna regija za zemlje Bliskog Istoka bila je Europa. Tijekom 2016. godine, Japan i Južna Koreja i dalje su bila dva najveća uvoznika UPP-a, a Kina i Indija su postali treći, odnosno četvrti najveći uvoznici, s tim da su ujedno bili uvoznici koji su imali najveće povećanje uvoza od 2011. godine. Azijsko-pacifička regija ostala je najveće tržište u 2016., primajući 53,6% svjetske ponude. U odnosu na 2011. godinu, Europa je najveći udio UPP-a uvozila iz Afrike, dok je Bliski Istok i dalje najveći izvoznik za Aziju-Pacifik. Unatoč tome što je Bliski Istok bio najveća izvozna regija za Aziju-Pacifik, 2016. godine s višim se volumenima trgovalo unutar samog Pacifičkog bazena nego što je Bliski Istok izvezao za tu regiju (IGU, 2017). Unatoč pandemiji Covid-19, Kina, Indija, Kineski Taipei i Južna Koreja zajedno su osvarili preko 11 milijuna tona uvoza 2020. godine, a Azijsko-pacifička regija i dalje je ostala najveća uvozna regija. Pratila ju je Europa, koja je i dalje najveći udio uvozila iz Afrike, uz povećanje uvoza iz Sjeverne Amerike. U odnosu na 25 uvoznika 2011. godine, 2021. godine UPP je uvezilo 39 država, uključujući i Hrvatsku (GIIGNL, 2022). Kina je pretekla Japan i postala najveći uvoznik doživjevši značajan rast od 15% u odnosu na godinu prije. Azija-Pacifik je i dalje najveća izvozna regija, no u usporedbi s 2016. godinom, kada je imala 53,6% udjela u ukupnom volumenu UPP-a, 2021. godine je taj udio iznosio „samo“ 41,8%. UPP tržište se dodatno proširilo 2022. godine s 39 na 46 država uvoznica. Japan ponovno zauzima poziciju najvećeg svjetskog uvoznika UPP-a zbog velikog pada uvoza u Kini. Unatoč tome, Azijsko-pacifička regija i dalje je najveća izvozna regija, a Europa je zabilježila povijesno visok uvoz UPP-a od 126,6 milijuna tona (IGU, 2023). U odnosu na godinu prije, Sjeverna Amerika je najviše UPP-a izvezla u Europu i time pretekla Afriku. Slika 2-7. prikazuje zemlje uvoznice i uvezene količine UPP-a u razdoblju od 2011. do 2022. godine.



Slika 2-7. Usporedba uvezenih količina ukapljenog prirodnog plina (milijuni tona) u zemlje uvoznice u razdoblju od 2011. do 2022. godine (IGU, 2023)

Tradicionalno, UPP se isporučivao kroz dugoročne ugovore između kupaca i prodavača, uz ograničenu trgovinu na licu mjesta, odnosno spot trgovinu. Međutim, počevši od 1990-ih, sektor spot trgovine UPP-om postupno se proširio, doživjevši značajan porast u razdoblju od 2005. pa sve do danas (Alam et al., 2023). Prije 2005. godine spot trgovanje činilo je oko 10% ukupnog trgovanja UPP-om. Do 2006. spot trgovina činila je 16% razmijenjenog UPP-a, dok se do 2011. godine taj udio povećao na preko 25% svjetske trgovine UPP-a (IGU, 2012). Popis spot kupaca gotovo se udvostručio. Čimbenici poput lokacije, strukture ugovora i vremenskog rasporeda igrali su značajniju ulogu u određivanju vrijednosti plina od svjetske ponude i potražnje. Cijene plina uvelike su varirale na različitim tržištima, pa čak i unutar tržišta, osobito na uvoznim tržištima s više ugovora o opskrbi, od kojih je svaki bio reguliran vlastitom formulom za određivanje cijene (BP, 2022).

Slika 2-8. prikazuje cijenu plina u američkim dolarima po MWh u razdoblju od 2010. godine do 2022. godine, na više svjetskih trgovinskih čvorišta.



Slika 2-8. Cijene prirodnog plina u razdoblju od 2010. do 2022. (BP, 2022)

2.3 Terminali za ukapljivanje

Prema podacima IGU, Rystad Energy, S&P Global i GIIGNL svjetski kapacitet ukapljivanja na kraju 2011. godine iznosio je 278,7 milijuna tona godišnje, što je u odnosu na 2006. godinu povećanje od 52%. Tehnologija ukapljivanja razvila se tijekom vremena, omogućavajući izgradnju postrojenja većih izlaznih kapaciteta. Prvo svjetsko postrojenje za ukapljivanje u Alžiru imalo je kapacitet ukapljivanja od svega 0,85 milijuna tona ukapljenog plina godišnje. Nasuprot tome, krajem 2011. godine svaka od šest jedinica za ukapljivanje katarskog postrojenja imala je izlazni kapacitet od 7,8 milijuna tona ukapljenog plina godišnje. Krajem 2011. godine, 18 zemalja je imalo terminale za ukapljivanje u svrhu izvoza UPP-a od kojih je na Katar, Maleziju i Indoneziju otpadalo oko 50% od ukupnog svjetskog kapaciteta, dok je udio Pacifičke regije iznosio 38% (IGU, 2012). Najčešće korištena tehnologija ukapljivanja bila je C₃MR tvrtke Air Products s udjelom od 66% svjetskog kapaciteta, dok je tehnološko poboljšanje te tehnologije AP-X, primijenjeno samo na terminalu za ukapljivanje u Kataru, a iznosilo je 17% ukupnog svjetskog kapaciteta ukapljivanja. Shellov projekt „Prelude“ bio je prvi projekt plutajućeg postrojenja za ukapljivanje (engl. *Floating Liquefied Natural Gas* - FLNG) za kojeg je donesena konačna financijska odluka o izgradnji. Iako su analize iz prethodnih godina predviđale da će se 2016. godine ukupni kapacitet ukapljivanja u svijetu povećati na 335 milijuna tona godišnje, ta je

količina premašena i iznosila je 339,7 milijuna tona (IGU, 2017). Najveći doprinos tom povećanju dali su Australija i SAD. Iste godine kapacitet terminala za ukapljivanje u izgradnji je dosegao 114,6 milijuna tona ukapljenog plina godišnje, sa projektima kao što su Tangguh LNG T3 u Indoneziji i Elba Island LNG u SAD-u. Unatoč rastućem izvozu UPP-a, iskorištenost kapaciteta za ukapljivanje iznosila je 82%, što je bilo ispod prosjeka od 84% iz 2011. godine. Tehnologija ukapljivanja tvrtke Air Products i dalje je dominirala na postojećim postrojenjima i projektima u izgradnji s procesima ukapljivanja kao što su već spomenuti C₃MR i AP-X, a uz njih i C₃MR/SplitMR (IGU, 2017). Projekti plutajućih postrojenja za ukapljivanje pojavili su se kao strategija za komercijalizaciju nedostupnih izvora plina, minimiziranje kopnene infrastrukture i smanjenje troškova izgradnje. Projekti plutajućih terminala za ukapljivanje Prelude, PFLNG Satu-2 i Cameroon FLNG 2016. godine još su bili u izgradnji, dok je plutajući terminal SATU-1 prvi FLNG koji je postao operativan (IGU, 2017).

Na troškove projekta izgradnje terminala za ukapljivanje utječu različiti čimbenici poput lokacije, kapaciteta, procesa ukapljivanja, spremnika za skladištenje, regulatornih troškova i troškova dozvola (EIA, 2011). Mnogi projekti izgradnje su zabilježili prekoračenje troškova u rasponu od 30% do 50%. Jedinični troškovi za postrojenja za ukapljivanje porasli su s prosječnih 413 američkih dolara/toni iz razdoblja 2010. godine na 987 američkih dolara/toni u 2016. godini, troškovi ulaganja u nove projekte porasli su s 507 američkih dolara/toni na 1389 američkih dolara/toni, dok su troškovi ulaganja u postojeće projekte u prosjeku porasli na 532 američka dolara/toni, s 329 američkih dolara/toni. Takvoj eskalaciji cijena doprinijeli su izazovi povezani s resursima, teškim radnim okruženjima, svjetskom konkurencijom za usluge inženjeringa, nabave i izgradnje. Takvi skokovi u cijenama nisu bili karakteristični za projekte na Bliskom Istoku koji su u razdoblju do 2016. godine ostali „jeftini“, s prosječnom cijenom od 452 američka dolara/toni (IGU, 2017).

Prema podacima IGU i GIIGNL, u 2020. godini svjetski kapacitet ukapljivanja dosegao je 452,9 milijuna tona godišnje, što predstavlja povećanje od 25% u odnosu na 2016. godinu. Prosječna stopa iskorištenosti postrojenja bila je 74,6%, što je pad u odnosu na 2019. godinu (81,4%), 2016. godinu i 2011. godinu. Razlozi ovog pada mogu se pripisati pandemiji Covida-19, velikoj ponudi plina na svjetskom tržištu i posljedično nižim cijenama plina. Od 22 izvozna tržišta, 6 ih je postiglo stope iskorištenja veće od 90% (PNG, Rusija, Katar, Oman i UAE). Tehnologije ukapljivanja Air Products, posebice proces C₃MR i AP-X, činile su u 2020. godini 67,5% operativnih kapaciteta na svjetskoj razini. Tržišna dominacija Air

Productsa smanjila se s preko 90% početkom 21. stoljeća na 55% u razdoblju od 2016. – 2020. godine (IGU, 2021). Optimizirani kaskadni proces ConocoPhillipsa pojavio se kao druga vodeća tehnologija ukapljivanja s 22% udjela u kapacitetu. Osim tih tehnologija, pojavljuju se i nove tehnologije: DMR tehnologija (Shell) i Arctic Cascade proces (Novatek). U 2020. godini pojavljuje se i trend prijelaza na UPP projekte malih razmjera koji se smatraju alternativama u smislu manjeg rizika, nudeći jednostavnost standardizacije i modularizacije radi smanjenja troškova. Izraz UPP projekt malih razmjera općenito se odnosi na objekte povezane s UPP-om (terminalni za ukapljivanje, skladišne jedinice, brodovi itd.) sličnih karakteristika, ali manje veličine u usporedbi s konvencionalnom UPP infrastrukturom (Apec Energy Working Group, 2019). Prema trenutnim kriterijima, UPP malih razmjera je bilo koje postrojenje s kapacitetom ukapljivanja i uplinjavanja od 0,05 do 1 milijuna tona godišnje i skladišnih kapaciteta do 60,000 kubičnih metara (Apec Energy Working Group, 2019).

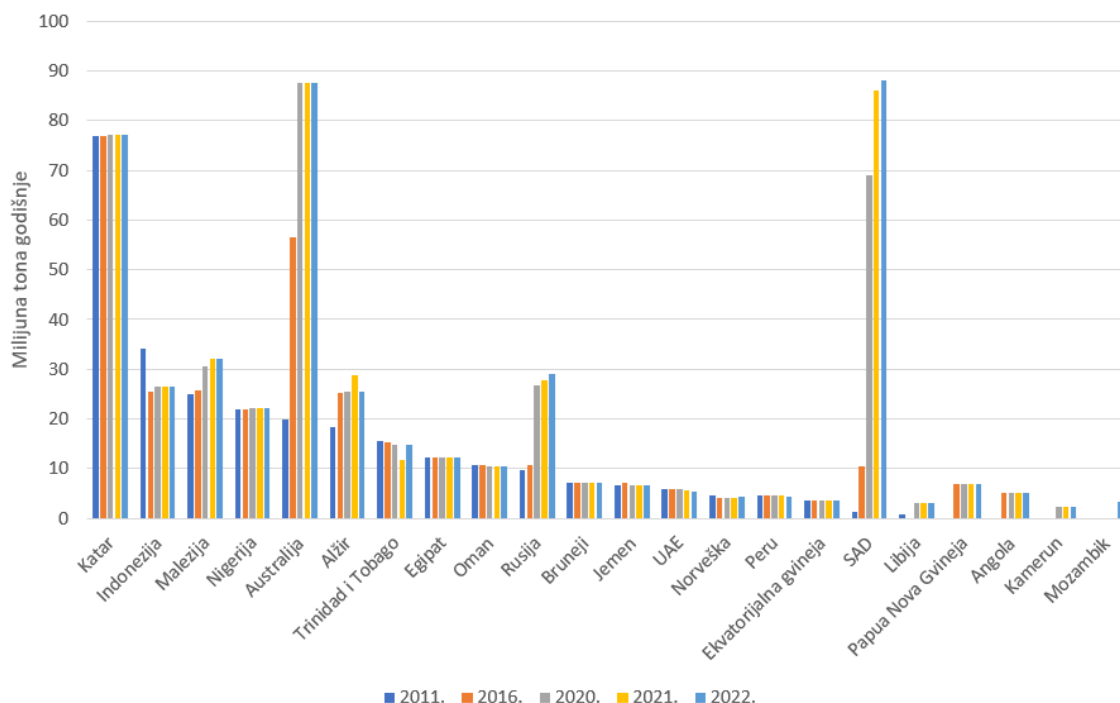
Krajem 2020. godine, u svijetu su bila aktivna tri plutajuća terminala za ukapljivanje čiji je ukupni kapacitet iznosio 7,2 milijuna tona ukapljenog plina godišnje. Brzi razvoj inovacija u području izgradnje i rada rezultirao je znatnim smanjenjem troškova u usporedbi s visokim cijenama izgradnje prvih plutajućih postrojenja koje su konstruirale tvrtke poput Shella, Petronasa i drugih. Druga generacija FLNG-ova, često nazivanih standardizirani FLNG-ovi, odigrala je ključnu ulogu u smanjenju troškova. Uvođenje standardiziranog FLNG koncepta započelo je brodogradilište Keppel i Black & Veatch, koji su preoblikovali UPP brod Hilli s Mossovim spremnicima u FLNG naknadno opremljen B&V PRICO tehnologijom ukapljivanja (IGU, 2021). Osim toga, SBM Offshore patentirao je svoje rješenje za konverziju FLNG-a, poznato kao TwinHull FLNG koncept. Ovaj inovativni dizajn usmjeren je na maksimalnu učinkovitost i smanjenje troškova za privođenje proizvodnji plinskih polja u moru. Koncept TwinHull podrazumijeva pretvorbu dva UPP broda u jedan integrirani trup, nudeći povećani skladišni kapacitet i učinkovito korištenje prostora na palubi. Iako novija plovila možda nisu prikladna za određena područja, mogu se pohvaliti poboljšanom fleksibilnošću u postavljanju, kraćim rokovima isporuke i značajnim uštedama. Osim njihove prikladnosti za manja i udaljena odobalna plinska polja, FLNG-ovi predstavljaju prednosti u odnosu na projekte na kopnu zbog jednostavnijeg i bržeg rješavanja problema povezanih s ograničenjima u smislu zakupa zemljišta i ekoloških izazova (IGU, 2021). Osim toga, mogu poslužiti kao privremena rješenja za veća polja dok kopnena sustavi za ukapljivanje ne postanu operativni.

Krajem 2021. godine svjetski kapacitet ukapljivanja dosegao je 459,9 milijuna tona godišnje, dok je prosječna iskorištenost terminala iznosila 80,4%. Sedam država postiglo je stopu iskorištenosti od preko 90%, s tim da se Australija pridružila već spomenutim državama iz 2020. godine. SAD je 2020. godine imao stopu iskorištenosti terminala 76,5%, u odnosu na 103,4% iz 2021. godine koju je obilježila snažna potražnja i visoke cijene plina u Europi i Aziji (IGU, 2021). Na terminalima je sve veći fokus na smanjenju emisija u procesima ukapljivanja. Inovativna rješenja uključuju potpuno električni koncept pogona i hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida. Na Hammerfest LNG postrojenju za ukapljivanje će se na primjer, dosadašnje plinske turbine zamijeniti električnom energijom iz mreže, čime će smanjiti emisije CO₂ (Equinor, 2023). Venture Global razvija sustav za skladištenje i hvatanje ugljikovog dioksida na svojim postrojenjima za ukapljivanje. Napori za dekarbonizaciju postali su ključni u procesu odabira procesa i opreme ukapljivanja, kako bi bili u skladu sa svjetskim obvezama smanjenja emisija. Odabir troškovno učinkovitih tehnologija ukapljivanja koje zadovoljavaju stroge standarde emisija, ključni su parametri za nove projekte.

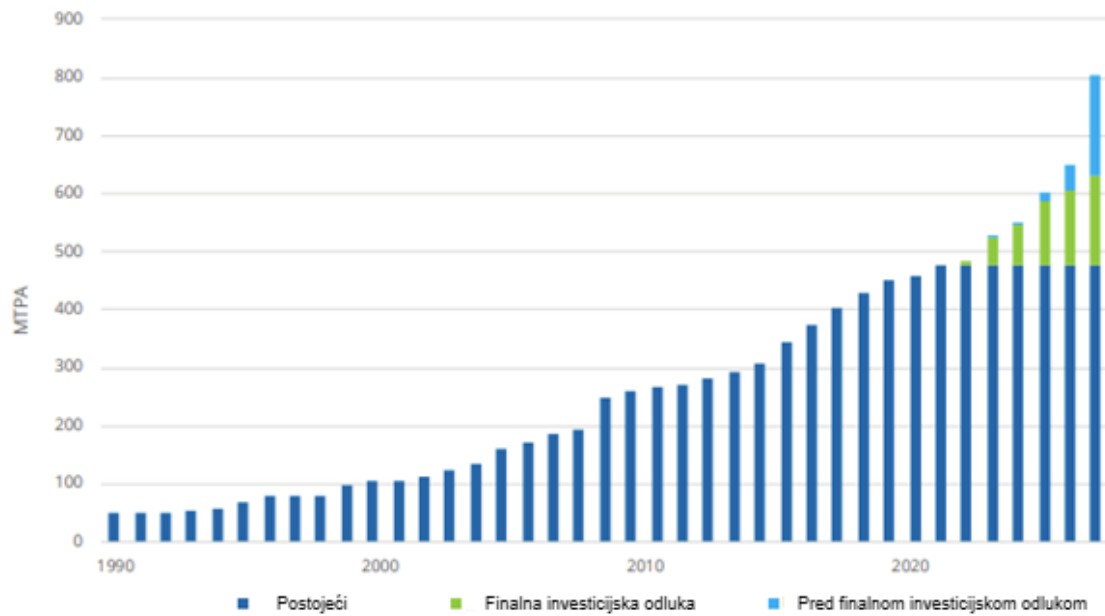
Krajem 2022. godine svjetski kapacitet ukapljivanja dosegnuo je 478,4 milijuna tona ukapljenog prirodnog plina, što je ujedno i najveći ikad dostupan kapacitet, dok je iskoristivost postrojenja u prosjeku iznosila 89% procijenjenog kapaciteta, što je također više od svih referentnih godina (Alam et al., 2023). Unatoč operativnim problemima (požari), 9 od 22 države izvoznice postiglo je stope iskorištenje veće od prosjeka iz godine prije. SAD je nadmašio Australiju u operativnom kapacitetu ukapljivanja, a Australiju slijedi Katar. Te tri države raspolažu s više od polovine svjetskog kapaciteta za ukapljivanje. Otprilike 178 milijuna tona kapaciteta za ukapljivanje je u izgradnji ili su odobreni projekti za proširenje kapaciteta (GIIGNL, 2023). Unatoč sukobu s Ukrajinom, Rusija ima za cilj povećati proizvodnju UPP-a razvijajući projekte Far East LNG, Sakhalin-2 LNG T3, Arctic LNG 1, Arctic LNG 3, Obskiy LNG i Yakutsk LNG. Australija pak prednjači u planiranom kapacitetu za ukapljivanje u Azijsko-pacifičkoj regiji s projektima proširenja postojećih terminala kao što su već spomenuti Ichthys (0,4 MTPA), Abbot Point LNG (2 MTPA), Darwin LNG T2 (3,5 MTPA), Gorgon LNG T4 (5,2 MTPA) i Wheatstone LNG T3-T5 (15,9 MTPA). Sjeverna Amerika, posebice SAD, ima značajan udio predloženog kapaciteta za ukapljivanje (333 milijuna tona godišnje), s projektima Plaquemines LNG, Driftwood LNG i Port Arthur LNG. Od ukupnog svjetskog kapaciteta ukapljivanja, otprilike 10% čine jedinice za ukapljivanje starije od 35 godina (IGU, 2023).

Trenutno u svijetu postoji pet operativnih FLNG jedinica, Coral South FLNG u Mozambiku je najmlađi i prvo plutajuće postrojenje koje radi u dubokim vodama uz obalu afričkog kontinenta. Ostali operativni FLNG-ovi su: Petronas FLNG Satu u Maleziji, Petronas FLNG Dua u Sabahu, Prelude FLNG zapadno od Australije i Tango FLNG u Kongu. Od budućih FLNG projekata, Greater Tortue Ahmeyim LNG projekt poznat kao i Golar Gimi FLNG je stigao na željenu lokaciju 10. siječnja 2024. i započet će s radom nakon dovršetka svih priprema aktivnosti (Golar Lng Limited, 2024). SAD ima nekoliko projekata: Delfin FLNG, Point Comfort FLNG, Main Pass Energy Hub FLNG i Cambridge Energy FLNG.

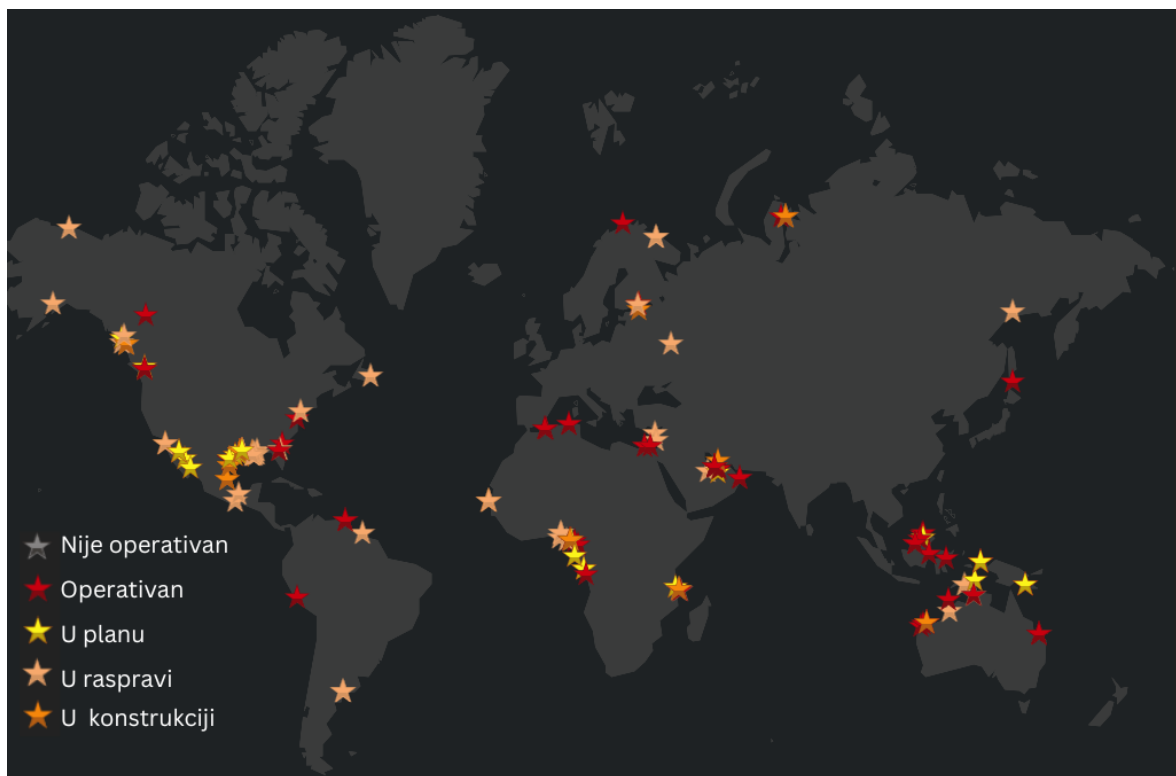
Na Slici 2-9. su prikazane države s najvećim kapacitetom ukapljivanja za referentne godine, dok je na Slici 2-10. prikazano kretanje ukupnih količina ukapljenog prirodnog plina na svjetskim terminalima kao i buduće projekcije. Slika 2-11. prikazuje kartu postojećih, budućih i potencijalnih svjetskih terminala za ukapljivanje. Na Slici 2-12. prikazane su operativne mogućnosti (količine ukapljivanja) za pojedine regije kao i potencijalni i kapaciteti u izradi.



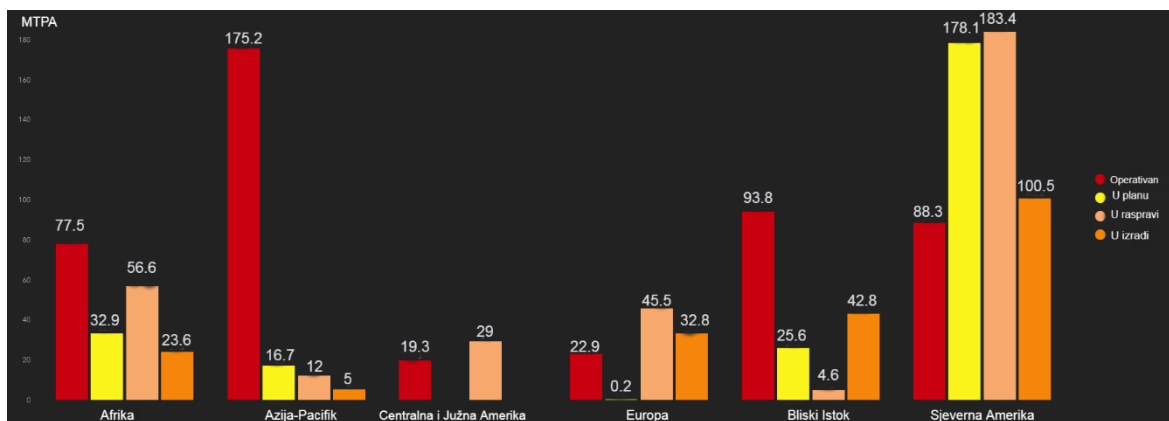
Slika 2-9. Usporedba svjetskog kapaciteta ukapljivanja po državama za razdoblje od 2011. do 2022. godine (IGU, 2023)



Slika 2-10. Kretanje ukupnih kapaciteta ukapljivanja s vremenom na svjetskim terminalima (IGU, 2023)



Slika 2-11. Lokacije svjetskih terminala za ukapljivanje (Rystad Energy, 2023)



Slika 2-12. Postojeće, buduće i moguće količine ukapljivanja za pojedine svjetske regije (Rystad Energy, 2023)

2.4 Terminali za uplinjavanje

Prema podacima IGU, GIIGNL i EIA krajem 2006. godine u svijetu je bilo 29 terminala za uplinjavanje s ukupnim kapacitetom od otprilike 363 milijuna tona godišnje, dok je svega pet godina kasnije, krajem 2011. godine u svijetu bilo 89 terminala s kapacitetom uplinjavanja od 608 milijuna tona godišnje. Od ukupnog broja, deset ih je bilo odobalnih, od kojih 9 plutajućih, a jedan je bio gravitacijska betonska struktura. Japan, SAD, Južna Koreja, Ujedinjeno Kraljevstvo i Španjolska raspolagali su sa 75% svjetskog kapaciteta uplinjavanja. Povijesno gledano, istočna Azija imala je udio od oko 70% svjetskog kapaciteta uplinjavanja početkom 2000-tih godina, ali je taj udio opao zbog povećanja kapaciteta u Sjevernoj Americi, Europi i Bliskom Istoku. Istočna Azija (Japan, Koreja, Tajvan i Kina) imala je udio od 48% svjetskog kapaciteta uplinjavanja krajem 2011. godine. Početkom 2012. godine na svjetskim terminalima za uplinjavanje bilo je raspoloživo oko 42 milijuna kubičnih metara skladišnog prostora, s tim da su Japan i Južna Koreja raspolagali s više od polovice udjela (IGU, 2012). Krajem 2016. godine, svjetski kapacitet uplinjavanja iznosio je 795 milijuna tona godišnje. Japan je i dalje raspolagao najvećim kapacitetom za uplinjavanje, a Kina je postala najbrže rastuće tržište UPP-a u smislu povećanja kapaciteta uplinjavanja, povećavši kapacitet sa 6 milijuna tona godišnje iz 2008. godine na 49 milijuna tona krajem 2016. godine (IGU, 2017). Ukupni svjetski skladišni kapacitet dosegao je 2016. godine 59 milijuna kubičnih metara, što predstavlja povećanje od skoro 17% u odnosu na 2011. godinu. Krajem 2020. godine, svjetski kapacitet uplinjavanja iznosio je 848,2 milijuna tona godišnje, s time da je Japan zadržao prvu, a Južna Koreja drugu poziciju. Kina i dalje ima najveći porast kapaciteta uplinjavanja, u odnosu na 2016. godinu, pa joj se 2020. godine kapacitet povećao na 83,9 milijuna tona godišnje, što je

povećanje od 71% (IGU, 2017). Prosječni skladišni kapacitet za terminale u 2020. godini iznosio je 66,6 milijuna kubičnih metara, a više od 50% skladišnih kapaciteta koncentrirano je u Japanu, Južnoj Koreji i Kini. Španjolska je 2020. predstavila „Virtual Balance Tank“, odnosno virtualno čvorište koje je objedinilo skladišne kapacitete UPP-a šest španjolskih operativnih terminala. Uvozni terminali UPP-a na raznim tržištima razvili su se u čvorišta sposobna za ponovni izvoz UPP-a na svjetska odredišta. Ti su terminali diversificirali svoje usluge, odnosno uključili u njih ponovni ukrcaj brodova, prekrcaj UPP-a i UPP bunkering. Porast broja terminala s mogućnostima pretovara doveo je do stalnog povećanja volumena ponovno izvezenih količina UPP-a. Krajem prvog tromjesječja 2022. godine, svjetski kapacitet uplinjavanja dosegao je 901,9 milijuna tona godišnje (GIIGNL, 2023). Japan je prvi puta od 2018. dodao nove kapacitete i dalje zadržao poziciju države s najvećim kapacitetom uplinjavanja (211,4 milijuna tona), no unatoč tome, kao što je već spomenuto, 2021. godine Kina je uvezla više plina od Japana i jedno vrijeme je bila najveći svjetski uvoznik UPP-a, s kapacitetom uplinjavanja od 100,9 milijuna tona godišnje. U prvom tromjesječju 2022. godine svjetski skladišni kapacitet dosegao je 70,7 milijuna kubičnih metara. Što se tiče svjetskog kapaciteta uplinjavanja, on je krajem prvog tromjesječja 2023. godine bio 970,6 milijuna tona godišnje što je povećanje u odnosu na 2022. godinu od 7,6%, a u izgradnji su na svjetskoj razini bili terminali za uplinjavanje čiji je ukupni kapacitet bio približno 219 milijuna tona godišnje, s više od 90% u Aziji, Azijsko-pacifičkoj regiji i Europi. Prosječna stopa iskorištenosti kapaciteta uplinjavanja od 2020. godine do 2023. godine kreće se oko 40%. Europa je 2022. godine doživjela skok iskorištenosti na 65%, potaknuta povećanim uvozom UPP-a kako bi se nadoknadilo smanjenje količina plina uvezenih iz Rusije (Alam et al., 2023). Svjetski skladišni kapacitet dosegao je 77,1 milijuna kubičnih metara s projekcijama stalnog rasta. Japan, Južna Koreja i Kina i dalje su tri najveća tržišta s najvećim kapacitetom uplinjavanja i zajedničkim udjelom od 60% svjetskog skladišnog kapaciteta. Od svih skladišnih kapaciteta 92% ih je kopnenih, a preostalih 8% plutajućih. Na Slici 2-13. su prikazani kapaciteti terminala za uplinjavanje u državama koje njima raspoložu.

Prema podacima IGU i DOE većina terminala za uplinjavanje 2011. godine mogla je primiti UPP brod kapaciteta većeg od 150 000 kubičnih metara. Već utvrđena tržišta imala su tendenciju prihvaćanja brodova velike zapremine, pa je tako 2016. godine 16 terminala moglo primiti Q-max brodove (261 700 – 266 000 m³). U odnosu na 2016. godinu, 2020. godine, 40 terminala za uplinjavanje imalo je kapacitet za prihvrat Q-max brodova, a 60% tih

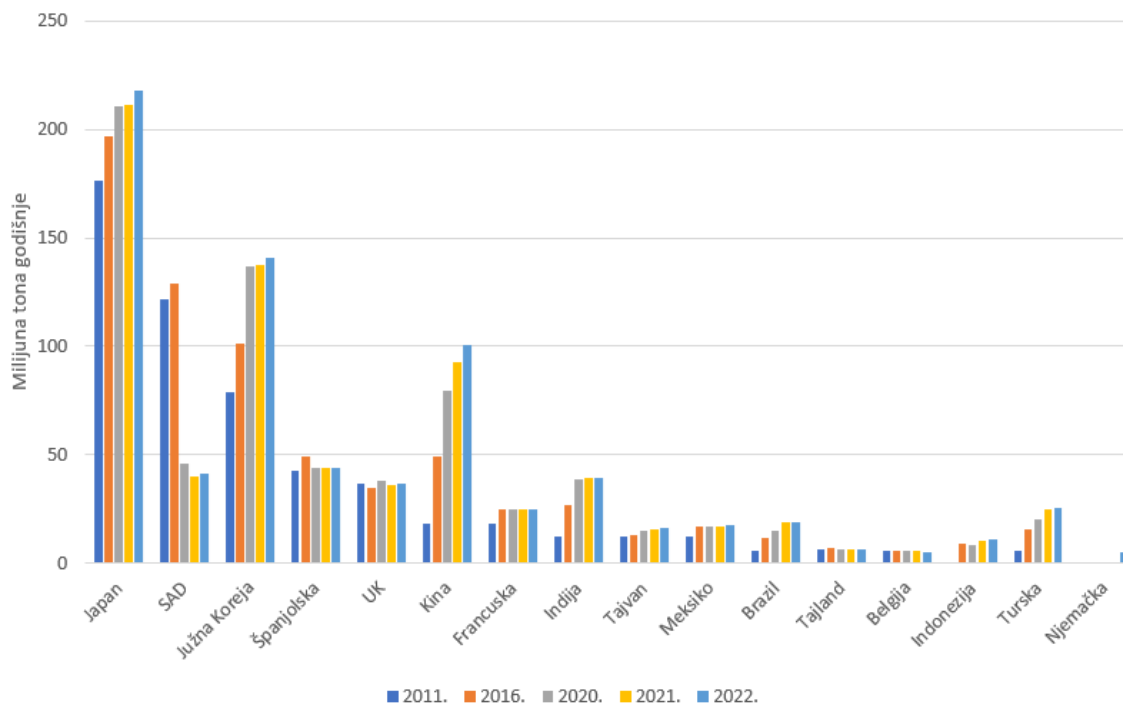
terminala smješteno je u Aziji. Početkom 2022. godine, kapacitete za prihvat Q-Max broda imala su 42 terminala, dok su Q-flex brodovi mogli pristupiti na 38 svjetskih terminala. Početkom 2023. godine 44 terminala je moglo primiti Q-max brodove, što pokazuje trend povećanja broja terminala koji mogu primiti najveće brodove.

Postoje dvije vrste odobalnih UPP terminala: gravitacijske betonske strukture i plutajuće jedinice za prihvat, skladištenje i uplinjavanje (engl. *Floating storage regasification unit*- FSRU) (Bai i Jin, 2016). Izbor između njih ovisi o čimbenicima poput dubine vode, uvjeta morskog dna i potrebnog kapaciteta uplinjavanja. Gravitacijske betonske strukture su fiksne betonske konstrukcije na morskom dnu koje se mogu proširiti u svrhu povećanja kapaciteta uplinjavanja. Trajnije su, ali i skuplje za izgradnju u odnosu na FSRU brod. FSRU brod je novoizgrađeno plovilo ili prenamijenjeni brod za prijevoz UPP-a opremljen jedinicama za uplinjavanje i svom potrebnom dodatnom opremom za prekrcaj, skladištenje i uplinjavanje UPP-a. Može se postaviti blizu obale, u blizini gatova, molova ili na pučini sigurno privezan za morsko dno (Bai i Jin, 2016). Metode uplinjavanja obično uključuju morsku vodu ili toplinu brodskih kotlova. U područjima gdje je ispuštanje morske vode ograničeno ili su temperature morske vode preniske, koriste se bojleri na brodu ili alternativni izvori grijanja u svrhu uplinjavanja. Na FSRU brodovima se zbog dostupnosti goriva i učinkovitog povrata topline iz ispušnih plinova turbine obično koriste plinske turbine. Za razliku od kopnenih terminala, FSRU brodovi imaju veće stope isparavanja plina, 0,1% volumena po danu u usporedbi s 0,05% za kopnene spremnike (Bai i Jin, 2016). Kako bi se smanjio gubitak prirodnog plina, ugrađuju se jedinice za ukapljivanje (engl. *Boil of gas* - BOG), koje hvataju ispareni plin (otparak), ukapljuju ga i vraćaju u spremnike.

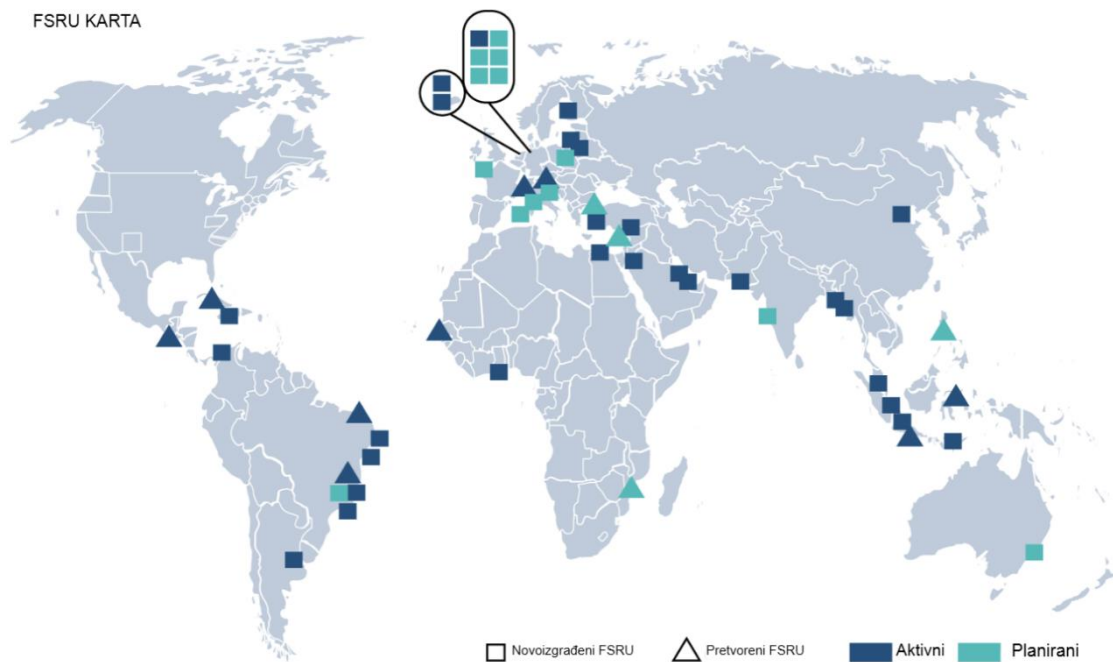
FSRU brodovi nude fleksibilnost, brže procese izdavanja dozvola i troškovne prednosti, što ih čini privlačnima novima tržištima. Koncept FSRU broda pojavio se 2005. godine, a 2011. godine već je bilo 9 FSRU brodova u svijetu, da bi krajem 2022. godine ta brojka porasla na 32. (IGU, 2023). Među tad postojećih 40 uvoznih tržišta, 20 ih je uvezilo UPP preko FSRU terminala. Od prvog tromjesječja 2023. postojala su 45 FSRU terminala s kapacitetom uplinjavanja od 177 milijuna tona godišnje, što predstavlja približno 18% svjetskog kapaciteta. Iako kopneni terminali još uvijek dominiraju, posljednjih godina instalira se sve više FSRU terminala. Početkom travnja 2023. godine u izgradnji je bilo 16 FSRU terminala (IGU, 2023). Kapitalni troškovi za nove prihvatne terminale posljednjih su godina znatno porasli. Tako je 2011. godine, cijena po toni za kopneni terminal za uplinjavanje iznosila otprilike 130 američkih dolara, a za FSRU je kapitalni trošak u

razdoblju od 2009. do 2011. godine bio veći od kopnenog terminala (EIA, 2011). Kapitalni troškovi su se značajno povećali u roku od 5 godina, pa su tako 2016. godine iznosili 334 američka dolara po toni za kopneni terminal, dok su se troškovi za FSRU smanjili na vrijednosti iz 2009. godine. Cijena izrade FSRU broda u 2023. godini kreće se iznad 300 milijuna američkih dolara. Unatoč tome što je FSRU terminal jeftinija verzija, operativni troškovi često su mu veći u odnosu na kopnene terminale. Slika 2-14. prikazuje lokacije FSRU terminala u svijetu.

Prema podacima Barry Rogliano Salles, nakon sukoba Rusije s Ukrajinom poduzete su brze mjere kako bi se pronašli alternativni izvori dobave plina za Europu. Europske vlade su ubrzano povećale kapacitete uplinjavanja, pri čemu se očekuje da će većina projekata biti operativna do 2025. godine. Više od 30 novih projekata, posebice u Njemačkoj i Grčkoj, usmjereno je upravo na FSRU brodove. Nizozemska je pokrenula ovaj trend 2022. godine puštanjem u rad dva FSRU-a u luci Eemshaven, dok je Njemačka iznajmila šest FSRU brodova na dulje razdoblje. Druge europske zemlje, uključujući Italiju, Grčku, Finsku i Francusku, također ulažu u FSRU projekte kako bi poboljšale svoje mogućnosti uvoza UPP-a.

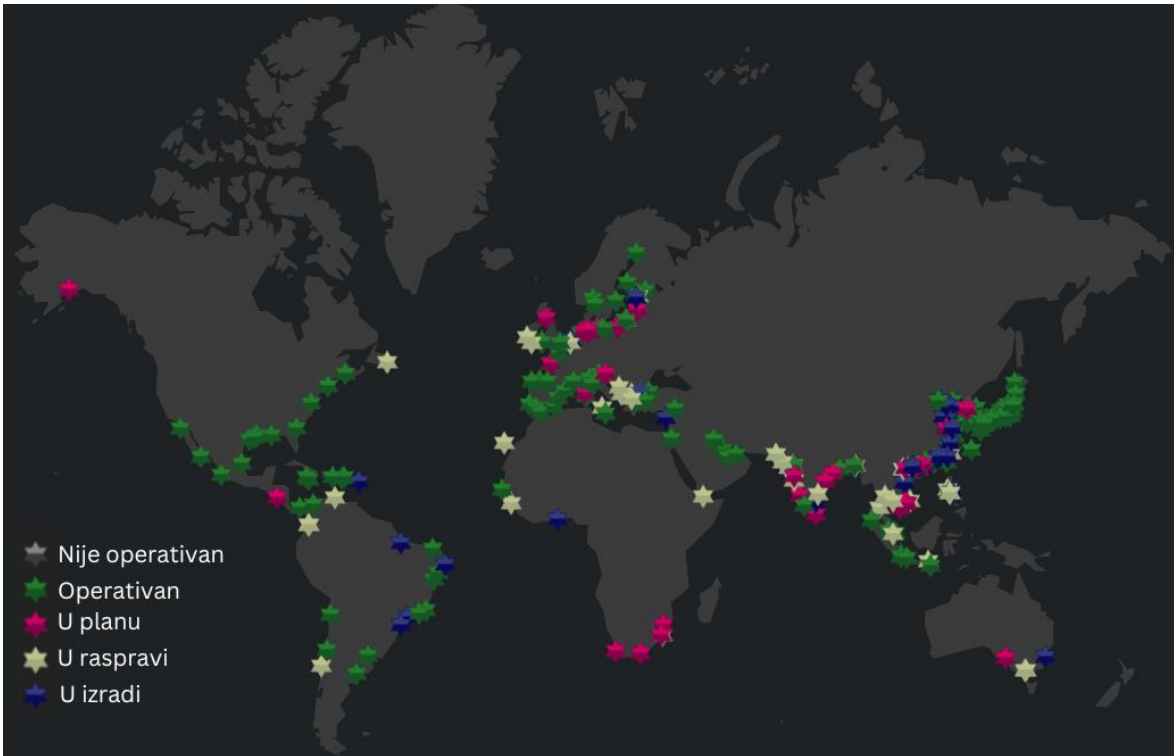


Slika 2-13. Usporedba kapaciteta za uplinjavanje po državama za pojedine godine (IGU, 2023)

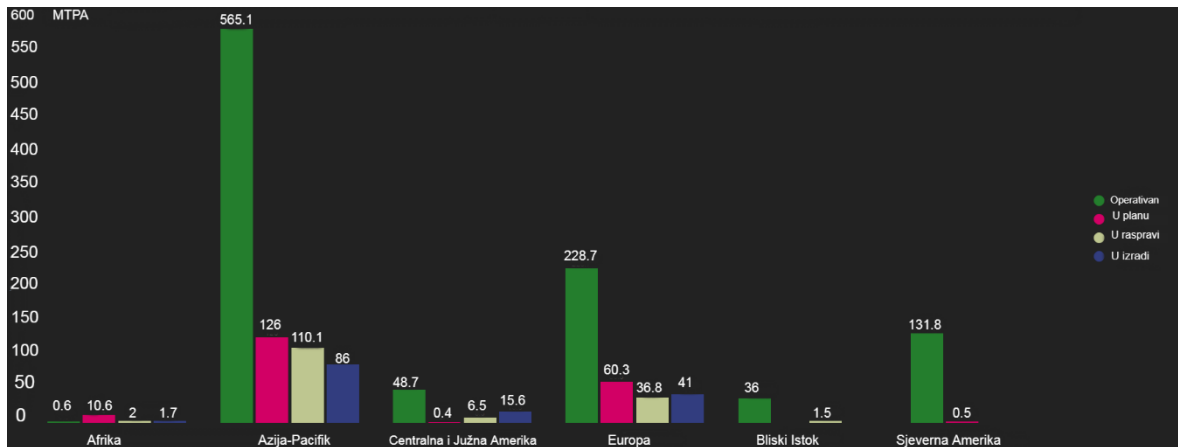


Slika 2-14. Lokacije svjetskih FSRU terminala (Barry Rogliano Salles, 2023)

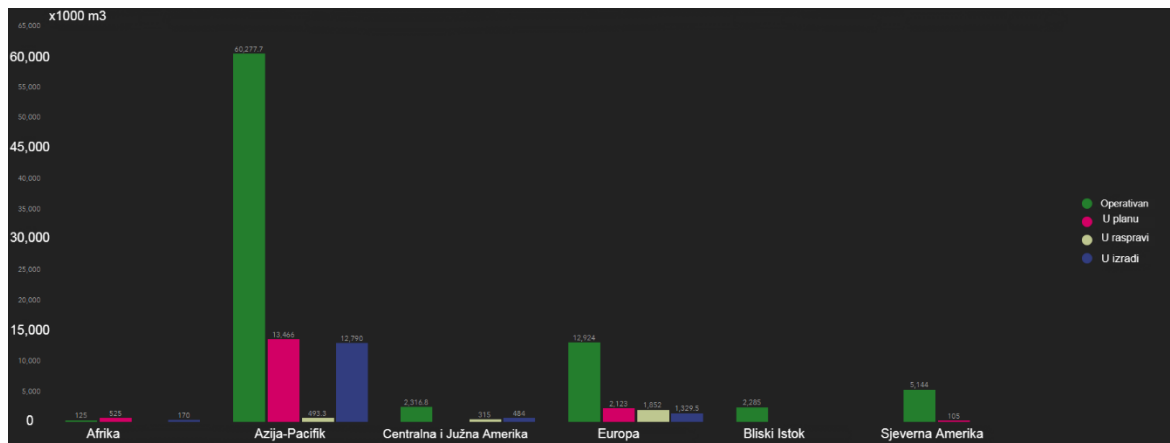
Slika 2-15. prikazuje kartu postojećih i potencijalnih terminala za uplinjavanje. Slika 2-16. prikazuje trenutne, potencijalne i buduće kapacitete terminala za uplinjavanje u izradi po regijama. Slika 2-17. prikazuje trenutne, potencijalne skladišne kapacitete po svjetskim regijama.



Slika 2-15. Lokacije svjetskih terminala za uplinjavanje (Rystad Energy, 2023)



Slika 2-16. Kapaciteti uplinjavanja za pojedine regije (Rystad Energy, 2023)



Slika 2-17. Skladišni kapaciteti za pojedine regije (Rystad Energy, 2023)

3. BRODOVI ZA TRANSPORT UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA

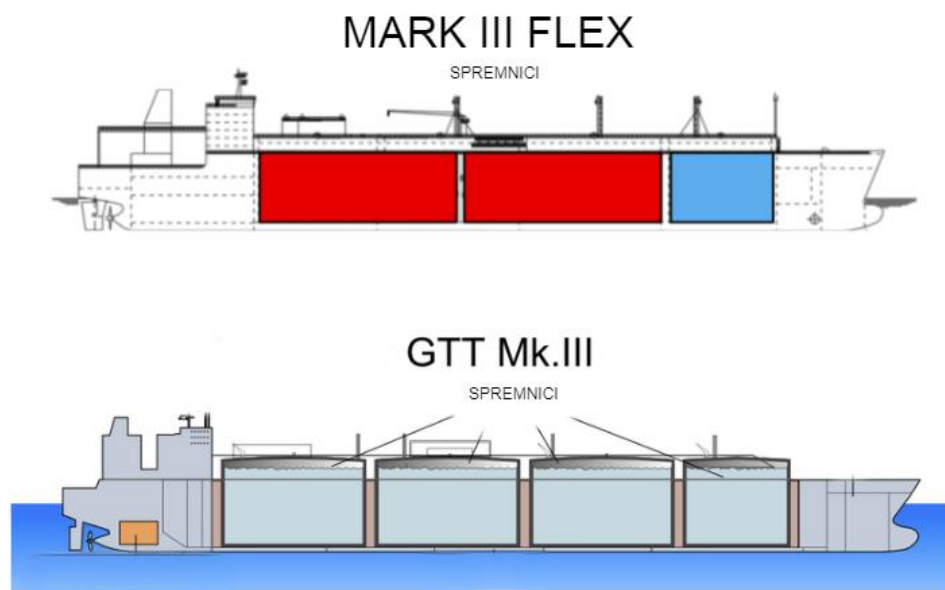
Brod za prijevoz ukapljenog prirodnog plina je specijalizirano plovilo dizajnirano za prijevoz ukapljenog prirodnog plina na temperaturi od približno -162°C (Bai i Jin, 2016). Konvencionalni UPP brod je brod s membranskim ili kuglastim (Moss spremnici), kapaciteta većeg od $125\,000\text{ m}^3$ i manjega od $180\,000\text{ m}^3$. Nekonvencionalni brodovi uključuju brodove serije Q (Q-Flex i Q-Max) i FSRU-ove. Tablica 3-1. prikazuje stanje flote u 2023. godini ovisno o tipu spremnika te s prednostima i nedostacima spremnika.

Tablica 3-1. Udio različitih spremnika na brodovima za prijevoz UPP-a s prednostima i nedostacima spremnika pojedinog tipa (Rystad Energy, 2023)

	Membranski	Samonosivi
Trenutačna flota	518	123
Trenutačni udio flote	81%	19%
Spremnik	GTT dizajn: MARK III, MARK III Flex, MARK III Flex+, NO96, NO96 Super+ CS1 Kogas dizajn: KC-1	Moss Maritime dizajn: Moss Rosenberg IHI - dizajn: SPB LNT Marine dizajn: LNT A-BOX
Prednosti	<ul style="list-style-type: none"> ·Prostorno učinkovit ·Tanak i lagan spremnik ·Veća učinkovitost goriva ·Manja visina komilarnice 	<ul style="list-style-type: none"> ·Otporniji u teškim uvjetima ·Mogući djelomičan utovar ·Brza izgradnja
Nedostaci	<ul style="list-style-type: none"> ·Djelomičan utovar ograničen ·Manje otporan u teškim uvjetima 	<ul style="list-style-type: none"> ·Sferični dizajn neučinkovito koristi prostor ·Sporije hlađenje ·Deblji, teži sustav spremnika

GTT, francuska tvrtka specijalizirana za sustave spremnika kod transporta i skladištenja UPP-a, je dobio načelna odobrenja od Det Norske Veritas i Bureau Veritas za svoj inovativni dizajn UPP broda s tri spremnika (GTT, 2022). Slika 3-1. prikazuje koncept novog GTT dizajna s tri spremnika u usporedbi s postojećim dizajnom. Ovo napredno rješenje ima za cilj smanjiti cijenu izrade broda i povećati njegove ukupne performanse. Koncept UPP broda s tri spremnika smanjuje troškove izgradnje eliminacijom jednog kućišta za spremnik, jednog gibljivog crijeva i povezane kriogene opreme kao što su kupole za

kapljevinu i plin, ventili, cjevovod i mjerači razine. Ovo također smanjuje površinu spremnika za otprilike 200 kvadratnih metara, što rezultira nižim troškovima materijala i izgradnje. Nadalje, poboljšani omjer između volumena transportiranog UPP-a i površine kriogene obloge omogućuje smanjenje dnevne količine isparavanja. GTT procjenjuje da će se primjenom tehnologije Mark III Flex postići količina isparavanja od svega 0,080% volumena spremnika dnevno, što je osjetno manje u odnosu na 0,085% volumena po danu kod brodova koji su trenutno uključeni u UPP flotu (GTT, 2022).



Slika 3-1. GTT-ov dizajn UPP broda s tri spremnika MARK III Flex u usporedbi s dosadašnjim konceptom rasporeda i broja spremnika (GTT, 2022)

Standardni ciklus transporta UPP-a odnosi se na utovar plina na terminalu za ukapljivanje, te transporta do i istovara ukapljenog prirodnog plina na postrojenju za uplinjavanje (Bai i Jin, 2016). Ciklus transporta započinje kada su spremnici broda u stanju „bez plina“, odnosno ispunjeni zrakom, što omogućuje održavanje spremnika i pumpi. Utovar tereta tj. UPP-a izravno u spremnike nije moguć jer bi kisik prisutan u njima s metanom stvorio eksplozivnu atmosferu, a brza promjena temperature uzrokovana utovarom UPP-a na -162°C mogla bi oštetiti spremnike (Mokhatab et al., 2014). Stoga se spremnici prvo moraju inertizirati kako bi se uklonio rizik od eksplozije. Da bi se to postiglo, postrojenje za inertni plin sagorijeva dizel kako bi proizveo ugljikov dioksid (CO_2), koji se zatim pumpa u spremnike, dok koncentracija kisika u njima ne padne ispod 4%. Nakon toga

brod pristaje na terminal za ukapljivanje kako bi utovario plin u spremnike i ohladio ih jer punjenje spremnika još uvijek nije moguće, budući da bi pokušaj izravnog utovara tereta mogao uzrokovati smrzavanje utisnutog CO₂, što bi dovelo do oštećenja pumpi.

Pritom se ukapljeni plin dovodi na brod i otprema kroz cjevovodom do primarnog isparivača, gdje se uplinjava. Taj se plin zatim zagrijava na približno 20° C u plinskim grijačima i potom ubrizgava u spremnike da istisne „inertni plin“ (Bai i Jin, 2016). Ovaj se proces nastavlja sve dok se sav CO₂ ne ukloni iz spremnika. U početku se inertni plin ispušta u atmosferu. Nakon što sadržaj metana u spremnicima dosegne 5% (što je donji raspon zapaljivosti metana), inertni plin se kroz sustav cjevovoda i razdjelnih spojeva preusmjerava pomoću kompresora na obalu. Sada je spremnik ispunjen metanom i ima višu temperaturu. Sljedeći korak je proces hlađenja. Ukapljeni prirodni plin se uvodi u spremnike kroz glave za raspršivanje, gdje isparava i hladi spremnik. Svaki višak isparenog plina ponovno se usmjerava na obalu radi ponovnog ukapljivanja ili spaljivanja na baklji. Kada spremnici dostignu temperaturu od približno -140° C, spremni su za utovar UPP-a. UPP se pumpa iz kopnenih skladišnih spremnika u brodske spremnike. Tipično, utovar se nastavlja sve dok se spremnici ne napune do oko 98,5% njihovog volumena, s preostalih slobodnih 1,5% koji dopuštaju prirodno širenje i skupljanje tereta zbog promjena temperature tijekom transporta. Nakon toga plovilo može isploviti do iskrcajne luke. Tijekom putovanja dolazi do isparavanja određene količine ukapljenog plina iz spremnika koji se, ovisno o dizajnu broda, može ili spaliti u kotlovima za stvaranje pare za pogon ili ponovno ukapljiti. Po dolasku u iskrcajnu luku, UPP se centrifugalnim pumpama prebacuje u spremnike na terminalu za uplinjavanje. Kako se spremnik na brodu prazni, prazan prostor u njemu se puni ili plinom koji se doprema s obale ili iz isparivača na brodu. Postoje dvije mogućnosti pražnjenja spremnika broda: ili se iz spremnika ispumpa što je više moguće ukapljenog plina, a preostali teret se ukloni pomoću pumpi za raspršivanje, ili se određena količina plina može zadržati u spremnicima na brodu. Ako se sav plin ispumpa u spremnike na terminalu, tijekom povratka broda njegovi će se spremnici postupno zagrijati do temperature okoline. Nakon toga, treba ih ponovno ohladiti u pripremi za utovar.

3.1. Pogonski sustavi UPP brodova

Zbog održavanja tlaka u spremniku UPP-a na razini atmosferskog, ispareni plin bi se ispuštao iz spremnika i tradicionalno koristio za pogon turbinskih pogonskih sustava, koji su bili pouzdani, ali ne i optimalni. Međutim, od početka 21. stoljeća ovi sustavi, posebno

dizajnirani za UPP brodove, doživjeli su značajne inovacije i poboljšanja, prvenstveno usmjerena na smanjenje troškova goriva tijekom transporta. Danas se prema podacima Mokhatab et al., (2014) za pogon brodova koriste sljedeći pogonski sustavi:

Parne turbine tradicionalno služe kao primarni pogonski sustav na starijim UPP brodovima. Najčešće dva kotla proizvode paru potrebnu za pogon parne turbine i ostalih brodskih sustava koji koriste paru, a koji mogu djelomično ili potpuno biti pogonjeni i teškim loživim uljem. Prednost ovog sustava je u tome što ne zahtijeva jedinicu za izgaranje plina, već se sav otparak iz spremnika može iskoristi u kotlovima. Zbog jednostavnog dizajna, troškovi rada i održavanja znatno su niži u usporedbi s drugim pogonskim sustavima. Nedostaci ovog sustava su niska toplinska učinkovitost i mala izlazna snaga. Uz to, najveći UPP brodovi zahtijevaju više snage nego što ovaj sustav omogućava.

Dvo-gorivni dizel električni sustav (engl. *Dual-Fuel Diesel Electric – DFDE*) - pogonski sustav koji može sagorijevati i dizel i ispareni plin (otparak), nudeći znatno poboljšanje učinkovitosti broda (potrošnja goriva i performanse), od približno 25-30% u odnosu na parne turbine. DFDE sustavi imaju električnu propulziju koju pokreću dizelski motori na dva goriva. U plinskom načinu rada, ovi motori rade na niskotlačni prirodni plin s malom količinom dizela koji se koristi kao tekuća iskra. Operatori, prema potrebi, imaju mogućnost prebacivanja na tradicionalni brodski dizel. Međutim, ovi sustavi zahtijevaju dodatnu opremu, kao što je jedinica za izgaranje plina koja upravlja viškom isparenog plina što je razlikuje od parne propulzije. Jedinica za izgaranje plina je neophodna za ispareni plin kada je potrebno, kao i za sigurno odlaganje zaostalog plina iz spremnika tereta. Ugradnja ove dodatne opreme povećava zahtjeve za održavanjem motora.

Tro-gorivni dizel električni sustav (engl. *Tri-Fuel Diesel Electric – TFDE*) predstavlja poboljšanje DFDE sustava, a sposoban je sagorijevati teško loživo ulje, dizel i plin. Brodovi s ovim pogonskim sustavom omogućuju povećanu operativnu fleksibilnost i sposobnost optimizacije učinkovitosti (potrošnja goriva) pri različitim brzinama.

Sporohodni dizelski motor (engl. *Slow-Speed Diesel - SSD*) je pogonski sustav s postrojenjem za ponovno ukapljivanje isparenog plina, umjesto korištenja isparenog plina za pogon ili proizvodnju električne energije. Ove brodove pokreću konvencionalni dizelski motori koji koriste generatore na teško loživo ulje ili brodsko dizelsko gorivo. Ključna značajka ovog sustava je da se ponovo ukapljuje sav ispareni plin i vraća se u spremnike. Dodatna jedinica za izgaranje plina dostupna je za spaljivanje isparenog plina kada je to

potrebno. Ovaj pristup omogućuje transport UPP-a bez gubitka plina, što može biti prednost, posebno kada je korištenje lož ulja ili dizela isplativije od korištenja isparenog plina kao pogonskog goriva.

M-tip, elektronički kontrolirani motor s ubrizgavanjem plina, je inovacija u dizajnu motora brodova za prijevoz UPP-a, poznat još i kao ME-GI. Ovi motori su visokotlačni, sporohodni motori s ubrizgavanjem plina, koji mogu raditi ili na ispareni plin ili na loživo ulje kada je to potrebno. Ova fleksibilnost omogućuje učinkovitiju ekonomsku optimizaciju u bilo kojem trenutku. Brod kapaciteta od 170 000 kubičnih metara s M-tipom pogona, kada radi u plinskom načinu rada i plovi projektiranom brzinom, troši približno 15-20% manje goriva nego sličan brod s TFDE pogonskim sustavom. Nova varijanta pogonskog sustava ME-GA, izvedena je iz ME-GI i posebno je dizajnirana za UPP brodove. Radi na principu Ottovog termodinamičkog ciklusa, omogućujući niži tlak opskrbe plinom i poboljšano korištenje isparenog plina kao goriva. U odnosu na ME-GI, učinkovitiji je i ima niže emisije NO_x spojeva.

MAN Energy Solutions je predstavio već spomenuti ME-GA motor s dva goriva, zajedno s rješenjem za recirkulaciju ispušnih plinova. ME-GA motor radi na principu Ottovog ciklusa, propuštajući metan tijekom kompresije, što omogućuje niži tlak u usporedbi s ME-GI motorima. Ta značajka je posebno korisna za UPP brodove s velikom količinom isparenog plina gdje potencijalno smanjuje investicijske troškove za kompresore goriva. Konfiguracija recirkulacije ispušnih plinova na motoru ME-GA nudi višestruke prednosti: poboljšane karakteristike performansi motora, optimizaciju učinkovitosti motora u načinu rada s loživim uljem, smanjenje emisije NO_x spojeva i smanjenje propuštanja metana. Nadalje, sustav recirkulacije ispušnih plinova smanjuje toplinsko opterećenje komponenti komore za izgaranje.

Wartsila niskotlačni dvotaktni motor, predstavljen 2014. godine, temelji se na principu izgaranja goriva s viškom zraka unutar motora na unutarnje izgaranje. Gorivo i zrak prethodno se miješaju i izgaraju pri relativno visokom omjeru. Plin se umiješa u zrak pri sredini hoda klipa unutar cilindra, a na kraju kompresije, mješavina se potpali pilot gorivom u količini od 1% potrošnje goriva pri punom opterećenju (Wärtsilä, 2015). Značajni dobici postižu se eliminacijom potrebe za visokotlačnim sustavom kompresije plina.

Winterthur benzin i dizel (WinGD) X-DF motor sagorijeva mješavinu goriva i zraka pri visokom omjeru zraka u odnosu na gorivo i ubrizgavanjem pri niskom tlaku u Ottovom

termodinamičkom ciklusu (Winterthur Gas & Diesel, 2017). U usporedbi s ME-GI, X-DF motor ističe se u sigurnosti i niskim emisijama dušika bez potrebe za naknadnom obradom. Međutim, ME-GI nudi nešto nižu potrošnju goriva i bolji dinamički odziv. WinGD je 2020. godine izbacio na tržište motor X-DF druge generacije, koji recikliranjem ispušnih plinova smanjuje ispuštanje metana za pola i poboljšava učinkovitost goriva za 3-5%.

Ostale inovacije podrazumijevaju dizajn motora s ponovnim zagrijavanjem pare. Ovaj dizajn koristi ciklus ponovnog zagrijavanja, gdje se para koja se koristi u turbini ponovno zagrijava radi poboljšavanja učinkovitosti. Ovo poboljšanje održava prednosti jednostavnog sustava parne turbine, dok povećava učinkovitost motora. S ciljem daljnjeg smanjenja emisija pogonskih sustava razvija se i nekoliko inovativnih rješenja koja uključuju plinsku turbinu na čisti vodik, hibridni motor pogonjen ukapljenim plinom i vodikom i otparak kao gorivo.

Plinska turbina na vodik

GE Gas Power i Shell Global Solutions udružili su snage kako bi istražili potencijal vodika kao goriva za plinske turbine, s ciljem smanjena emisija stakleničkih plinova i rješavanja problema klimatskih promjena (GE Gas Power, 2022). U studenom 2022. godine potpisali su sporazum o smanjenju ugljikovog otiska na Shellovim terminalima za ukapljivanje i uplinjavanje prirodnog plina diljem svijeta. Ova suradnja fokusirana je na dva ključna cilja: korištenje GE-ovih plinskih turbina klase B&E za teške uvjete rada, koje mogu raditi na čisti vodik s niskim emisijama NO_x-a i minimalnom potrošnjom vode i razvoj nove DLN tehnologije izgaranja koja omogućuje plinskim turbinama rad na čisti vodik bez vode uz održavanje niskih emisija spojeva NO_x. Plinske turbine B&E mogu koristiti različita goriva poput prirodnog plina, sintetičkog plina i vodika, što ih čini pouzdanima za proizvodnju energije u proizvodnji UPP-a i drugim primjenama. DLN tehnologija sagorijevanja je inovativno rješenje koje se može naknadno ugraditi na postojeće plinske turbine kako bi se dekarbonizirala proizvodnja UPP-a i proizvodnja električne energije.

UPP/vodik hibridni motor

Prema The Maritime Executive (2022), Hyundai Heavy Industries Group, tvrtka za brodogradnju u Koreji, razvila je i testirala prvi UPP/vodik hibridni motor. Motor nazvan HiMSEN može koristiti i ukapljeni prirodni plin (UPP) i vodik kao gorivo, čime se smanjuju emisije štetnih plinova poput sumpornih oksida, dušikovih oksida, ugljičnog dioksida i fine prašine. Motor ima izlaznu snagu od 1,5 MW i zadovoljava IMO-ov Tier 3 standard, najviši stupanj za regulaciju dušikovog oksida. Motor može ponovno koristiti ispareni vodikov plin

koji se stvara tijekom transportnog procesa kao gorivo, minimizirajući gubitak vodika. Očekuje se da će hibridni motor imati širok raspon primjene u raznim područjima, kao što su pogon brodova, proizvodnja električne energije na kopnu i industrijska postrojenja. Hyundai Heavy Industries Group planira nastaviti s istraživanjem i razvojem LNG/vodikovih hibridnih motora. Grupa ima za cilj razviti motor na vodik do 2025. godine.

Otparak kao gorivo

Samsung Heavy Industries, tvrtka za brodogradnju i pomorski inženjering u Koreji, razvila je i testirala sustav povrata isparenog plina za LNG brodove (LNGPRIME, 2022). Sustav, nazvan BReS, hvata plin koji isparava iz spremnika goriva i ponovno ga koristi kao gorivo, smanjujući potrošnju goriva i emisije ugljikovog dioksida. BReS koristi tehnologiju izmjene topline koja za ukapljivanje isparenog plina umjesto visokotlačnog kompresora koristi „hladnoću“ iz UPP-a. Time se smanjuju investicijski troškovi i postiže nulta emisija ugljikovog dioksida. BReS zadovoljava IMO-ov Tier 3 standard za regulaciju dušikovog oksida i dobio je odobrenje za primjenu od American Bureau of Shipping klasifikacijskog društva.

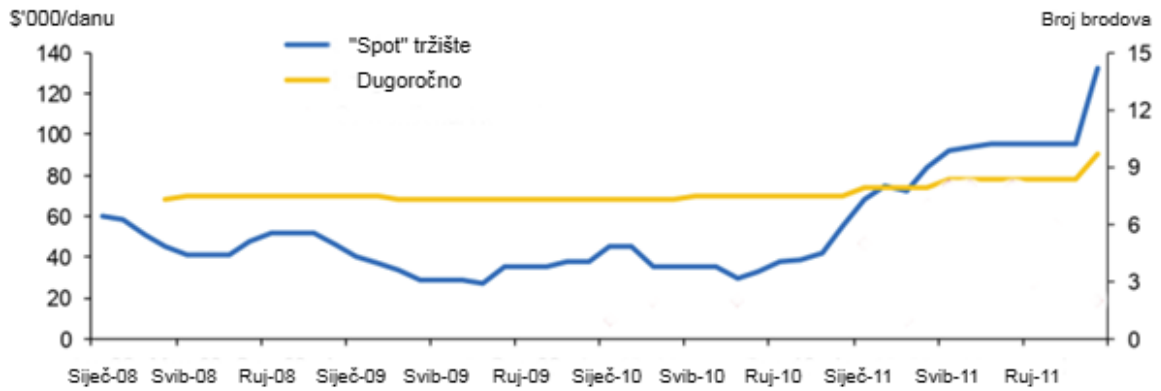
3.2. Karakteristike flote za prijevoz ukapljenog prirodnog plina

Prema podacima Međunarodnog plinskog udruženja (engl. *International Gas Union* - IGU), Međunarodnog udruženja uvoznika ukapljenog prirodnog plina (engl. *International Group of Liquefied Natural Gas Importers* - GIIGNL) i Američke energetske informacijske administracije (engl. *U.S Energy Information Administration- EIA*), krajem 2011. godine svjetska flota sastojala se od 360 brodova različitih tipova ukupnog kapaciteta preko 50 milijuna kubičnih metara, što je u odnosu na 2006. godinu povećanje od 150%. Krajem 2011. godine oko 60% ukupne svjetske flote činili su brodovi prosječne zapremnine od 147 951 m³, a prosječna starost svjetske flote bila je približno 11 godina. Cijene najma broda na spot tržištu iznosile su oko 78 000 američkih dolara po danu, da bi krajem godine došlo do povećanja na 130 000 američkih dolara po danu. Osim porasta cijena najma na spot tržištu, došlo je i do porasta cijena dugoročnog najma čija je cijena bila ispod 80 000 američkih dolara po danu. Zbog sve veće razlike u cijenama između dugoročnog i kratkoročnog najma i povećanja potražnje došlo je do porasta broja narudžbi za isporuku novih brodova za UPP. Krajem 2016. godine broj UPP brodova povećao se na 439, dok je prosječna zapremina broda iznosila 168 000 m³. Te iste godine dovršeno je i proširenje Panamskog kanala, što je

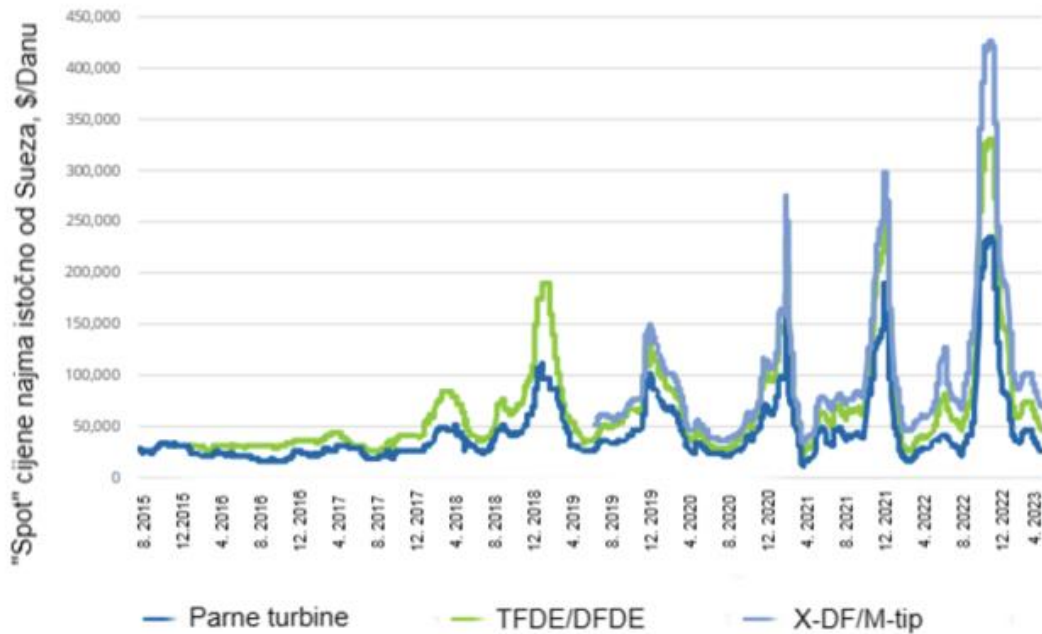
omogućilo prolazak 91% flote kroz njega. Krajem 2016. godine preko polovice flote bilo je mlađe od 10 godina, što je rezultat porasta narudžbi za izradu brodova iz 2011. godine. Zbog toga su se smanjile cijene najma u odnosu na 2011. godinu. Cijena najma na spot tržištu 2016. godine za brodove pogonskog sustava TFDE/DFDE iznosila je 34 000 američkih dolara po danu, dok su cijene dugoročnog najma ostale stabilne na ispod 80 000 američkih dolara (IGU, 2017). Još početkom 2000-ih prosječni troškovi UPP broda po kubnom metru ostali su relativno stabilni, no od 2014. godine bilježi se brzi rast potražnje za brodovima novijeg pogona, posebice onih s TFDE pogonom. Porasla je i potražnja za ledolomcima, što je u jednom trenutku dovelo do povećanja troškova izgradnje plovila s 1300 američkih dolara po kubičnom metru na 1770 američkih dolara po kubičnom metru. Unatoč tome, povećanjem konkurencije i smanjenjem cijena izrade brodova u korejskim brodogradilištima, cijena za TFDE je u 2016. godini iznosila 1092 američka dolara po kubičnom metru. Svjetska UPP flota narasla je 2020. godine na 572 aktivna broda od kojih je 37 bilo FSRU brodova (IGU, 2021). Gotovo svi isporučeni brodovi imali su kapacitet između 170 000 m³ i 180 000 m³, što pokazuje kako je u razmaku od 10 godina prosječni kapacitet broda za prijevoz UPP-a porastao za približno 30 000 m³. UPP flota je i dalje bila relativno mlada sa samo 11 tada aktivnih brodova starijih od 30 godina. U 2020. godini prvi put je isporučeno više brodova s X-DF pogonskim sustavom od bilo kojeg drugog tipa. Najveći proizvođači UPP brodova bili su Hyundai Heavy Industries, Samsung Heavy Industries i Daewoo Shipbuilding (IGU, 2021). Noviji pogonski sustavi kao što su X-DF i M-tip, imaju manju potrošnju goriva, što pridonosi razlici u cijenama izgradnje i najma. Početkom 2011. godine rast flote bio je uravnotežen s rastom kapaciteta za ukapljivanje, što je rezultiralo stabilnim tržištem iznajmljivanja. U roku od dvije godine i nadalje, isporuke brodova nadmašile su rast kapaciteta za ukapljivanje što je dovelo do viška UPP kapaciteta za otpremu i pada cijena najma (EIA, 2011). Cijene najma donekle su bile stabilne sve do kraja 2018. godine kada je uslijedio snažan rast, da bi ponovno pale tijekom 2020. zbog utjecaja Covid-19 na svjetsku potražnju za UPP-om. Usporedbe radi, cijene dnevnog najma krajem 2020. godine iznosile su 105 000 američkih dolara za parne turbine, 150 000 američkih dolara za TFDE brodove i 165 000 američkih dolara za X-DF/M-tip brodove. Svjetska UPP flota nastavila je rasti, pa je tako krajem prvog tromjesječja 2022. godine brojila 641 aktivnih UPP brodova što je povećanje od 10% u odnosu na godinu prije (IGU, 2023). Zbog velike potražnje u Aziji i kašnjenja radova u Panamskom kanalu, na zimu 2021. godine cijene najma dosegle su vrhunac. Cijena najma za brodove s parnim turbinama iznosila je 190 000 američkih dolara dnevno, za TFDE/DFDE brodove 255 000 američkih dolara dnevno, a za X-DF/M-tip

brodove 290 000 američkih dolara dnevno. Koliko je tržište dinamično, koliko ovisi o godišnjem dobu i potražnji, pokazuje činjenica kako su te iste godine u ožujku cijene bile na povijesno niskim razinama. Krajem prvog tromjesječja 2023. godine svjetska UPP flota brojala je 668 aktivnih brodova, što je rast od 4% na godišnjoj razini. Ovakvo širenje može se pripisati i povećanom uvozu UPP-a u Europu. Od svih isporučenih brodova u 2023. godini, većina je bila onih pogodnih za duge plovidbe odnosno s kapacitetom između 170 000 i 200 000 m³ (IGU, 2023). X-DF pogonski sustavi i dalje dominiraju tržištem, a 2023. označava i prvu godinu uvođenja novog pogonskog sustava ME-GA za koji se očekuje da bi u budućnosti mogao konkurirati X-DF sustavu.

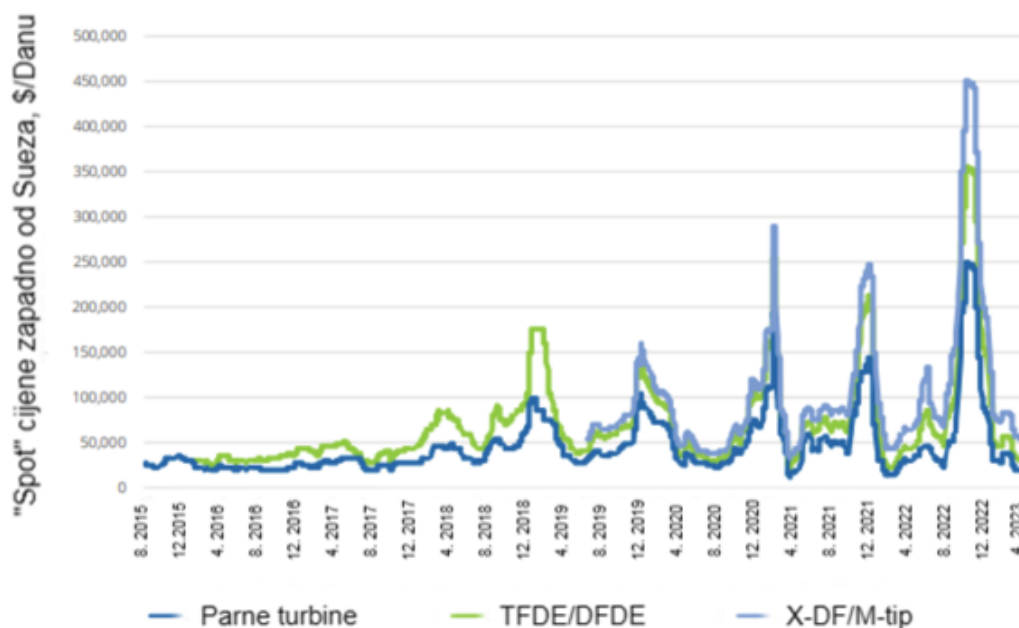
Uz tri najveća brodogradilišta, na tržište je ušlo i mnogo manjih kineskih brodogradilišta što potencijalno može pozitivno utjecati na cijenu brodova u budućnosti. Krajem 2022. godine cijene najma dosegle su rekordan iznos, pa je tako cijena najma za brodove s parnim turbinama iznosila 250 000 američkih dolara dnevno, za TFDE/DFDE brodove 355 000 američkih dolara dnevno, a za X-DF/M-tip brodove čak 450 000 američkih dolara dnevno (IGU, 2023). Cijena izrade UPP broda koja osim o kapacitetu ovisi i o pogonskom sustavu, kroz sve referente godine se kretala između 1100 do 1300 američkih dolara po kubičnom metru, jedino je cijena za ledolomce bila veća (1700 američkih dolara po kubičnom metru). Uz svu tržišnu dinamiku, prilike i neprilike, većina se novih UPP brodova kroz analizirano razdoblje od 10 godina isporučivala unutar vremenskog okvira od 30 do 50 mjeseci. Razdoblje se može povećati pojavom novijeg pogonskog sustava čija implementacija može uzrokovati kašnjenje. Projekcije su da će se zbog sve većih zahtjeva dekarbonizacije industrije, inovacijskih pogonskih sustava i sve većeg broja narudžbi, vremenski okvir isporuke za UPP brodove u budućnosti produljiti. Slika 3-2. prikazuje dugoročne i spot cijene najma na tržištu u razdoblju od početka 2008. godine do rujna 2011. godine. Slike 3-3. i 3-4. prikazuju cijene najma na spot tržištu u razdoblju od 2015. godine do kraja prvog tromjesječja 2023. godine za tržišta istočno i zapadno od Sueza. Iz slika se može zaključiti kako su cijene na spot tržištu izrazito volatilne i u ovisnosti su o godišnjem dobu dok su dugoročni ugovori najma stabilnija opcija.



Slika 3-2. Dugoročne i spot cijene najma brodova u razdoblju od siječnja 2008. godine do rujna 2011. godine (IGU, 2012)



Slika 3-3. Cijene najma na spot tržištu u razdoblju od 2015. godine do kraja prvog tromjesječja 2023. godine, istočno od Sueza (IGU, 2023)



Slika 3-4. Cijene najma na spot tržištu u razdoblju od 2015. godine do kraja prvog tromjesječja 2023. godine, zapadno od Sueza (IGU, 2023)

3.3 UPP bunkering

UPP se može koristiti kao gorivo u željezničkom, cestovnom i brodskom prijevozu. Punjenje brodskih spremnika UPP-om naziva se bunkering (Lundevall Arnet, 2013.) Sve stroži propisi o zaštiti okoliša na svjetskoj i regionalnoj razini prisiljavaju vlasnike brodova da istraže mogućnosti korištenja čistijeg pogonskog goriva. Počevši od siječnja 2020. godine, Međunarodna Pomorska Organizacija (engl. *International Maritime Organization* – IMO) nametnula je novo ograničenje udjela sumpora u brodskom gorivu, ograničivši ga na 0,5%. Uz to, organizacija je odredila da su određena područja kao što je u Europi Sjeverno more i dijelovi Sjeverne Amerike (SAD i Kanada) područja kontrole emisija u kojima je zabranjeno više od 0,1% sadržaja sumpora. Osim toga, od 2025. godine Sredozemno more također će postati područje s kontrolom emisija (International Maritime Organization [IMO], 2020). Ova stroža ograničenja sadržaja sumpora potaknula su izradu brodova na UPP pogon, koji gotovo ne ispuštaju sumporne okside. Da bi se to postiglo, brodovi se opremaju novim sustavima ili se prenamjenjuju, a razvija se i potrebna infrastruktura za opskrbu gorivom.

U 2022. godini svjetska aktivnost UPP bunkeringa opala je zbog nižih cijena goriva na bazi nafte, što je potaknulo brodove koji za pogon koriste dva goriva da se prebace na lož

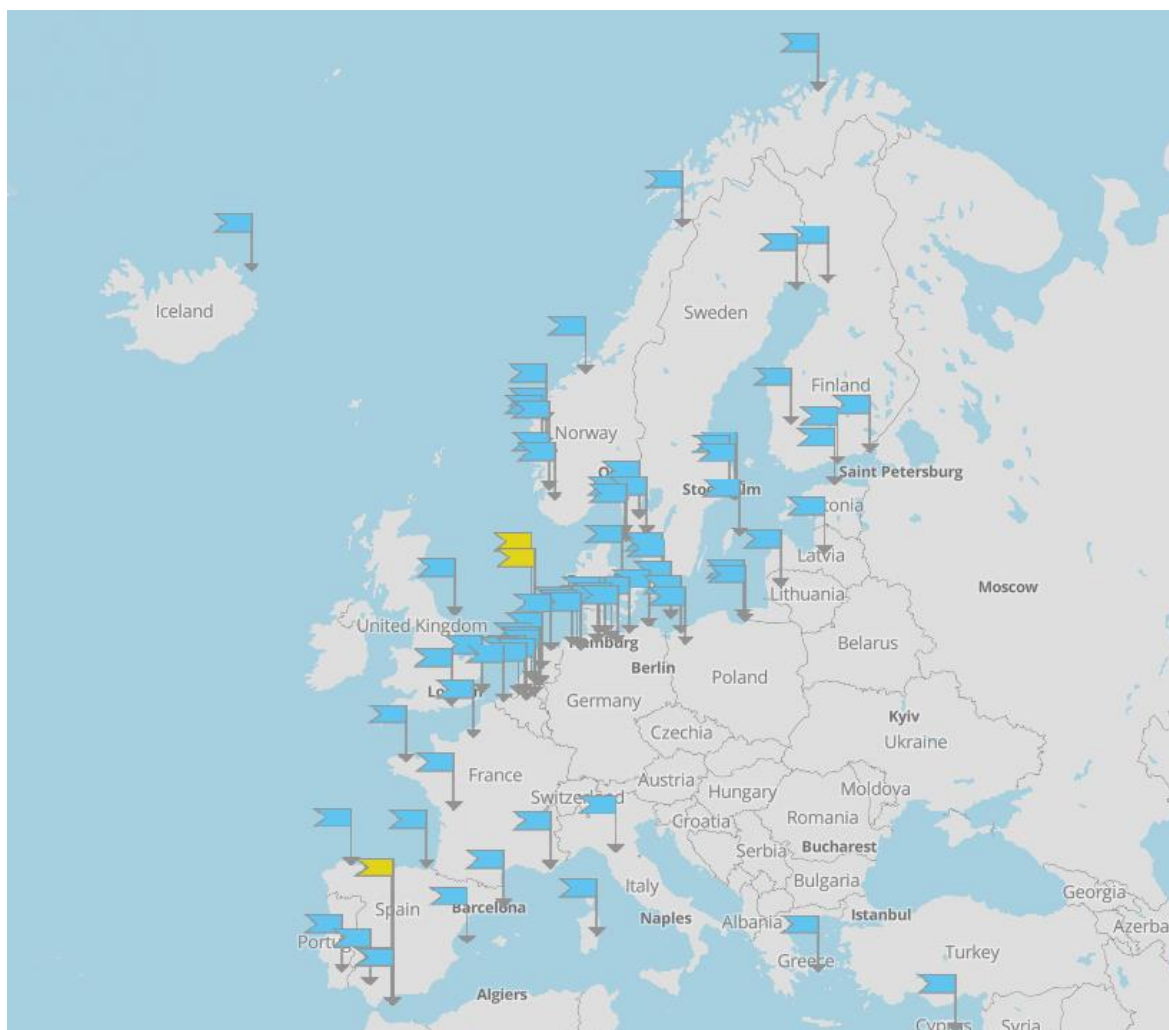
ulje. Međutim, početkom 2023. godine cijene UPP-a ponovno su postale konkurentne lož ulju. Dugoročni izgledi za UPP bunkering i dalje su dobri, potaknuti sve većom upotrebom brodova s pogonom na UPP i povećanim naporima za dekarbonizaciju. Strogi propisi, kao što su indeks energetske učinkovitosti postojećih brodova (engl. *Energy Efficiency Existing Ship Indeks* - EEXI) i intenzitet ugljika broda (engl. *Carbon Intensity Indicator* -CII), tjeraju operatore brodova da poboljšaju svoju energetska učinkovitost i prijave emisije. To je dovelo do razvoja učinkovitog lanca opskrbe UPP-om i povezane infrastrukture za skladištenje goriva, podržavajući izgradnju brodova s pogonom na UPP (Alam et al., 2023). U 2020. godini Azijsko-pacifička regija počela je širiti svoje kapacitete UPP bunkeringa. Japanska Kaguya i malezijski Avenir Advantage bili su prvi operativni bunkering brodovi u regiji. Kaguya, s kapacitetom od 3500 kubičnih metara, provela je prvu japansku operaciju UPP bunkeringa u listopadu 2020. Slično, u Maleziji, Avenir Advantage od 7500 kubičnih metara započeo je UPP bunkering operacije u istom mjesecu, opskrbljujući UPP-om male kupce. Singapurski FueLNG Bellina, treći operativni UPP bunkering brod u regiji, isporučen je početkom 2021. godine, označavajući ulazak Singapura u UPP bunkering operacije. Kina se također pridružila tržištu UPP bunkeringa s Avenir Allegianceom, koji je postao prvi aktivni kineski UPP bunkering brod 2022. godine. Dva novoizgrađena UPP bunkering broda dodana su Azijsko-pacifičkoj floti: Xin Ao Pu Tuo Hao u Kini i K LNG Dream u Južnoj Koreji. Kina je razvila kopnene stanice za punjenje UPP-a kako bi olakšala operacije punjenja riječnih brodova s kamiona na brod kao dio svog petogodišnjeg plana. Izvan Azije, Korea Line je preuzela bunkering brod K. Lotus (18 000 kubičnih metara), koji bi trebao raditi pod Shellovim najmom u luci Rotterdam. Od travnja 2023. godine, svjetska operativna flota UPP bunkeringa i malih brodova sastoji se od 35 jedinica, uključujući brodove i teglenice na vlastiti pogon te barže. Dok se flota za UPP bunkering širi u Aziji i Sjevernoj Americi, većina brodova još uvijek se nalazi u Europi (IGU, 2023). Većina aktivnih brodova za opskrbu gorivom isporučena je u proteklih pet godina, a razlikuju se po veličini. Na Slici 3-5. nalazi se popis UPP bunkering brodova u svijetu s pripadajućim kapacitetom.

Referentni broj	Tržište	Naziv broda	Početak plovidbe	UPP Spremnik Kapacitet (m3)	Koncept
1	Sjeverna Europa	Pioneer Knutsen	2004	1,100	malih razmjera/ podržava bunkering
2	Švedska	Seagas	2013	187	Bunkering brod
3	Europa	Coral Energy	2013	15,600	malih razmjera/ podržava bunkering
4	Belgija	Green Zeebrugge	2017	5,000	Bunkering brod
5	Sjeverna Europa	Coralius	2017	5,800	Bunkering brod
6	Nizozemska	New Frontier 1 (ex-Cardissa)	2017	6,500	Bunkering brod
7	Španjolska	Oizmendi	2017	660	Bunkering brod
8	Španjolska	Bunker Breeze	2018	1,200	FO/DO bunkering brod
9	SAD	Clean Jacksonville	2018	2,200	Bunkering barža
10	Europa	Coral Methane	2018	7,500	malih razmjera/ podržava bunkering
11	Sjeverna Europa	Coral EnergICE	2018	18,000	malih razmjera/ podržava bunkering
12	Sjeverna Europa	Kairos	2018	7,500	Bunkering brod
13	Nizozemska	LNG London	2019	3,000	Bunkering brod
14	Sjeverna Europa	Coral Fraseri	2019	10,000	malih razmjera/ podržava bunkering
15	Nizozemska	FlexFueler 001	2019	1,480	Bunkering barža
16	Belgija	FlexFueler 002	2020	1,480	Bunkering barža
17	Malezija	Avenir Advantage	2020	7,500	Bunkering brod
18	Južna Koreja	SM Jeju LNG2	2020	7,500	Bunkering brod
19	Nizozemska	Gas Agility	2020	18,600	Bunkering brod
22	Japan	Kaguya	2020	3,500	Bunkering brod
20	SAD	Q-LNG ATB 4000	2021	4,000	Bunkering barža
21	Norveška	Bergen LNG	2021	850	Bunkering brod
23	SAD	Clean Canaveral	2021	5,000	Bunkering brod
24	Ruski Baltik	Dmitry Mendeleev	2021	5,800	Bunkering brod
25	Sjeverna Europa	LNG Optimus	2021	6,000	Bunkering brod
26	Brazil	Avenir Accolade	2021	7,500	Bunkering brod
27	Sjeverna Europa	Avenir Aspiration	2021	7,500	Bunkering brod
28	Singapur	FueLNG Bellina	2021	7,500	Bunkering brod
29	Francuska	Gas Vitality	2021	18,600	Bunkering brod
30	Južna Koreja	K LNG Dream	2022	500	Bunkering brod
31	Španjolska	Haugesund Knutsen	2022	5,000	Bunkering brod
32	Kina	Xin Ao Pu Tuo Hao	2022	8,500	Bunkering brod
33	Nizozemska	K. Lotus	2022	18,000	Bunkering brod
34	Kina	Hai Gang Wei Lai (ex-Avenir Allegiance)	2021	20,000	Bunkering brod
35	Kina	Hai Yang Shi You 301	2022	30,000	malih razmjera/ podržava bunkering

Slika 3-5. Popis UPP bunkering brodova (IGU, 2023)

Luke i terminali diljem svijeta proširuju i prilagođavaju svoje objekte kako bi zadovoljili sve veću potražnju za uslugama UPP bunkeringa. Ovi objekti, često smješteni u regijama sa strogim propisima o emisijama i u blizini terminala za uvoz UPP-a, podržavaju

distribuciju UPP-a kao goriva za brodove. Za UPP bunkering koriste se različite metode, a najčešća je zbog svoje isplativosti i minimalnih infrastrukturnih zahtjeva, metoda kamion-brod (Mokhatab et al., 2014). Međutim, ova metoda ima ograničenja u pogledu protoka, što je čini prikladnom za manje brodove koji za pogon koriste UPP. Metode bunkeringa brod – brod i obala – brod karakteriziraju veći skladišni kapaciteti i veće dobave UPP-a, ali zahtijevaju značajna kapitalna ulaganja u bunkering brodove, spremnike za skladištenje i specijaliziranu opremu (Mokhatab et al., 2014). Europa, posebice regije Sjevernog i Baltičkog mora, svjedočila je značajnom povećanju broja malih UPP terminala i luka, koji su se proširili 2010. godine i kasnije (Slika 3-6.). Mnogi UPP terminali velikih razmjera također nude usluge bunkeringa i punjenja u kamione, podržavajući isporuku UPP-a u obližnje luke putem bunkeriranja s kamiona na brod. Sličan razvoj događa se i u drugim dijelovima svijeta, poput Azije i Sjeverne Amerike. U Azijsko-pacifičkoj regiji, zemlje poput Singapura, Japana, Kine i Južne Koreje ulažu u infrastrukturu za skladištenje UPP-a, što ukazuje na povećanu potražnju za UPP-om kao brodskim gorivom (IGU, 2023). Singapur je svoju luku opremio opremom koja omogućuje punjenje goriva s kamiona na brod i postigao je znatan broj operacija punjenja goriva. Japan također u svojim lukama nudi bunkeriranje s kamiona na brod i planira uvesti bunkeriranje s broda na brod. Južna Koreja u luci Incheon osigurava bunkering kamion-brod i infrastrukturu za bunkeriranje brod-brod u Tongyeongu. Kina nudi usluge bunkeringa s broda na brod u Šangaju i Shenzhenu.



Slika 3-6. Lokacije europskih brod-brod i kamion-brod bunkering luka (Sea-Lng, 2024)

Sjedinjene Države također postaju značajan igrač na tržištu UPP bunkeringa, s operacijama uglavnom u lukama na Floridi i Los Angelesu. Jacksonville, Port Fourchon i Port Canaveral nude različite usluge bunkeringa i imaju ambiciozne planove. Dodatno, norveška tvrtka Kanfer istražuje projekte UPP bunkeringa na ključnim vodenim putovima, uključujući Sueski i Panamski kanal. U Latinskoj Americi i na Karibima razvoj male UPP infrastrukture podupire dekarbonizaciju pomorstva. Eagle LNG proširuje svoje postrojenje u Jacksonvilleu na Floridi kako bi olakšao opskrbu UPP gorivom i dostavu diljem Kariba, dok je broderska tvrtka Zim dovršila svoju prvu operaciju punjenja UPP-om na terminalu Kingston Freeport na Jamajci. Općenito, globalni naponi za proširenje i poboljšanje infrastrukture za skladištenje UPP-a odražavaju sve veće prihvaćanje UPP-a kao čistijeg brodskog goriva.

4. ZAKLJUČAK

Razvoj UPP industrije posljednjih desetak godina obilježen je značajnim razvojem i promjenama kako u svjetskom energetsom okruženju, tako i u trgovini ukapljenim prirodnim plinom. Ovaj rad daje pregled ključnih trendova i dinamike unutar UPP sektora za razdoblje od 2011. do 2022. godine. Kroz posljednjih deset godina UPP je postao vitalna komponenta svjetske energetike. UPP je sve važniji izvor energije, služeći kao čišća alternativa tradicionalnim fosilnim gorivima, posebice u regijama koje žele smanjiti emisije stakleničkih plinova i poboljšati energetska sigurnost. Kao rezultat toga, i uvoznici i izvoznici UPP-a doživjeli su značajne transformacije. Tradicionalni uvoznici UPP-a zadržali su svoje pozicije ključnih igrača u industriji, uz pojavu novih sudionika koji omogućuju daljnju diversifikaciju izvora opskrbe UPP-om. U smislu transporta, industrija je svjedočila povećanju u broja brodova i kapaciteta UPP flote. Proširenje postojećih postrojenja za ukapljivanje i uplinjavanje UPP-a, omogućilo je učinkovito kretanje UPP-a diljem svijeta. Štoviše, inovacije u tehnologiji i sigurnosnim standardima povećale su pouzdanost i sigurnost transporta. Važno je napomenuti da je UPP industrija i dalje podložna raznim vanjskim čimbenicima, kao što su geopolitički utjecaji, tržišna volatilnost i ekološki propisi. Ovi čimbenici mogu značajno utjecati na budućnost UPP sektora. S obzirom da je prirodni plin okarakteriziran kao prijelazno gorivo u svjetskim naporima da ostvari ciljeve dekarbonizacije, gotovo je pa sigurno kako će UPP industrija još dosta godina biti ključna u ostvarivanju tih ciljeva posebice sa svojim tehnološkim inovacijama koje mogu biti podloga za rješavanje budućih izazova u energetska industriji.

5. LITERATURA

1. ABUJBARA, A., 2006. LNG supply with emphasis on Qatar's role in the global LNG market. U: 23rd World Gas Conference, Amsterdam 2006
2. APEC ENERGY WORKING GROUP (2019) Small-scale LNG in Asia-Pacific. URL: <https://apec.org> (7.2.2024.)
3. ALAM, S., FLORA, A., ISAAD, H., JAIN, P., JALLER-MAKAREWICZ, A. M., MORRISON, K., PEH, G., REYNOLDS, S., ROBERTSON, B., WILLIAMS-DERRY, C., 2023. Global LNG Outlook 2023-27: High Prices Create New Risks to Demand Growth. Institute for Energy Economics and Financial Analysis
4. BAI, Y., & JIN, W.-L. (2016) 'LNG Carrier', Marine Structural Design (Second Edition). Butterworth-Heinemann, pp. 49-71.
5. BARRY ROGLIANO SALLES (2023) Shipping and shipbuilding markets: Annual review 2023.
6. BP (2022). Statistical Review of World Energy 2022
7. EDWARDS, G., 2009. An Overview of Qatar Petroleum's Multidisciplinary Database Project. U: International Petroleum Technology Conference, Doha-Katar, 7-9. Prosinac 2009.
8. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION [EIA], (2011). Annual Energy Review 2011. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, Energy Information Administration. URL: <https://www.eia.gov/totalenergy/> (25.10.2023.)
9. ENGINEERING AUSTRALIA (2017) North West Shelf Project: Nomination of the Gas Fields of Plenty for an Engineering Heritage Australia Heritage Recognition Award. [PDF] Perth: Engineers Australia, Western Australian Division. URL: <https://portal.engineersaustralia.org.au/> (21.1.2024)
10. EQUINOR (2023) Governmental green light to the Snøhvit Future project. www.equinor.com (2.2.2024.)
11. GE GAS POWER, 2022. GE and Shell to Develop Potential Lower-Carbon Solutions for LNG Projects. URL: <https://www.ge.com/news/press-releases/> (21.10.2023.)

12. GEOSCIENCE AUSTRALIA (2023) Australia's Energy Commodity Resources Data Tables - 2022 reporting period. URL: www.ga.gov.au/digital-publication/ (5.2.2024)
13. GOLAR LNG LIMITED, 2024. FLNG Gimi delivered from Seatrium Shipyard and sailing for GTA. Golar LNG. URL: <https://www.golarlng.com/investors/press-releases/flng-gimi-delivered-from-seatrium-shipyard-and-sailing-for-gta> (3.2.2024.)
14. GTT (2022), GTT receives two Approvals in Principle for its innovative three-tank LNG tanker design. URL: <https://www.gtt.fr/en/news/> (21.10.2023.)
15. THE MARITIME EXECUTIVE, 2022. Hyundai Develops Korea's First LNG/Hydrogen Hybrid Engine. URL: <https://maritime-executive.com/article> (21.10.2023.)
16. IMO (2020) On 1 January 2020, a new limit on the sulfur content in the fuel oil used on board ships came into force, marking a significant milestone to improve air quality, preserve the environment and protect human health. URL: <https://www.imo.org/> (10.10.2023.)
17. INTERNATIONAL GAS UNION [IGU]. (2012) „World LNG Report 2011“
18. INTERNATIONAL GAS UNION (IGU). (2017) „World LNG Report 2016“
19. INTERNATIONAL GAS UNION (IGU). (2021) „World LNG Report 2020“
20. INTERNATIONAL GAS UNION (IGU). (2022) „World LNG Report 2021“
21. INTERNATIONAL GAS UNION (IGU). (2023) „World LNG Report 2022“
22. INTERNATIONAL GROUP OF LIQUEFIED NATURAL GAS IMPORTERS [GIIGNL], (2022) GIIGNL Annual Report
23. INTERNATIONAL GROUP OF LIQUEFIED NATURAL GAS IMPORTERS (GIIGNL), (2023) GIIGNL Annual Report
24. LIU, Y., SHI, X., & LAURENCESON, J. (2020). Dynamics of Australia's LNG export performance: A modified constant market shares analysis. Energy Economics, 104808.

25. LNG PRIME STAFF (2023). "Woodside's Scarborough and second Pluto LNG train project 38 percent complete". LNG Prime. URL: www.lngprime.com/lng-terminals/ (2.2.2024)
26. LNGPRIME (2022), South Korean shipbuilding giant Samsung Heavy Industries has developed a boil-off gas recovery system for LNG-powered ships. URL: <https://lngprime.com/> (21.10.2023.)
27. LUNDEVALL ARNET, N.M., 2013, Evaluation of technical challenges and the need for standardization for LNG bunkering, NTNU Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering, Trondheim, Norway
28. MOKHATAB, S., MAK, J. Y., VALAPPIL, J. V., & WOOD, D. A. (2014). Chapter 7 - LNG Plant and Regasification Terminal Operations. In Handbook of Liquefied Natural Gas (pp. 297-320). Gulf Professional Publishing.
29. NATURAL GAS INTELLIGENCE, 2022. ConocoPhillips Takes Third, Final Stake in North Field South LNG Project. URL: <https://www.naturalgasintel.com/conocophillips-takes-third-final-stake-in-north-field-south-lng-project/> (8.2 2024).
30. NAKHLE, C. 2023, Australia's LNG success may be at risk, Geopolitical Intelligence Services AG, URL: (8.2.2024.)
31. NEATS, 2024. URL: <https://neats.nopta.gov.au/> (8.2.2024.)
32. OGLE, K., 2019. A Study of Liquefied Natural Gas Development in Australia and Requisite Learnings for Canada, CGAI: Canadian Global Affairs Institute. Canada.
33. QATARENERGY, 2024. QatarEnergy LNG. URL: <https://www.qatarenergy.com.qa> (3.2.2024).
34. REGAN, T. (2017) Small scale LNG: Emerging technologies for small-scale grids. [PDF] DataFusion Associates, URL: www.siew.gov.sg (10.2.2024.)
35. Rystad Energy (2023) Deep-dive study on energy security. [PDF], URL: www.rystadenergy.com/services/gas-lng-markets-solution (10.10.2023.)

36. SEA-LNG (2024) SEA-LNG: Driving the widespread adoption of LNG as a marine fuel. URL: <https://sea-lng.org> (6.2.2024.)
37. TUSIANI, M. D. AND SHEARER, G. (2007) LNG: A nontechnical guide. Tulsa: PennWell.
38. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2017), Office of Fossil Energy - LNG Monthly, URL: <http://www.fossil.energy.gov/> (24.10.2023.)
39. U.S. Department of Energy (2017) Understanding Natural Gas and LNG Options. URL: www.energy.gov/ia/articles (4.2.2024.)
40. U.S. Energy Information Administration (2022) Country Analysis Executive Summary: Australia. URL: www.eia.gov/international/content/analysis (3.2.2024)
41. U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2011. Re-exports of LNG from U.S. terminals. URL: <https://www.eia.gov/todayinenergy/> (25.10.2023.)
42. U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (2017), Annual Energy Outlook 2016, URL: <https://www.eia.gov/> (23.10.2023.)
43. WÄRTSILÄ (2015) Wärtsilä low-speed dual-fuel solution: The Wärtsilä 2-stroke DF engine. URL: www.wartsila.com (5.2.2024.)
44. WINTERTHUR GAS & DIESEL. (2017) X-DF Dual-Fuel Design. URL: <https://www.wingd.com/en/technology-innovation/engine-technology/x-df-dual-fuel-design/> (4.2.2024.)
45. WOODSIDE ENERGY. 2023. North West Shelf overview. URL: <http://www.woodside.com.au/Our%2BBusiness/Production/Australia/North%2BWest%2BShelf/> (6.2.2024.)
46. WRIGHT, B. (2023) US LNG Boom Puts Producers on Pace To Lap the Competition. *Journal of Petroleum Technology*, 75(4), pp. 32-39.

IZJAVA

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



Karlo Rudan



KLASA: 602-01/24-01/19
URBROJ: 251-70-12-24-2
U Zagrebu, 16.02.2024.

Karlo Rudan, student

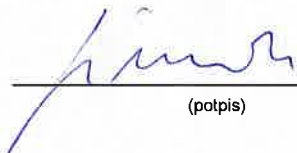
RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/19, URBROJ: 251-70-12-24-1 od 02.02.2024. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

PROMJENE U INDUSTRIJI UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA U RAZDOBLJU OD 2011. DO 2022. GODINE

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

Mentorica:

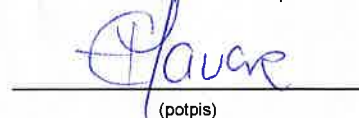


(potpis)

prof. dr. sc. Katarina Simon

(titula, ime i prezime)

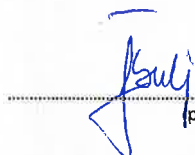
Predsjednica povjerenstva za
završne i diplomske ispite:



(potpis)

izv. prof. dr. sc. Karolina
Novak Mavar

(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)