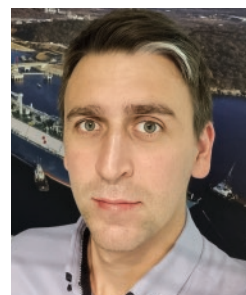


Terminal za UPP na otoku Krku – FSRU „LNG Croatia“

LNG Terminal on the Island of Krk – FSRU „LNG Croatia“

Ivan Fugaš, dipl. ing.
LNG Hrvatska d.o.o.
ivan.fugas@lng.hr

Marko Častek, dipl. ing.
LNG Hrvatska d.o.o.
marko.castek@lng.hr



Ključne riječi: LNG, Terminal, ukapljeni prirodni plin, Krk, FSRU brod

Key words: LNG, Terminal, liquefied natural gas, Krk, FSRU



Sažetak

U siječnju 2021. godine Terminal za ukapljeni prirodni plin na otoku Krku počeo je s komercijalnim radom. U tom kratkom razdoblju Terminal se suočio s brojnim izazovima, među kojima je pokretanje novih usluga i razvoj novih tehnologija, kojima je cilj bio povećanje sigurnosti rada Terminala. U ovom radu prikazat ćemo značajke broda za prihvata, skladištenje i uplinjavanje UPP-a (engl. Floating Storage Regasification Unit, nadalje: FSRU) te ukratko opisati rad Terminala kao i nestandardne usluge ponovnog pretovara UPP-a s FSRU broda u kamione za prijevoz UPP-a.



Abstract

LNG Terminal on the island of Krk started commercial operations in January 2021. During this short period the Terminal has faced many challenges, including launching of new services and development of new technologies, aimed at increasing safety of Terminal operations. This paper includes description of a Floating Storage Regasification Unit, and a short overview of Terminal operations and non-standard

services of LNG reloading from a FSRU vessel to LNG transport trucks.

1. Uvod

U siječnju 2021. godine Terminal za ukapljeni prirodni plin (nadalje: UPP) na otoku Krku (nadalje: Terminal) počeo je s komercijalnim radom što je označilo novu eru razvoja tržišta prirodnog plina i energetske neovisnosti Republike Hrvatske. Tijekom prve dvije godine rada, Terminal se suočio s brojnim izazovima, a pokretanje novih usluga i razvoja novih tehnologija povećalo je sigurnost i pouzdanost rada Terminala. Fokus ovog rada će biti na brodu za prihvata, skladištenje i uplinjavanje UPP-a (engl. Floating Storage Regasification Unit, nadalje: FSRU) imena „LNG Croatia“, ali će se također dati i kratki opis rada samog Terminala kao i nestandardne usluge ponovnog pretovara UPP-a s FSRU broda u kamione za prijevoz UPP-a. Od siječnja 2021. do kraja studenoga 2022. godine na Terminalu za ukapljeni prirodni plin na otoku Krku obavljeno je 48 operacija pretovara toga energenta s brodova za prijevoz UPP-a na FSRU brod „LNG Croatia“, potom 115 operacija ponovnog pretovara UPP-a s FSRU broda u kamione za prijevoz UPP-a te jedna operacija ponovnog pretovara UPP-a s FSRU broda na brod za prijevoz UPP-a (engl. Ship to Ship – STS). U istom razdoblju u transportni sustav Republike Hrvatske otpremljeno je više od 3,8 milijardi m³ prirodnog plina.

2. Glavni dijelovi Terminala za ukapljeni prirodni plin

Gradnja Terminala započela je u travnju 2019., a završila u prosincu 2020. godine kada je Terminal nakon probnog rada postao spreman za početak rada i prihvat prvog broda za prijevoz UPP-a. Terminal čini nekoliko glavnih povezanih elemenata, a cijeli proces uplinjavanja odvija se na FSRU brodu „LNG Croatia“ s maksimalnim kapacitetom uplinjavanja od 450.000 Nm³/h. Prirodni plin se nakon uplinjavanja otprema visokotlačnim priključnim plinovodom DN1000/100 Terminal za UPP-PČ Omišalj u transportni sustav Republike Hrvatske.

Terminal se sastoji od sljedećih glavnih elemenata:

- FSRU brod „LNG Croatia“;
- pristan s pomoćnim postrojenjima i objektima;
- visokotlačni priključni plinovod DN1000/100 Terminal za UPP-PČ Omišalj;
- priključni vodovod.

3. FSRU brod „LNG Croatia“

FSRU brod „LNG Croatia“ izgrađen je 2005. godine u južnokorejskom brodogradilištu Hyundai Heavy Industries pod imenom „Golar Viking“ kao brod za prijevoz UPP-a. Konverzija u kineskom brodogradilištu trajala je devet mjeseci tijekom koje su dvije najznačajnije izmjene obuhvaćale ugradnju modula za uplinjavanje na pramac broda i ugradnju modula za proizvodnju električne energije na krmu broda. Zadnji zahvat uključivao je zamjenu postojećeg sustava za upravljanje brodom „Yokogawa“ s novim sustavom za upravljanje brodom i sustavom uplinjavanja UPP-a

„Kongsberg“. Zamjena navedenog sustava kao i završetak konverzije obavljeni su u brodogradilištu u Republici Hrvatskoj u studenom 2020. godine.

Modul za uplinjavanje kao najznačajniji dio sustava za uplinjavanje sastoji se od tri jedinice za uplinjavanje, svaka maksimalnog kapaciteta uplinjavanja 150.000 Nm³/h. Ugrađeni modul za uplinjavanje prikazan je na slici 2., a sastoji se od:

1. Rekondenzera (engl. suction drum)
2. Tri identične jedinice za uplinjavanje od kojih se svaka sastoji od sljedećih dijelova:
 - pumpe za usis (engl. feed pump);
 - visokotlačne pumpe UPP-a (engl. booster pump);
 - izmjenjivač topline UPP/BOG (engl. BOG – Boil off Gas);
 - isparivač UPP/glikol (engl. vaporizer);
 - izmjenjivač topline prirodni plin/glikol (engl. trim heater);
 - zaporna i upravljačka armatura;
 - cijevna armatura.

Glavna svrha modula za uplinjavanje je povećanje tlaka UPP-a i njegovo uplinjavanje što je preduvjet za otpremu prirodnog plina prema visokotlačnom priključnom plinovodu na kopnenom dijelu Terminala. Modul za uplinjavanje i pripadajuća oprema smješteni su na otvorenoj palubi FSRU broda na njegovom pramcu.

Tehnologija uplinjavanja temelji se na izmjeni topline između morske vode, glikola kao međufluida te u konačnici UPP-a. Pumpe za usis morske vode odvoje morskou vodu do izmjenjivača topline morskou voda/glikol gdje morskou voda predaje svoju toplinu



Slika 1.
Terminal za UPP, Omišalj



Slika 2.
Modul za
uplinjavanje, FSRU
„LNG Croatia“

glikolu te se vraća nazad u more. Glikol, koji je preuzeo toplinu morske vode, cirkulira u zatvorenom krugu te predaje svoju toplinu UPP-u (u isparivaču) i prirodnom plinu (u trim heater-u).

Proces uplinjavanja započinje u samom brodskom spremniku gdje se UPP skladišti, a gdje zbog postepenog isparavanja UPP-a dolazi do stvaranja tzv. BOG-a, odnosno otparka. Kriogene centrifugalne pumpe za usis UPP-a, koje se nalaze u brodskim spremnicima, otpremaju UPP pod tlakom od 5 barg prema modulu za uplinjavanje. U samom modulu tok UPP-a grana se na dva dijela. Jedan dio ide izravno na visokotlačne pumpe dok drugi dio ide u rekondenzer koji, osim što služi za ponovno ukapljivanje dijela isparenog prirodnog plina ili otparka, također služi i kao zaštita visokotlačnih pumpi.

Nakon visokotlačnih pumpi u kojima se tlak UPP-a povećava s ulaznih 5 barg na izlaznih 115-120 barg, UPP prolazi izmjenjivačem topline UPP/BOG, ulazi u isparivač u kojem preuzima toplinu glikola te mijenja svoje agregatno stanje iz tekućeg u plinovito, odnosno u isparivaču postaje prirodni plin niske temperature (temperatura prirodnog plina je između -20°C i -30°C).

Hladni prirodni plin nakon isparivača ulazi u zadnji izmjenjivač topline (trim heater) gdje još jednom preuzima toplinu glikola kako bi se zagrijao na prosječnu temperaturu od 12°C i kao takav bio spreman za otpremu prema kopnenom dijelu Terminala.

Kao što je ranije navedeno, u brodskim spremnicima osim UPP-a nalazi se i BOG, odnosno otparak UPP-a koji nastaje kao posljedica njegovog postepenog zagrijavanja. BOG je prirodni plin vrlo niske tempera-

ture koji svojim nakupljanjem povećava tlak u brodskim spremnicima te ujedno i zagrijava uskladišteni UPP. Kako bi se spriječilo prekomjerno povećanje tlaka u brodskim spremnicima te umanjio utjecaj BOG-a na temperaturu UPP-a, isti se pomoću dvostupanjskih kompresora otprema prema modulu za proizvodnju električne energije gdje se koristi kao gorivo u DFDE (engl. dual fuel diesel electric) motorima koji služe za proizvodnju električne energije. Preostali dio BOG-a, odnosno dio koji nije iskorišten, otprema se prema izmjenjivaču topline UPP/BOG gdje, u ranije opisanom procesu, preuzima hladnoću UPP-a te se dalje otprema u rekondenzer gdje u potpunosti mijenja agregatno stanje iz plinovitog u tekuće tj. ponovno se ukapljuje.

Glavni parametri modula za uplinjavanje:

- Maksimalni kapacitet uplinjavanja: $3 \times 150.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$, ukupno $450.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- Tehnički kapacitet uplinjavanja: $338.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- Minimalni kapacitet uplinjavanja: $60.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- Izlazni tlak modula za uplinjavanje: 70-95 barg
- Izlazna temperatura prirodnog plina: min 6°C
- Medij za prijenos topline: morska voda
- Međufliuid: glikol
- Kapacitet rekondenзера (maksimalni): 10 t/h

Brodski skladišni sustav UPP-a na FSRU brodu sastoji se od četiri izolirana spremnika UPP-a ukupnog skladišnog kapaciteta od 140.206 m^3 . Spremnici su međusobno odvojeni poprečnim barijerama, a od vanjskog trupa broda bočnim i balastnim tankovima s dvostrukim dnom. Ovakav spremnički sustav omogućuje maksimalno zadržavanje UPP-a na kriogenoj

Slika 3.
Ponovni pretovar
UPP-a u kamion za
prijevoz UPP-a



temperaturi (između -155 i -157°C), a ujedno i izolaciju tereta od strukture trupa broda.

Materijali korišteni za strukturu trupa broda projektirani su da izdrže različite stupnjeve niske temperature te služe za smanjenje prijenosa topline iz strukture trupa što smanjuje stvaranje BOG-a iz uskladištenog UPP-a, a ujedno i štiti strukturu trupa od utjecaja kriogene temperature. Unutarnji dio trupa obložen je integriranim sustavom spremnika GTT Mark III koji se sastoji od tanke i fleksibilne membrane (primarna barijera) koja se naslanja na potpunu izolacijsku strukturu (sekundarna membrana) i daljnju sekundarnu izolaciju pričvršćenu za unutarnji trup. Ova konstrukcija osigurava da se cjelokupno hidrostatsko opterećenje tereta prenosi kroz membranu i izolaciju na čeličnu oplatu unutarnje konstrukcije trupa, a time i na oplatu trupa samog FSRU broda.

Na FSRU brodu „LNG Croatia“, osim modula za uplinjavanje, ugrađena je i oprema za pretovar UPP-a, oprema za upravljanje BOG-om, oprema za otpremu prirodnog plina, oprema za mjerenje količine i kvalitete prirodnog plina, strojnica ili modul za proizvodnju električne energije (16,5 MW), pogonska oprema, kontrolna sobe tereta, protupožarni sustavi i pomoćni objekti.

4. Usluga ponovnog pretovara UPP-a u kamion

Od travnja 2022. godine, LNG Hrvatska svojim korisnicima nudi uslugu ponovnog pretovara UPP-a u kamion (engl. Ship to Truck – STT) prilikom koje se obavlja pretovar UPP-a izravno iz FSRU broda u

kamion za prijevoz UPP-a koji se dalje transportira do krajnjih korisnika. Operacija ponovnog pretovara UPP-a u kamion prikazana je na slici 3.

Sustav pretovara UPP-a koristi postojeću liniju od spremnika tereta do izlaznog razdjelnika na lijevom boku FSRU broda (engl. *port side manifold*). Za potrebe analize UPP-a koristi se postojeći sustav analize UPP-a koji se sastoji od isparivača, ormara za uzorkovanje i kromatografa. Kako bi se omogućio protok UPP-a od brodskog spremnika do izlaznog razdjelnika i dalje na kamion za prijevoz UPP-a, na FSRU brod potrebno je bilo ugraditi cijevnu redukciju dimenzija 16" na 3", maseni mjerac protoka (Coriolis) za mjerenjem pretovarenih količina UPP-a i 3" kriogena crijeva za UPP i povrat plinske faze. Mobilna sedla postavljaju se na ogradu FSRU broda te osiguravaju potporu za crijeva s odgovarajućim radijusom savijanja. Na kraju kriogenih crijeva na kopnenom dijelu postavljena je rastavna spojnica te kriogena spojnica za spajanje na kamion za prijevoz UPP-a. Rastavna spojnica predstavlja sigurnosnu opremu te joj je zadaća izdržati vanjska opterećenja do predefiniране granice. Spojnica se aktivira nakon što je izložena silama većim od postavljenog opterećenja. Kriogena spojnica spaja se na priključak koji je ugrađen na kamionu za prijevoz UPP-a te s njime osigurava nepropusnost linije i sigurnost pretovara UPP-a. Spojnica je jednostavna za korištenje, brza za montažu i demontažu na priključak cisterne kamiona te sigurnija od klasičnih navojnih prirubnica. Nakon što je pretovar UPP-a u kamion završen, kriogena crijeva se inertiziraju dušikom kako bi se osiguralo da u njima nema zaostalog UPP-a i otparka prije njihovog odspajanja.



Prije samog pretovara obavezno te testiraju brzo-zatvarajući sigurnosni ventili koji u slučaju ugroze zaustavljaju pretovar UPP-a s FSRU broda. Sva oprema ugrađena na brod prilikom proizvodnje, testiranja i ugradnje nadgledana je i odobrena od strane neovisnog klasifikacijskog društva FSRU broda – DNV.

5. Povećanje kapaciteta Terminala

S ciljem dodatnog povećanja sigurnosti opskrbe prirodnim plinom, u planu je povećanje trenutnog maksimalnog kapaciteta Terminala na 6,1 milijardi m³ prirodnog plina godišnje. Povećanje maksimalnog kapaciteta Terminala zasniva se na ugradnji dodatnog modula za uplinjavanje, maksimalnog kapaciteta uplinjavanja od 250.000 m³/h koji će se ugraditi na pramac FSRU broda. Modul koji se ugrađuje sastoji se od opreme i elemenata potrebnih za obavljanje operacija uplinjavanja UPP-a kao i već ranije ugrađeni modul. Puštanje dodatnog modula u rad te osiguranje povećanog kapaciteta za korisnike Terminala očekuje se od plinske godine 2024/2025.

6. Zaključak

FSRU „LNG Croatia“, kao sastavni dio Terminala, predstavlja sigurno, pouzdano i tehnološki napredno rješenje koje omogućuje skladištenje i uplinjavanje UPP-a te pouzdanu otpremu prirodnog plina u transportni sustav Republike Hrvatske. FSRU brod, s aspekta sigurnosti i zaštite okoliša, opremljen je suvremenim sustavima i opremom prema najvišim industrijskim standardima, čime Terminal u cijelosti ispunjava svoju svrhu uz minimalan utjecaj na okoliš. U gotovo dvije godine rada, Terminal je svojim korisnicima ponudio i dodatne usluge čime je povećana njegova iskoristivost.

Od siječnja 2021. do kraja studenoga 2022. na Terminalu je obavljeno 48 operacija pretovara UPP-a s brodova za prijevoz UPP-a na FSRU brod, 115 operacija ponovnog pretovara UPP-a s FSRU broda u kamione za prijevoz UPP-a te jedna operacija ponovnog pretovara UPP-a s FSRU broda na brod za prijevoz UPP-a (engl. Ship to Ship – STS). U istom razdoblju u transportni sustav Republike Hrvatske otpremljeno je više od 3,8 milijardi m³ prirodnog plina.