

Mr. Krešimir Baljak, dipl.ing.
Mr. sc. Zvonimir Lušić, dipl.ing.
Tonći Erceg, dipl.ing.

Pomorski fakultet u Splitu
Zrinsko Frankopanska 38
21000 Split

**SUVREMENE MOGUĆNOSTI RUKOVANJA
UKAPLJENIM PRIRODNIM PLINOM
NA LNG TANKERIMA**

UVOD

U radu se obrađuju tehnološki postupci ukapljivanja prirodnog plina (*Natural Gas – NG*) i isparavanja ukapljenog prirodnog plina (*Liquefied Natural Gas – LNG*) na tankerima. Postupci ukapljivanja para NG-a obavljaju se neprestano tijekom plovidbe broda u teretu, kao i za vrijeme ukrcaja tereta na brodu uz pomoć Sustava za ukapljivanje (*Reliquefaction Plant – RL*). Isparavanje LNG-a obavlja se pri iskrcaju tereta uz pomoć Sustava za isparavanje (*Regassification Plant – RV*). Postupci ukapljivanja NG-a i isparavanja LNG-a novost su na LNG tankerima, a od posade iziskuju dodatne napore u usavršavanju i radu s njima.

OSOBITOSTI LNG TANKERA

Nizom godina LNG tankeri nisu mijenjali uobičajene sustave za rukovanje s teretom. Takva tehnološka razina opremljenosti broda omogućila je ograničeno rukovanje teretom u što se ubrajaju operacije:

- ukrcaja LNG-a,
- iskrcaja LNG-a i
- sagorijevanje NG-a u kotlovima strojarnice.

S takvom razinom opremljenosti LNG tankeri ograničeni su za obavljanje prijevoza LNG-a između isključivo specijaliziranih luka. Promjenama potražnje energenata na svjetskoj razini, uočena je potreba za NG-om i u područjima koja nemaju potrebne specijalizirane luke i pripadajuća kopnena postrojenja. U tom cilju razvijeni su LNG-RV tankeri. Uloga im je u premošćivanju specijaliziranih luka i kopnenih postrojenja, odnosno u isparavanju LNG-a i opskrbi sustava potrošača na mjestima gdje takve specijalizirane luke i kopnena postrojenja ne postoje.

Brodaska pogonska postrojenja na LNG tankerima su u pravilu plinske turbine, koje omogućavaju pojedinačno korištenje tekućih goriva ili NG-a, odnosno istovremeno korištenje tekućih i plinovitih goriva. Radi mogućnosti korištenja para tereta kao pogonskog goriva na LNG tankerima nije se ukazala potreba za ukapljivanjem isparenog LNG-a. Suvremena istraživanja brodskih pogonskih postrojenja ukazuju na opravdanost izbora motora s unutarnjim izgaranjem tekućih goriva [1]. Takav izbor brodskog pogonskog postrojenja ne omogućava korištenje para tereta kao pogonskog goriva. U tom cilju razvijen je RL sustav čija je namjena ukapljivanje para tereta.

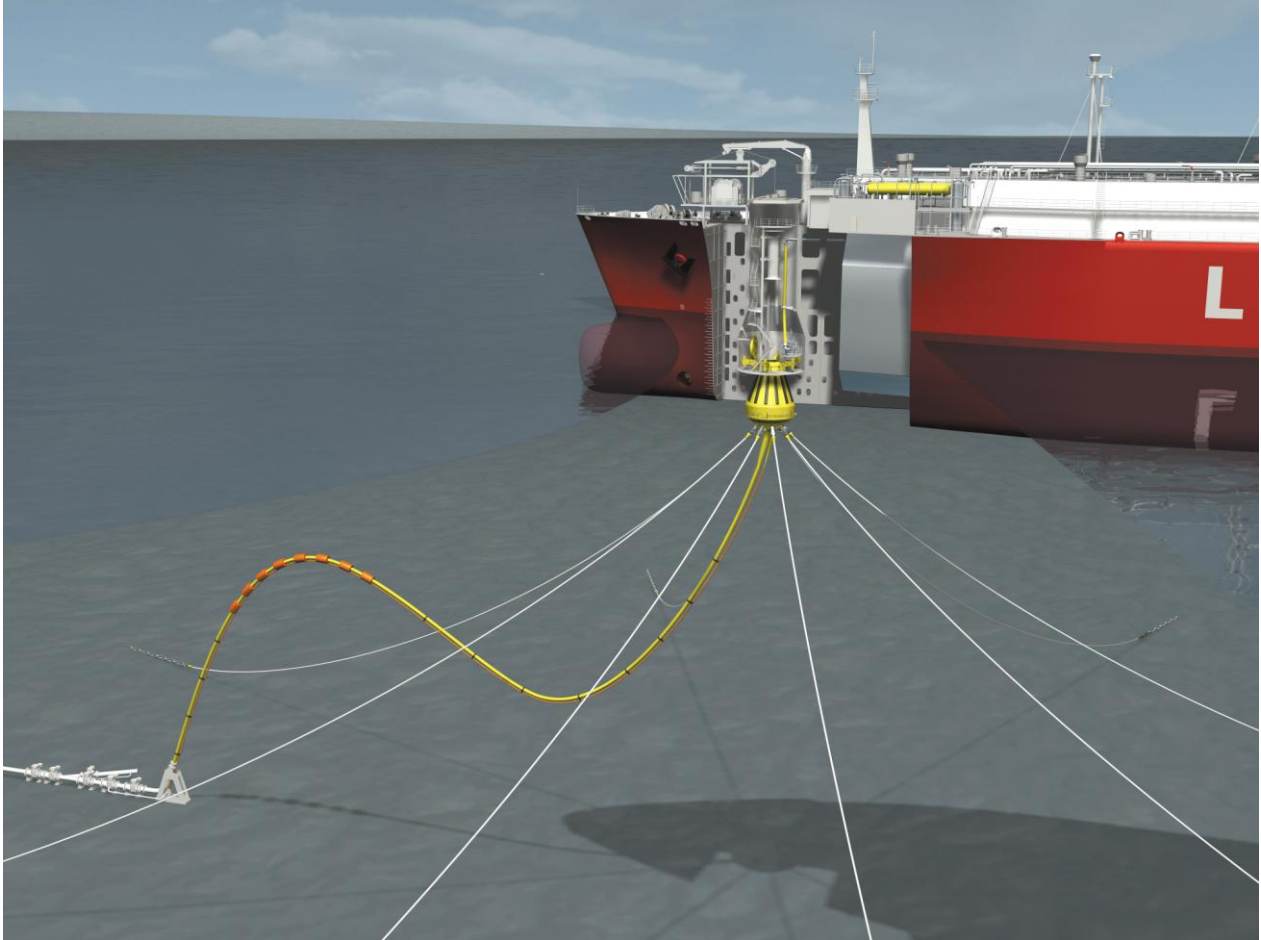
LNG-RV TANKERI

Prema dostupnim podacima broj LNG-RV tankera u svijetu iznosi sedam, od čega su dva broda prenamijenjena za RV operacije, a pet je novogradnji [2]. U knjigama narudžbi bilježe se još tri novogradnje, za koje se očekuje da će biti isporučene do kraja 2012. [1].

S obzirom da trenutni broj LNG-RV tankera čine ukupno 2,54% od ukupne flote LNG tankera, te da je prvi LNG-RV tanker ispušten 2007. očekuje se njihov daljnji razvoj prema rastućim zahtjevima tržišta.

Tehnološka opremljenost LNG-RV tankera dovodi do novih mogućnosti iskrcaja LNG-a putem klasičnog palubnog razdjelnika, gdje se teret iskrca u tekućem stanju, ili putem visokotlačnog cjevovoda, gdje se teret iskrca u stanju pare.

Visokotlačnim cjevovodom moguće je ostvariti iskrcaj tereta na terminalu (spajanje na visokotlačnom razdjelniku na palubi broda) ili na moru (spajanjem visokotlačnog cjevovoda na prekrcajnu plutaču), što se prikazuje slikom 1. Iskrcajni tlakovi u visokotlačnim cjevovodima su od 0 do 103bar [1]. Pri usporedbi s klasičnim iskrcajem gdje se u cjevovodu pojavljuju tlakovi do najviše 8bar, korištenje novih tehnologija uzrokuje daleko veći stupanj opasnosti po sigurnost posade.



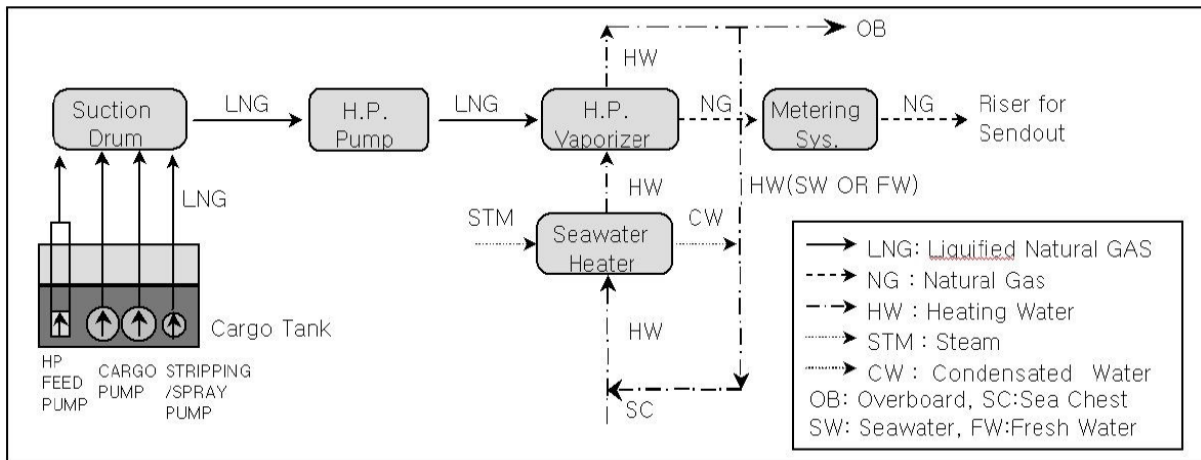
Slika 1. Iskrcaj NG-a preko prekrcajne plutače na otvorenom moru.

IZVOR: <http://www.exmar.be>

Tehnologija isparavanja LNG-a na LNG-RV tankerima podrazumjeva korištenje morske vode u isparivačima, kojima je uloga ukapljenom metanu pri temperaturi od -162°C promijeniti agregatno stanje i proslijediti pare metana pri temperaturi od $+4^{\circ}\text{C}$ prema visokotlačnom cjevovodu. U ovisnosti o temperaturi morske vode razlikuju se tri režima rada isparivača [5]:

- otvoreni ciklus, koji se koristi ako je temperatura morske vode veća od 15°C (morska voda uzima se iz mora),
- poluzatvoreni ciklus, koji se koristi ako je temperatura morske vode veća od 4°C i manja od 15°C (dio morske vode uzima se iz mora, a dio se uzima iz balasnih tankova i grije na brodu),
- zatvoreni ciklus, koji se koristi ako je temperatura morske vode niža od 4°C (morska voda uzima se iz balastnih tankova i grije na brodu).

Tekući metan se pomoću jedne od crpki¹ iz spremnika tereta prosljeđuje u sabirni spremnik na palubi (*suction drum*), odakle se visokotlačnom crpkom (*HP pump*) prosljeđuje u isparivače (*HP vaporizer*) kroz koje cirkulira zagrijana morska voda (u poluotvorenom i zatvorenom ciklusu).



Slika 2. Pregled teretnog sustava na LNG-RV tankeru.

IZVOR: *LNG-RV Excelsior Regas Operation Manual*, DSME, Okpo Shipyard, 2007.

Izlaskom iz isparivača (*HP vaporizer*), pare metana prolaze kroz mjernu jedinicu (*metering system*) gdje se obavlja mjerenje isparene količine i nastavlja dalje preko visokotlačnog cijevovoda prema kopnu (*riser for sendout*). Dosadašnja iskustva u radu na LNG-RV tankeru pokazuju da se iskrcajem NG-a mogu izravno opskrbljivati potrošači priključeni na kopnene plinovode (Argentina, Kuvajt, SAD) ili plinska postrojenja za proizvodnju električne energije (Brazil, Ujedinjeno kraljevstvo) [1].

Rasporedom crpki i recirkulacijskih cijevovoda na brodu omogućava se postizanje željenog iskrcajnog tlaka, koji je u ovisnosti o trenutnoj potrebi potrošača na kopnu. U tom cilju održava se stalna veza s predstavnikom primatelja tereta koji obaviještava brod o trenutnim potrebama za NG-om.

¹ LNG se prosljeđuje dobavnom, teretnom ili crpkom za raspršivanje.

LNG-RL TANKERI

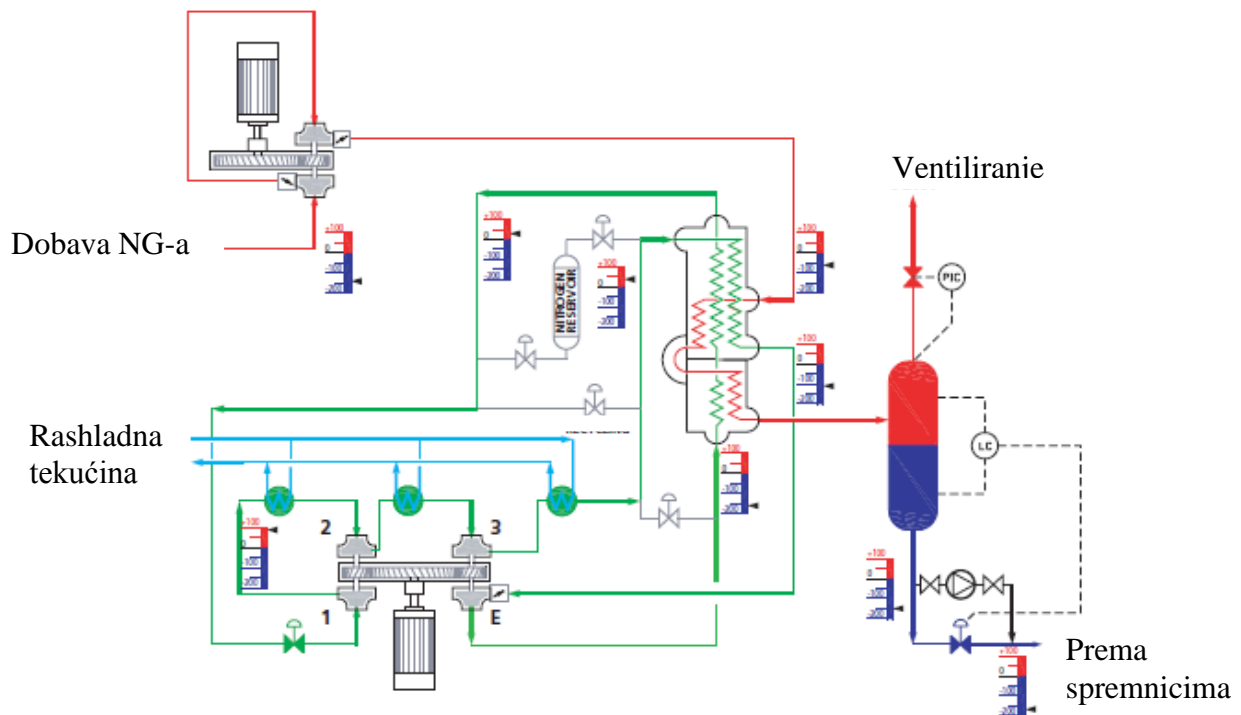
Prema dostupnim podacima trenutni broj LNG-RL tankera iznosi osam. U knjigama narudžbi bilježi se još više od 20 LNG-RL tankera u sklopu Qatargas II i Rasgas III LNG projekta [2].



Slika 3. Membranski LNG tanker na prekrcajnom terminalu.

IZVOR: <http://www.LNGshippingsolutions.com>

Temeljem trenutnih cijena tekućih goriva kojima su LNG-RL tankeri pogonjeni opravdava se ugradnja sustava za ukapljivanje. Predviđanja kretanja cijena tekućih goriva predviđaju ekonomsku neiplativost gradnje LNG-RL tankera. Stoga se pretpostavlja stagnacija LNG-RL flote u svijetu, isporukom već ugovorenih novogradnji.



Slika 4. Sustav za ukapljivanje na LNG-RL tankeru.

IZVOR: <http://www.cryostar.com>

Sustav ukapljivanja para metana zasniva se na zatvorenom ciklusu ekspanzirajućeg dušika koji odvodi toplinu metana i pomaže njegovom ukapljivanju [3], [4]. Takav sustav razvile su tvrtke Moss i Cryostar, koje su u prvoj fazi razvoja ugovorile ugradnju sustava za ukapljivanje na preko 20 LNG-RL tankera izgrađenih za potrebe Qatargas II i Rasgas III LNG projekta.

Para metana u sustav za ukapljivanje dobivaju se dvostupanjskim centrifugalnim kompresorom (*BOG feed*). Ulazom para metana u kriogenični izmjenjivač topline, obavlja se odjeljivanje plinova koje nije moguće ukapiti pri trenutnim temperaturama (uglavnom dušik) i daljnje ukapljivanje ostataka para u više ciklusa. Temperature u sustavu za ukapljivanje postižu se komprimiranjem i ekspanzivanjem tekućeg dušika. U zadnjoj fazi, prolaskom kroz ekspanzioni ventil obavlja se ukapljivanje tereta pri izlaznom tlaku koji je veći nego tlak u spremnicima tereta (oko 180mbar). To dovodi do prirodnog protoka kondenzata u spremnike tereta. Ukapljivanjem dobiveni kondenzat usmjerava se posebnim cijevovodom u tankove tereta, gdje se raspršava pomoću mlaznica u vrhu tanka ili izlijeva u dnu tanka.

Tehnologija ukapljivanja je u optimiziranju protoka tekućeg dušika u postupcima komprimiranja i ekspanzije, radi čega je sustav opremljen logičkim nadzornikom u cilju omogućavanja automatizacije rada.

ZAKLJUČAK

Ugradnjom sustava za ukapljivanje para metana i sustava za isparavanje LNG-a stvoreni su preduvjeti ubrzanog razvoja LNG brodarstva. Mogućnošću pružanja usluga iskrcaja LNG u plinovitom stanju u područjima bez potrebnih kopnenih postrojenja LNG brodarstvu otvaraju se brojne poslovne mogućnosti. Razlog tome je u nespemnosti država sa sezonskim potrebama za plinom za gradnjom skupih specijaliziranih terminala. U tom svjetlu, razvojem LNG terminala u Republici Hrvatskoj, a u cilju zadovoljavanja sezonskih potreba za plinom, može u fazama gradnje koristiti usluge LNG-RV tankera. Daljnja istraživanja valja provoditi u cilju utvrđivanja potreba RH za plinom i isplativosti gradnje LNG terminala s popratnom industrijom za pripremu LNG-a za tržište.

Razvojem sustava za ukapljivanje prirodnog plina i njegovom naknadnom ugradnjom na LNG tankere s mogućnošću korištenja plinskih i tekućih goriva, pružaju se uvjeti optimiziranja troškova vezanih uz pogonska goriva. Tako se primjerice, brodarima pruža mogućnost optimalnog odabira vrste pogonskog goriva s aspekta troškova. U tom cilju, ugradnja relativno skupog sustava za ukapljivanje na sve vrste LNG tankera, dugoročno gledano, drži se isplativom.

LITERATURA

1. www.exmar.com
2. www.LNGshippingsolutions.com
3. www.hamwothy.com
4. www.cryostar.com
5. *LNG-RV Excelsior Regas Operation Manual*, DSME, Okpo Shipyard, 2007.

SUMMARY

This paper presents technological aspects of natural gas (NG) reliquefaction and liquefied natural gas (LNG) vaporisation on board LNG tankers. Natural gas reliquefaction process is carried out during loaded voyage and during loading operations by means of reliquefaction plant. Vaporisation of liquefied natural gas is a process carried out during specialised discharging process by means of vaporisation plant. Reliquefaction and vaporisation processes are new arrivals on LNG tankers, which brings new demands to crew and officers on board in order of work and permanent education.