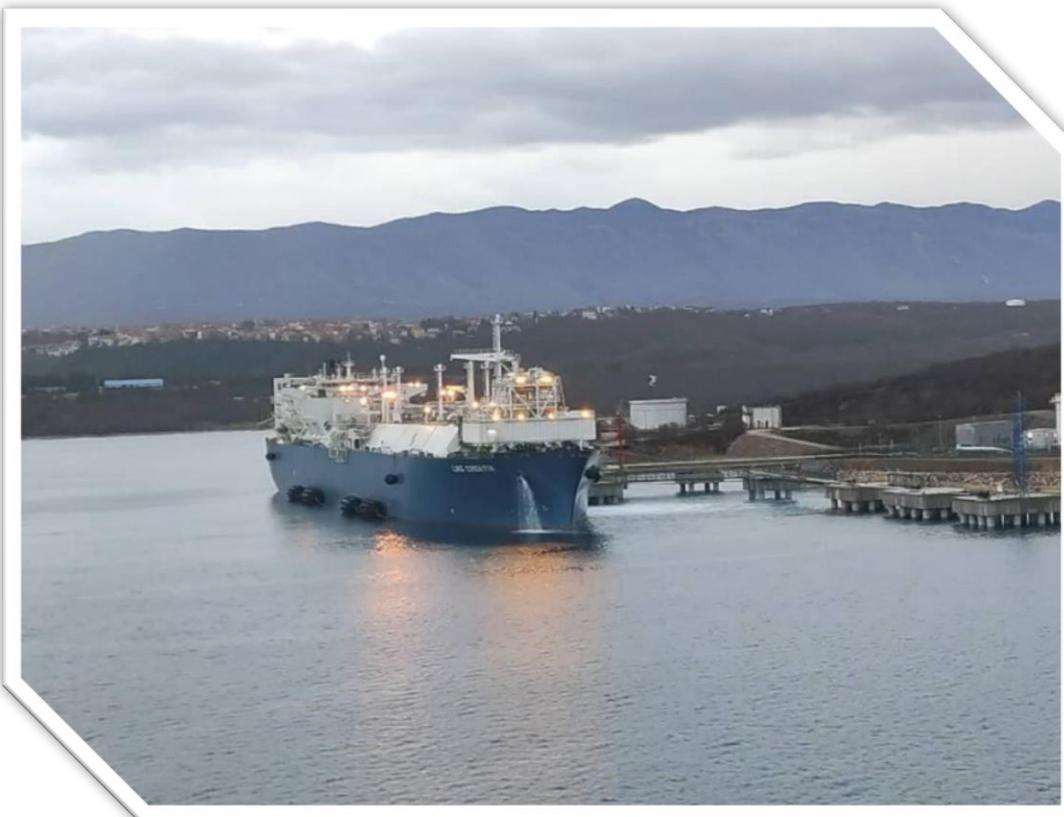

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET



DOPUNA MARITIMNE STUDIJE ZA LNG FSU KRK - „PRIVEZ SMALL-SCALE LNG BRODOVA NA LNG FSU KRK“



Rijeka, travanj 2021.



Naziv: DOPUNA MARITIMNE STUDIJE ZA LNG FSRU KRK
- „PRIVEZ SMALL-SCALE LNG BRODOVA NA LNG FSRU KRK“

Naručitelj: LNG Hrvatska d.o.o.
Radnička cesta 80
10 000 Zagreb

Izrađivač: POMORSKI FAKULTET
Sveučilište u Rijeci
Studentska 2,
51000, Rijeka

Voditelj studije: dr. sc. Vlado Frančić

Suradnici: dr. sc. Lovro Maglić
Donatan Balog, kap.
Leo Giačić, kap.
Darian Turk, kap.



Sadržaj:

1	UVOD	1
2	TEHNIČKO-TEHNOLOŠKA OBILJEŽJA LNG BRODOVA ZA RAZVOZ (<i>SMALL-SCALE LNG SHIPS</i>).....	2
2.1	LNG BROD KAPACITETA 3.500 M ³	3
2.2	LNG BROD KAPACITETA 7.500 M ³	7
2.3	LNG BRODOVI KAPACITETA OD 20.000 M ³ DO 30.000 M ³	12
3	MJERE MARITIMNE SIGURNOSTI.....	17
3.1	PROCJENA DUBINA	17
3.2	PROCJENA VANJSKIH SILA.....	17
3.2.1	<i>Utjecaj vjetra</i>	17
3.2.2	<i>Utjecaj morske struje</i>	23
3.2.3	<i>Utjecaj valova</i>	24
3.2.4	<i>Granični uvjeti manevriranja</i>	25
3.3	MANEVAR PRISTAJANJA I ISPOLOVljAVANJA LNG BRODA ZA RAZVOZ.....	26
3.3.1	<i>Manevar pristajanja</i>	28
3.3.2	<i>Manevar ispolovljenja</i>	30
4	PRIVEZ I BORAVAK LNG BRODA.....	33
4.1	PRIVEZNI ODBOJNICI.....	33
4.2	PRIVEZNI SUSTAV	36
5	MJERE SIGURNOSTI S POSTUPCIMA U IZVANREDnim OKOLNOSTIMA	40
6	ZAKLJUČAK.....	42



1 UVOD

Ova studija izrađena je na temelju ugovora sklopljenog između LNG Croatia d.o.o. kao naručitelja, i Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, kao izvođača.

Predmet ugovora je izrada dopune Maritimne studije za LNG¹ FSRU terminala Krk (u dalnjem tekstu: Maritimna studija) koju je Pomorski fakultet kao izvođač izradio na temelju ugovora s EKONERG-om d.o.o. u okviru Javnog natječaja za izradu „Usluge izrade projektne i dozvoljene dokumentacije za izgradnju LNG FSRU terminala Krk i konzalting usluge za ishođenje potrebnih dozvola i suglasnosti: Izrada FEED i izrada glavnog projekta za LNG FSRU terminal Krk sa sustavom za opskrbu energijom i ishođenje građevinske dozvole“ iz 2017. godine. Predmetna Maritimna studija predana je naručitelju te naknadno prihvaćena od strane Lučke kapetanije Rijeka.

Cilj dopune studije je utvrđivanje mjera maritimne sigurnosti za privez LNG brodova različitih veličina od onih za koje su Maritimnom studijom utvrđene mjere maritimne sigurnosti. Dopuna maritimne studije prepostavlja privez na FSRU brod „LNG Croatia“ LNG brodova kapaciteta do 30.000 m³ odnosno tzv. *Small Scale LNG Ships*. Posebno se razmatraju LNG referentni brodovi kapaciteta 3.500 m³, 7.500 m³, 20.000 m³, odnosno brod kapaciteta od 30.000 m³ koji trenutno predstavljaju najveću veličinu LNG Small-Scale brodova.

Brodovi, kao i njihova tehničko-tehnološka obilježja, dobiveni su od strane Naručitelja i kao takvi smatraju se referentnim brodovima za utvrđivanje mjera maritimne sigurnosti.

Izrada dopune Maritimne studije podrazumijeva stanje LNG FSRU terminala na Krku kako je izvedeno na dan potpisa ugovora. Posebice se to odnosi na priveznu opremu na LNG FSRU brodu te navigacijska obilježja na lučkom području i prilazu LNG FSRU brodu.

Dopuna Maritimne studije preuzima sve prepostavke, ograničenja, upute, preporuke i zaključke utvrđene u izvornoj studiji. Studija ne prepostavlja izmjenu, ukidanje ili dodavanje uvjeta ili ograničenja koji su utvrđeni Maritimnom studijom osim onih koji se odnose na privez referentnih LNG brodova (brodovi za prijevoz ukapljenog prirodnog plina – LNG brodovi) utvrđenim za izradu dopune studije.

¹ LNG (*Liquified Natural Gas*) podrazumijeva Ukapljeni prirodni plin (UPP).



2 TEHNIČKO-TEHNOLOŠKA OBILJEŽJA LNG BRODOVA ZA RAZVOZ (SMALL-SCALE LNG SHIPS)

LNG brodovi kapaciteta do 30.000 m³, svrstavaju se u skupinu najmanjih LNG brodova. Općenito najmanji LNG brodovi obuhvaćaju brodove malih kapaciteta: od onih najmanjih kapaciteta od 1.000 m³ (uobičajeno su konstruirani kao barže) do onih kapaciteta od 30.000 m³. Brodovi su namijenjeni prijevozu manjih količina LNG-a na kraćim udaljenostima odnosno unutar jedne regije i zbog takvog načina prijevoza nazivaju se *LNG Feeder Ships* odnosno brodovi za razvoz. Općenito, bez obzira na područje plovidbe LNG brodovi navedenih kapaciteta, kakvi su i referentni brodovi u ovoj studiji, nazivaju se *Small Scale LNG Ships*.

Brodovi se osim razvoza LNG-a na kraćim udaljenostima unutar jeden regije (npr. Jadransko more) koriste i kao brodovi za opskrbu drugih brodova koji LNG koriste kao pogonsko gorivo (*LNG Bunkering Ships*). Takvi su brodovi uobičajeno kapaciteta od približno 5.000 m³. Navedeni brodovi se nazivaju LNG BV (*LNG Bunker vessel*), a također predstavljaju brodove iz tzv. "LNG small scale" koncepta.

Na LNG FSRU terminal u Omišlju namjeravaju se prihvatići sve veličine *Small Scale LNG* brodova kapaciteta do 30.000 m³ i to ponajprije brodovi kapaciteta 3.500 m³, 7.500 m³ te 20.000 m³.

Općenito, razvoj manjih LNG brodova je započeo nedavno, pa su u svijetu početkom 2017. godine operativno postojala samo 44 broda. Međutim, došlo je do naglog povećanja broja narudžbi pa je u 2020. godini svjetska flota narasla do brojke od približno 80 brodova.

Početkom 2019. godine u svijetu je postojalo operativnih samo šest namjenskih brodova za opskrbu drugih brodova LNG-om. Broj se gotovo udvostručio do početka 2020. godine i trenutno u svijetu postoji 15 operativnih namjenskih brodova za opskrbu drugih brodova LNG-om. Prema posljednjim izvještajima, navodi se da je daljnjih 25 namjenskih brodova za opskrbu LNG-om u narudžbi ili u izgradnji, a koji bi bili operativni u sljedećim godinama. To je povezano s naglim rastom svjetske flote brodova koji su pogonjeni LNG-om, ponajprije kontejnerskih brodova te brodova za kružna putovanja i ro-ro putničkih brodova te se u budućnosti očekuje ubrzani razvoj i gradnja novih LNG opskrbnih brodova. Potrebno je naglasiti da se veličina brodova za opskrbu LNG-om povećava te je trenutno najveći brod na svijetu za opskrbu LNG-om drugih brodova brod „Gas Ability“ kapaciteta 18.600 m³. Navedeni kapacitet broda odgovara kapacitetu goriva vrlo velikih kontejnerskih brodova (ULCV) duljina od 400 m kompanije CMA CGM (npr. *CMA CGM Jacques Saade*) koja namjerava u nekoliko sljedećih godina izgraditi 26 takvih brodova.

LNG brodovi za razvoz uobičajeno su kapaciteta do 30.000 m³. Koriste se za obalni prijevoz (razvoz) od jednog do drugog LNG terminala, ali se mogu koristiti i za opskrbu drugih brodova. Također, u narednim godinama očekuje se i porast broja većih LNG brodova za razvoz kapaciteta od 30.000 m³.

Tablica 1 Uobičajene veličine LNG brodova za razvoz (Small Scale LNG Ships)

Kapacitet (m ³)	Ukupna nosivost (t)	L (m)	B (m)	T (m)	Približne nadvodne/bočne i frontalne površine (m ²)	Približne podvodne bočne i frontalne površine (m ²) ²
3.500	2.300	94	15,8	4,6	970 / 270	430 / 70
7.500	3.800	123	18,6	5,6	1.550 / 390	700 / 100
20.000	12.000	160	24,0	8,0	2.700 / 650	1.250 / 190
30.000	16.400 – 18.500	180-185	28,0 -36,0	7,4 - 7,8	3.400 / 850	1.300 / 280

Sustav tereta na LNG brodovima za obalni razvoz sastoji se od primarne barijere (tank tereta), sekundarne barijere (ako postoji), pripadajuće toplinske izolacije, međuprostora, strukture za uporište ovih elemenata.

Brodovi uobičajeno posjeduju i odbojnike (jednu ili dvije grupe od dva odbojnika) na obje strane broda sa vlastitim sustavom za spuštanje i podizanje koji omogućuju pristajanje na druge brodove prilikom pružanja usluge opskrbe gorivom.

U nastavku su opisana tehničko-tehnološka obilježja referentnih LNG brodova koji se mogu očekivati na LNG FSRU terminalu u Omišalju.

2.1 LNG BROD KAPACITETA 3.500 m³

Referentni brod kapaciteta 3.500 m³ projektiran je kao namjenski brod za opskrbu i rukovanje LNG-om u razvozu te za opskrbu LNG kao gorivom drugih brodova, ispunjavajući primjenjiva pravila i propise Međunarodne pomorske organizacije (IMO – International Maritime Organisation) i relevantnih zahtjeva administracije zastave upisa broda.

Takvi brodovi su najčešće opremljeni porivnim strojem koji može koristiti plinovito i tekuće gorivo (*Dual Fuel Engine*), te isti pokreće jedan vijak upravlјivog uspona krila (CPP –Controllable Pitch Propeller), učinkoviti pramčani bulb, kormilo s zakretnim krilcem (*flap type rudder*) i fine brodske linije za optimalan omjer brzine i snage te nisku potrošnju goriva odnosno plina.

Brod ima jednu glavnu palubnu konstrukciju, na čijem se glavnom središnjem djelu nalaze tankovi za prijevoz LNG-a. Teretni prostor podijeljen je s jednom poprečnom pregradom u 2 spremišta za smještaj teretnih tankova. Uzduž teretnog prostora postavljeni su bočni balastni tankovi, koji u naravi odjeljuju teretni prostor od oplate broda.



Slika 1 LNG brodovi za opskrbu gorivom kapaciteta kapaciteta 3.500 m³

² Navedene površine su procijenjene pojednostavljenim profilima brodova na način da su stvarne veličine približno 5-10% manje od navedenih.

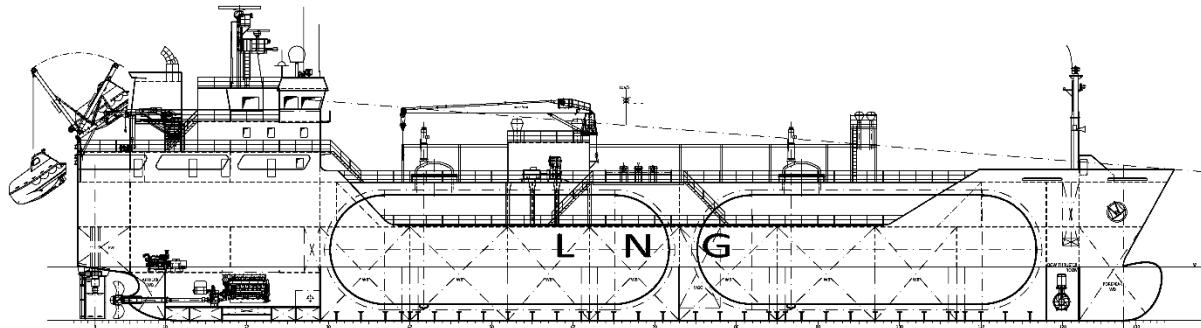
Prostor strojarnice i nadgrađe za smještaj posade, uključujući navigacijski most nalaze se na krmi. U sklopu krmenog dijela trupa smješten je kormilarski uređaj, krmeni balastni tank (*aft peak tank*), te tankovi pitke vode.

Strojarnicu načelno čini prostor gdje je smješten glavni pogonski stroj. Također, strojarnica je dizajnirana sa dovoljno paluba i platformi za učinkoviti raspored pomoćnih strojeva i opreme, skladišnih prostora i tankova goriva.

Navigacijski most je smješten na najvišoj palubi nadgrađa, pružajući sveobuhvatnu vidljivost, nesmetan pogled na horizont i zadovoljavajuću vidljivost nad pramcem. Dio iznad strojarnice sa ispušnim cijevima strojarskih uređaja, odvojen je od nadgrađa.

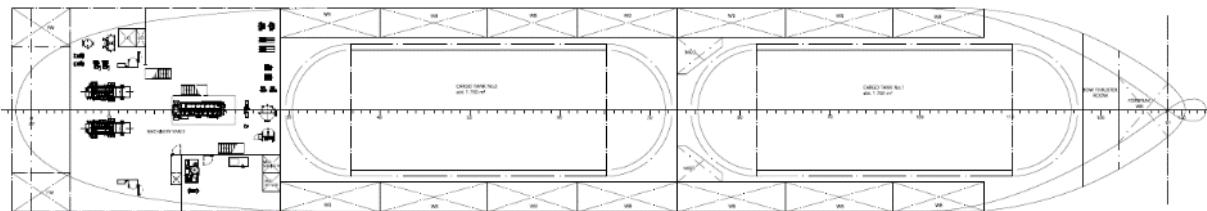
Pramčani dio broda sastoji se od pramčanog balastnog tanka (*Fore peak tank*), odjeljka gdje je smješten pramčani porivnik, lančanik i spreme za palubnu opremu i alat.

Prema dosadašnjim iskustvima LNG brodovi za razvoz pokazuju vrlo dobra manevarska obilježja. Referentni brod opremljen je pramčanim porivnikom s električnim pogonom nazivne vrijednosne snage od 300 kW što je i uobičajena snaga pramčanih bočnih porivnika na sličnim brodovima. Upravljanje pramčanim porivnikom može se daljinski obavljati iz navigacijskog mosta i krila mosta.



Slika 2 Profil LNG referentnog broda kapaciteta 3.500 m³

(Izvor: Technical outline specification for a 3,500 m³ LNG feeder vessel - Inženjering za naftu i plin d.o.o. Zagreb)



Slika 3 Presjek spremnika i strojarnice referentnog broda

(Izvor: Technical outline specification for a 3,500 m³ LNG feeder vessel - Inženjering za naftu i plin d.o.o. Zagreb)

Brod je opremljen s 2 spremnika (tanka) svaki kapaciteta 1.750 m³ te tankom za dizel gorivo kapaciteta od 120 m³.

Tablica 2 Tehničko-tehnološka obilježja referentnog LNG broda kapaciteta 3.500 m³

LNG brod kapaciteta 3.500 m ³	
Duljina (m)	94,1
Širina (m)	15,8
Gaz (m)	4,6
Ukupna nosivost (t)	2.300
Kapacitet (m ³)	3.500
Brzina (čv)	11,6
Snaga motora (kW)	880
Pramčani porivnik (kW)	300

Propulzija koju koriste LNG brodovi za razvoz mora omogućiti odlične manevarske karakteristike. Kod referentnog broda, glavna komponenta pogonskog postrojenja sastoji se od jednog brodskog dizelskog motora (četverotaktni), koji pokreće jedan vijak upravlјivog uspona krila (*CPP –Controllable Pitch Propeller*). Glavni motor je dvostrukog tipa goriva (*Dual Fuel Engine*), odnosno može koristi plinovito i tekuće gorivo. Električnu snagu proizvode 2 generatora (Mitsubishi GS6R2-PTK ili slična), koja također mogu raditi na istoj specifikaciji goriva i plina kao i glavni motor.

Kapaciteti spremnika dizel goriva za sve potrošače dovoljni su za autonomiju od oko 4.000 nautičkih milja u uvjetima projektirane brzine i opterećenjem glavnog motora od 90% MCR (*Maximum Continuous Rating*).

Na temelju specifične potrošnje goriva za glavni motor od cca. 204 g / kWh pod referentnim uvjetima ISO 3046 i nižom toplinskom vrijednošću od 42.700 kJ / kg, dnevna potrošnja goriva iznosi približno 6,6 t. Na temelju specifične toplinske rate za glavni motor, odnosni kada motor korisni plin kao pogonsko gorivo, od oko 8.130 kJ / kWh pod ISO 3046 referentnih uvjeta i niže toplinske vrijednosti od 49.500 kJ / kg, dnevna potrošnja plina iznosi približno 5,3 t (90% MCR).

Također, brod troši vrlo male količine (približno 0,3 t/dan) pilot goriva (MDO, Marine Diesel Oil) u svim načinima rada (plinski i dizelski način rada). U plinskom načinu rada, smjesa komprimiranog plina i zraka se pali ubrizgavanjem pilot goriva.

Na predmetnom brodu teret se prevozi u dva nezavisna IMO spremnika tipa C (cilindričnog oblika), dimenzija $\Phi 9.3 \text{ m} \times \text{B } 29.0 \text{ m}$, s minimalnom projektiranim temperaturom od -163°C. Sustav za LNG na brodu slijedi postupak podizanja pritiska (*pressure built up*) bez ponovnog ukapljivanja plina, ali uključujući i iskorištavanje plina izgaranjem unutar pogonskog sustava. Jedinica za sagorijevanje plinske faze tereta (*GCU – Gas Combustion Unit*) instalirana je na brodu radi dodatne sigurnosti, dopuštajući ukrcaj teretnih spremnika LNG-a do razine punjenja tekuće faze tereta od 98%.

Svaki spremnik opremljen je s jednom pumpom (*cargo pump*) za iskrcaj kapaciteta 175 m³/h. Osim toga, dodatno se u svakom spremniku nalazi i pumpa goriva (*fuel gas pump*) kapaciteta 5 m³/h. Njezin primarni cilj je dovod LNG-a u isparivač goriva i/ili se može koristiti dalje za hlađenje linije tijekom plovidbe.

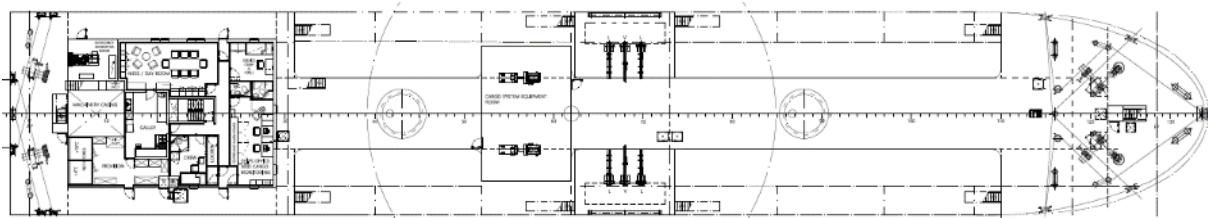
Cjevovodi za teret su izrađeni od nehrđajućeg čelika i sastoje se od cijevi, prirubnica, okova, vijaka, matica, brtivila itd., prema DIN standardima u skladu sa zahtjevima klasifikacijskog društva, odnosno zahtjeva IGC kodeksa.

Cjevovodi za prekrcaj tereta (*Manifold*) sastoje se od tri priključka i to od dva priključka promjera 12" za tekuću fazu te jednog priključka promjera 8" za plinovitu fazu. Kapacitet iskrcaja iznosi maksimalno 350 m³/h, a kapacitet ukrcaja maksimalno 550 m³/h (uključujući povrat plinovite faze). Navedeni kapacitet omogućuje ukrcaj punog broda u približnom vremenu manjem od 12 sati.

Sustav za gorivo na brodu dizajniran je za puni kapacitet pri 100% MCR glavnog motora dvostrukog tipa goriva i jednog pomoćnog motora također dvostrukog tipa goriva s prisilnim isparavanjem i/ili kompresijom plinovite faze LNG-a. Sustav se sastoji od dva BOG (*Boil Off Gas – plinovita faza LNG-a*) kompresora,

tipa s bezuljnim klipom, sa 100% kapaciteta pri 100% MCR DF motora kod 1,05 bara tlaka u spremniku tereta, a koji su smješteni u kompresornici. Isti kompresor može se koristiti i za povrat plinovite faze kod ukrcanja tereta. Važno je naglasiti da u slučaju da plinovita faza LNG-a (BOG) u teretnim spremnicima nije dovoljna da zadovolji brodsku potražnju za gorivom, dodatno gorivo može se proizvesti prisilno isparavanjem. U tu svrhu u svaki spremnik ugrađena je po jedna pumpa za gorivo, koja šalje LNG isparivaču LNG-a (*LNG Vaporiser*). Iz BOG kompresora ili isparivača gorivo se dovodi u glavni motor preko sustava za gorivo.

Referenti brod opremljen je jednom dizalicom za rukovanje prekrcajnim cjevovodom (*manifold crane*) s obje strane broda, a koja se nalazi na sredini broda, tj. teretnog dijela. Dizalica za rukovanje prekrcajnim cjevovodima je električno hidrauličnog tipa, sa slobodnim okretanjem. Nazivno sigurno radno opterećenje dizalice je 4.0 t. Doseg dizalice iznosi približno 16.0 m, te najmanje na područje od 2,0 m preko širine broda po cijeloj duljini manifolda. Također, brod je opremljen jednom električno hidrauličnom dizalicom za rukovanje zalihami i rezervnim dijelovima (*provision crane*), a koja je smještena na krmenom dijelu u blizini nadgrađa. Nominalno sigurno radno opterećenje ove dizalice je 2.0 t, odnosno dovoljno za pravilno rukovanje rezervnim dijelovima. Doseg ove dizalice preko širine broda je najmanje 3.0 m.



Slika 4 Presjek glavne palube referentnog broda

(Izvor: Technical outline specification for a 3,500 m³ LNG feeder vessel/bunker vessel - Inženjering za naftu i plin d.o.o. Zagreb)

Odbojnici između LNG FSRU broda i referentnog broda moraju biti udaljeni približno 15 metara od centra manifolda.

Sva privezna i sidrena vitla na brodu imaju vlastiti električno hidraulični motorni pogon. Privezna vitla pokreću se hidrauličkim sustavom niskog tlaka. Brod je opremljen s ukupno četiri privezna vitla. Od toga dva su smještena na pramcu u kombinaciji s sidrenim vitlima, a dva na krmi kako bi se omogućilo istodobno upravljanje s konopima na pramcu i krmi. Svako sidreno/privezno vitlo ima opciju raditi neovisno kao privezno vitlo i neovisno kao vitlo za upravljanje sidrenim lancem. Sidrena vitla pogone dvije hidraulične jedinice.

Brod je opremljen spasilačkom i zaštitnom opremom za maksimalan predviđeni broj osoba na brodu. Od opreme za spašavanje brod je opremljen splavima za spašavanje koje se nalaze u blizini nadgrađa. Na krmi broda smješten je zatvorena brodica za spašavanje, na sohi tipa slobodnog pada (*free fall lifeboat*) s dizelskim motorom i sa sustavom prskanja vode kao zaštite od požara (*water spray fire protection*). U blizini nadgrađa nalazi se i brodica za prikupljanje, koja ima vlastitu sohu za spuštanje i dizanje.

Brod je opremljen opremom za gašenje požara u skladu s važećim pravilima i propisima. Fiksni sustav za gašenje požara s CO₂ koristi se za prostor strojarnice, upravljačke sobe strojarnice, prostorije električnih razvodnih ploča, kompresornice i prostorije u kojoj se nalazi generator za nuždu (*emergency generator*). Lokalni sustavi za gašenje požara s CO₂ pokriva skladište boja i kuhinju.

Protupožarni sustav morskom vodom pokriva područje glavne palube uključujući i manifold, prostor strojarnice uključujući i prostoriju s kormilarskim uređajem, kao i nadgrađe. Sustav služe protupožarne (*fire pump*) i opće servisne pumpe (*general service pump*) u strojarnici, te protupožarna pumpa za nuždu (*emergency fire pump*). Fiksni sustav za gašenje prahom (*Dry Powder System*) pokriva područje glavne

palube i manifolda. Sustav vode za prskanje (Spray Water System) pokriva prednji dio nadgrađa, glavne palube, manifolda i kompresornice. Protupožarna zaštita na brodu ima visoku učinkovitost.

2.2 LNG BROD KAPACITETA 7.500 m³

LNG brodovi kapaciteta od 7.500 m³ predstavljaju noviju generaciju LNG brodova za razvoz, odnosno za opskrbu gorivom. Kao referentni brod uzet je LNG brod tipa „Avenir Accolade“.



Slika 5 LNG brod „Avenir Accolade“ kapaciteta 7.500 m³ (Izvor: <https://avenirlng.com/vessels/>)

Zbog svojih operativnih mogućnosti, brodovi navedenih veličina su dobrih manevarske osobine i maritimnih sposobnosti. Uobičajeno su opremljeni jednim porivnim vijkom sa „Flap“ izvedbom kormila te pramčanim bočnim porivnikom koji omogućuje lakše manevriranje na uskim prilazima te prilikom samog pristajanja uz bok drugih brodova ili terminala. Nadalje, ovakve manevarske osobine omogućuju uporabu manjeg broja tegljača prilikom pristajanja odnosno manevra priveza i odveza čime se smanjuju i operativni troškovi.

Za ovaku veličinu brodova, u praksi se uobičajeno koriste dva tegljača prilikom priveza. Brodovi su obično niskog nadvođa, tj. područje za prihvatanje tegljača je ograničeno, pa su jedina područja na kojima se vrši siguran prihvatanje tegljača na samim krajevima, tj. na pramcu i krmi broda.

Tablica 3 Tehničko-tehnološka obilježja referentnog LNG broda kapaciteta 7.500 m³ („Avenir Accolade“)

LNG brod kapaciteta 7.500 m ³	
Duljina (m)	123,44
Širina (m)	18,60
Gaz (m)	5,65
Ukupna nosivost (t)	4.500
Kapacitet (m ³)	7.500
Brzina (cv)	13,5
Snaga motora (kW)	2.250
Pramčani porivnik (kW)	250

Najveću primjenu LNG brodovi kapaciteta 7.500 m³ zadobili su u opskrbi drugih trgovačkih brodova koji koriste LNG kao pogonsko gorivo. Sa porastom broja plutajućih prihvatnih terminala za skladištenje, uplinjavanje te prekrcaj (LNG FSRU brodova) u svijetu, ovi brodovi često pristaju na FSRU brodove radi

prekrcaja te razvoza LNG-a unutar plovnog područja gdje se sam FSRU brod nalazi. Ovakva se operacija prekrcaja sa FSRU na manji brod naziva eng. "reload" operacija.



Slika 6 Izvedba priključne platforme na dvije razine

Zbog velikih razlika u pogledu karakteristika manipulacijskih priključnih cjevovoda za ukrcaj te iskrcaj LNG-a na koje manji LNG brodovi pristaju, brodovi su dizajnirani tako da su priključnice za spajanje sa tankovima na obali ili na drugom brodu na različitim visinama što omogućuje ticanje većeg broja ukrcajno/prekrcajnih terminala. Navedeno uvjetuje da su manipulativni fleksibilni cjevovodi također odgovarajuće duljine. Uobičajeno su brodovi izgrađeni sa dvije platforme, donja i gornja manipulativna platforma, na kojima se nalaze svi priključci i ventili za manipulaciju. Dizalica koja je smještena na sredini broda, omogućuje manipulaciju fleksibilnim cjevovodima te je svojom veličinom dostatna da obuhvati obje brodske strane.





Slika 7 Privez LNG bunker broda na trgovački brod



Slika 8 Opskrba gorivom broda za kružna putovanja sa LNG bunker broda kapaciteta 7.500 m³

Dodatna posebnost navedenih brodova je posjedovanje vlastitih odbojnika koji se nalaze na palubi LNG broda te su predviđeni za automatsko spuštanje i podizanje. Navedeno u konačnici olakšava samu pripremu broda za prihvat na drugi brod ukoliko se radi o prekrcaju LNG-a na drugi trgovacki brod koji koristi LNG kao pogonsko gorivo.

Veličina odbojnika je optimizirana da se prilikom boravka LNG bunker broda omogući siguran boravak uz bok prihvatanog broda u pogledu održavanja sigurnosne razdaljine bilo u zaštićenim područjima (npr. pristanu u lučkom bazenu) ili na vanjskim sidrištima luka gdje stanje mora tj. visina valova ima veliki utjecaj na siguran boravak LNG bunker broda. Odbojnici moraju biti postavljeni na sigurnu udaljenost prema pramcu ili krmi mjereno od centra manipulativno prihvatanog cjevovoda (parni cjevovod-Vapor manifold) odnosno centra platforme manifolda.



Slika 9 Odbojnici te dizalice na LNG bunker brodu

Kako se na FSRU terminalu u Omišlju predviđa prihvat navedenih brodova, za siguran boravak pretpostavlja se korištenje već postojećih „Yokohama“ odbojnika. Korištenje odbojnika za privez moguće je uz obavljenu studiju usklađenosti (*Compatibility study*) koja određuje i sile na privezne konope.

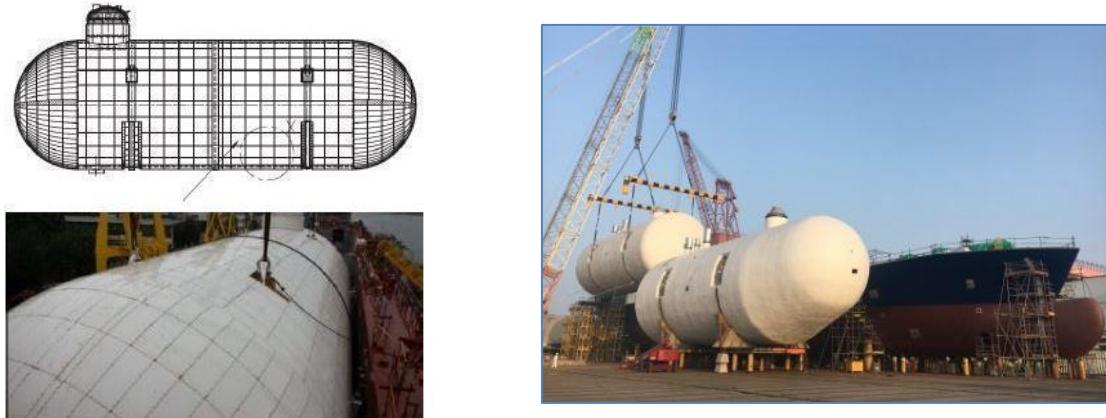


Slika 10 Privez LNG bunker broda na LNG FSRU brod

Obzirom da na FSRU terminal pristaju i drugi LNG brodovi kapaciteta većeg od 140.000 m³ odbojnici LNG FSRU broda, u slučaju da se koriste odbojnici „Yokohama“ od FSRU broda, isti se moraju se razmjestiti na način da omoguće potpuno naslanjanje manjega LNG broda za razvoz sa svojom ravnom površinom trupa (Flat hull side).. Zbog velikih dimenzija postojećih odbojnika (9.00m x 4.50 m) pozicioniranje manjih tzv. “baby fenders“ na samim krajevima (pramac-krma) FSRU broda u ovom slučaju uobičajeno nije potrebno. Posebnu pažnju treba posvetiti položaju odbojnika da u niti jednom trenutku ne dospiju u poziciju ispod priključne platforme za manipulaciju teretom zbog sigurnosnih razloga te same zaštite istih u slučaju curenja tekućeg LNG-a pri prekrcaju kao i utjecaja zapljuškivanja morskom vodom iz vodene zavjese kojim je to područje pokriveno tijekom cijele operacije prekrcaja.

Vrsta tankova koji se ugrađuju općenito na LNG brodove manjih kapaciteta su neovisni tipovi tankova IMO "C". Tankovi tipa "C" omogućuju veću fleksibilnost u pogledu komercijalnih operacija jer nemaju restrikcije u djelomičnom punjenju, tj omogućuju punjenje tankova do bilo koje razine.

Najveća prednost ovakvih izvedba tankova je u radnim tlakovima jer omogućuju tlakove do 5 bara što u konačnici olakšava zbrinjavanje i upravljanje sa parama tereta za vrijeme samih operacija ukrcaj/iskrcaj te za vrijeme navigacije kad se pare tereta koriste za propulziju prilikom izgaranja u samim generatorima ili glavnom motoru.



Slika 11 Tank IMO "C" teretnog tanka na LNG brodovima kapaciteta 7.500 m³

Brodovi uobičajeno imaju maksimalnu ukrcajnu ratu od 700 m³/sat te uobičajeno 4 teretne pumpe svaka kapaciteta 250 m³/sat.

Najnoviji koncept LNG bunker brodova kapaciteta 7.500 m³ jesu brodovi koji su napravljeni bez balastnih tankova tzv. *Ballast free* brodovi.

Ovakav koncept brodova ne zahtjeva ugradnju opreme za manipulaciju balastnim vodama te gradnju i održavanje balastnih tankova što u konačnici ima prednosti ponajviše u pogledu zaštite morskoga okoliša te skraćivanja trajanja operacija prekrcaja. Obzirom da su ovakvi tipovi brodova prvenstveno namijenjeni za razvoz u lučkim bazenima u te u razvozu gdje su vremena između odredišnih pozicija veoma kratke, u budućnosti se može očekivati veća zastupljenost LNG brodova manjih kapaciteta 7.500 m³ bez balastnih tankova .



Slika 12 Ilustracija "Ballast free" LNG broda kapaciteta 7.500 m³

2.3 LNG BRODOVI KAPACITETA OD 20.000 M³ DO 30.000 M³

LNG Small Scale brodovi kapaciteta 20.000 m³ ili više, kao i prethodno referentni brodovi namijenjeni su za sekundarnu distribuciju LNG-a, odnosno za prijevoz manjih količina LNG-a sa lokalnog prihvatnog LNG terminala prema manjim potrošačima što može uključivati i pružanje usluge LNG bunker opskrbe drugih brodova.

Tablica 4 Tehničko-tehnološka obilježja brodova za razvoz kapaciteta od 20.000 m³ do 30.000 m³

	Kapacitet 20.000 m ³ (referenti brod)	Kapacitet 30.000 m ³
Duljina (m)	160	180 - 185
Širina (m)	24,0	28,0 - 36,0
Gaz (m)	8,0	7,4 - 7,8
Ukupna nosivost (t)	12.500	15.000 – 18.500
Kapacitet (m ³)	20.000	30.000
Deplasman (t)	22.670	35.000 – 40.000
Brzina (čv)	15,5	15,0 – 16,0
Snaga motora (kW)	7.200	8.000 – 10.000
Pramčani porivnik (kW)	1.000 – 1.500	1.000 - 1.500



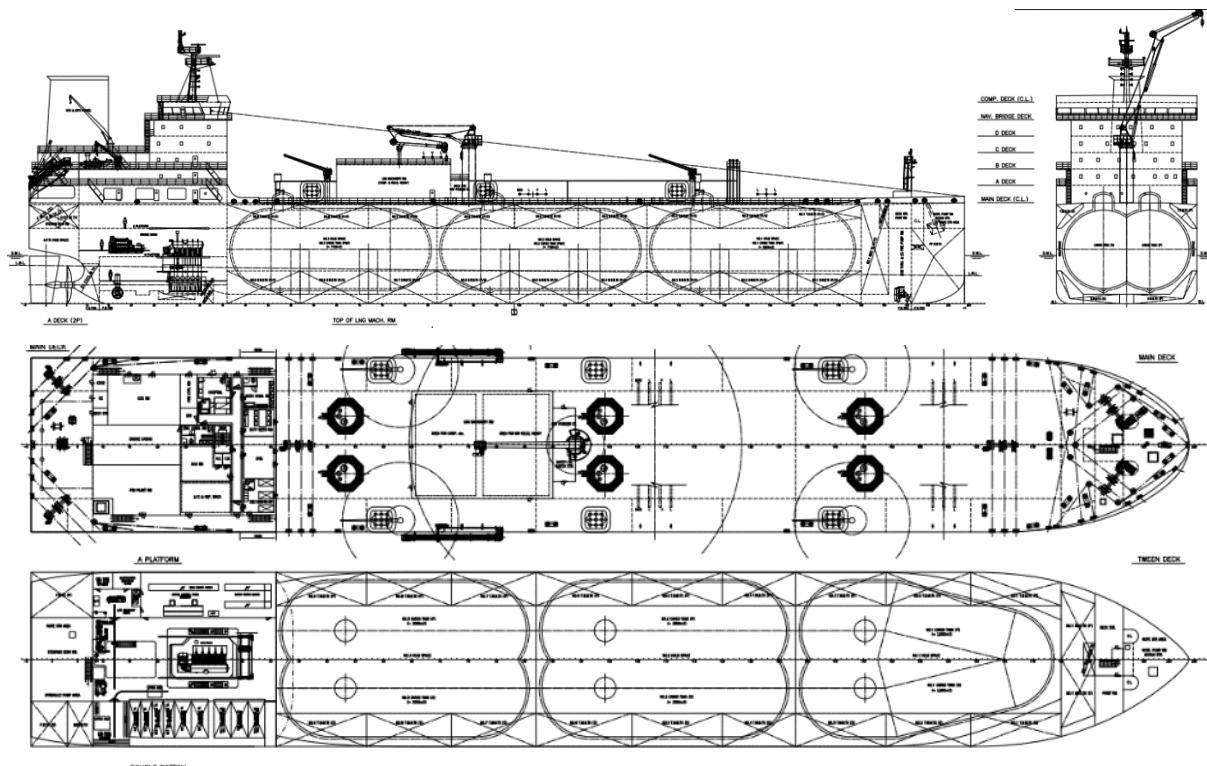
Slika 13 Referentni brod kapaciteta od 20.000 m³

U načelu, kao i ostali LNG Small scale brodovi navedeni brodovi su građeni sa dobrom maritimnim sposobnostima. Uobičajeno su opremljeni sa jednim porivnim vijkom (*Controllable pitch propeller - CPP*), te standardnom balansnom ili polu balansnom izvedbom kormila. Standardna manevarska oprema uključuje pramčane, a u nekim izvedbama (ovisno o operativnim zahtjevima područja djelovanja) i krmenе bočne porivnike snage od 1.000-1500 kW koji omogućuju lakošte i sigurnije manevriranje kod uskih prilaza, lučkih bazena te pristajanje uz bok drugih brodova, FSRU terminala ili obalnih LNG pristana. Prema dosadašnjim iskustvima LNG brodovi za razvoz pokazuju dobra manevarska obilježja pri malim brzinama kretanja.

Propulzija referentnog broda za razvoz od 20.000 m³ omogućava odlične manevarske karakteristike. Glavni pogonski stroj je XDF dual fuel tipa proizvođača tvrtke WinGD. Glavni stroj dual fuel tipa WinGD RT-flex50DF dizajniran je za upotrebu sa prirodnim plinom (BOG) kao glavnim gorivom u kombinaciji s dieselom (*Low-sulphur marine gas oil - LSMGO*) kao rezervnim gorivom u različitim omjerima. Uobičajeno je korištenje kombinacije (Plin/LSMGO) ili samo LSMGO prilikom samog manevriranja broda radi sigurnosti. Prilikom manevriranja koristiti će se najsigurnija opcija u skladu sa tehničkim obilježjima broda.

Zajedničko obilježje svih LNG brodova za razvoz je kormilarnica s punom vidljivosti (360°) te ravna paluba.

U nakrcanom stanju, pri srednjem gazu od 8,10 m minimalno nadvođe referentnoga broda jest približno 8,60 metara, što pretpostavlja da je područje za prihvati ili asistenciju lučkih tegljača cijelom dužinom nadvodnoga dijela broda uzduž paralelnog srednjaka moguće te nije ograničeno samom visinom nadvođa kao što je slučaj kod manjih tipova brodova za opskrbu LNG-om. Ojačani dijelovi trupa za ticanje odnosno bočno djelovanje tegljača porivnom silom, posebno su označena na bokovima broda. Brodovi posjeduju i svu standardnu i potrebnu opremu na pramcu i krmi broda što omogućuje prihvat tegljača odnosno teglenih užadi na samim krajevima broda (na pramcu i krmi broda) te siguran privez broda.



Slika 14 Plan referentnog broda za opskrbu LNG goriva kapaciteta 20.000 m³

Konkretno, referentni brod posjeduje pramčani porivnik koji se može uvući u trup tzv *Retractable Azimuth Forward Thruster*.

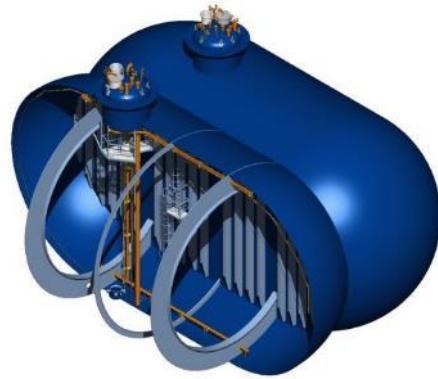


Slika 15 Pramčani azimutalni porivnik koji se može uvući u trup (*Retractable type bow thruster*)

Teretni sustav broda sastoji se od 3 (tri) IMO tip "C" LNG tanka (tzv. "bilobe" tipa za kriogene terete) temperature do -163 C, podijeljenih na dva dijela uzdužno.

Ukupan kapacitet tereta referentnoga broda iznosi 20.000 m³, odnosno 19.600 m³ pri maksimalnoj ukrcajnoj visini tereta u tankovima koja čini 98.5 % volumena svih tankova tereta.

Kapaciteti teretnih tankova su slijedeći: tank broj 1 kapaciteta 6.000 m³ te tankovi broj 2 i 3 kapaciteta 7.000 m³, odnosno 5.880 m³ i 6.860 m³ pri 98% napunjenošći.



Slika 16 IMO "C" teretni tank tipa „Bilobe“

Svaki tank tereta opremljen je sa 2 (dvije) crpke tereta deepwell tipa kapaciteta 350 m³/sat te sa dvije sprej ili "stripping" crpke kapaciteta od 2 m³/sat. Teretni sustav obuhvaća i kompresornicu na palubi opremljenu sa 2 kompresora plinske faze kapaciteta 949 kg/hr za povrat plina prilikom operacija prekrcaja tereta te i postrojenje za djelomično ukapljivanje (*Partial reliq plant*).

Dio teretnog sustava je i GCU koji je lociran na C palubi brodskog nadgrađa sa ispušnim cjevovodom u kućištu brodskog dimnjaka.

Referentni je brod dizajniran sa tri prekrajna cjevovoda sa obje strane broda od kojih je jedan bliže pramcu, drugi na sredini broda, a treći bliže krmi te povišen što brodu daje fleksibilnost pri operacijama prekraja goriva za različite dimenzije prihvatnih brodova.

Brod posjeduje odbojnike (jednu ili dvije grupe od dva odbojnika) na obje strane broda sa vlastitim sustavom za spuštanje i dizanje.

Dizalica koja je smještena na sredini broda, omogućuje manipulaciju fleksibilnim cjevovodima te je svojom veličinom dostađna da obuhvati obje brodske strane. Dizalica na sebi ima ugrađene fleksibilne cijevi za tekuću i plinsku fazu povrata plina sa svim potrebnim ventilima.

Kao i kod prethodno opisanih brodova, sustav odbojnika je predviđen za automatsko spuštanje i podizanje istih što u konačnici olakšava samu pripremu broda za prihvat na drugi brod ukoliko se radi o prekrcaju LNG na brod koji koristi LNG kao pogonsko gorivo. Veličina odbojnika su optimizirane da prilikom boravka LNG broda omogući siguran boravak tijekom opskrbe uz bok prihvatnog broda u pogledu održavanja sigurnosne razdaljine bilo u zaštićenim područjima ili na vanjskim sidrištima luka gdje stanje mora tj. visina valova ima veliki utjecaj na siguran boravak i operacije.



Slika 17 LNG brod za razvoz kapaciteta 30.000 m³

Brodovi kapaciteta od 30.000 m³ načelno se koriste isključivo za prijevoz LNG-a u razvozu između prihvatnih terminala stoga oni koriste odbojnike na prihvatnom terminalu ili odbojniku LNG FSRU broda.

Privezna i sidrena oprema referentnog LNG broda sastoji se od hidrauličnih kombiniranih 4 sidrenih i 2 pritezna vitla.

Prema navedenom može se zaključiti:

- (1) LNG brodovi za razvoz smatraju se LNG brodovi kapaciteta do 30.000 m³. Brodovi su namijenjeni prijevozu manjih količina LNG-a na kraćim udaljenostima odnosno unutar jedne regije te za opskrbu brodova gorivom brodova koji LNG koriste za pogon. Brodovi navedenih veličina nazivaju se „Small-Scale LNG Ships“.
- (2) Referentni brodovi u ovoj studiji smatraju se brodovi kapaciteta 3.500 m³, 7.500 m³, 20.000 m³ te 30.000 m³ veličina i tehničko-tehnoloških obilježja kako su navedene u studiji.
- (3) Referentni LNG brodovi za razvoz prema dosadašnjim iskustvima pokazuju vrlo dobra manevarska obilježja te su uobičajeno opremljeni pramčanim porivnikom.



- (4) LNG brodovi kapaciteta do 20.000 m³ uobičajeno posjeduju odbojnice (jednu ili dvije grupe od dva odbojnika) na obje strane broda sa vlastitim sustavom za spuštanje i dizanje koji omogućuju pristajanje na druge brodove.
- (5) Na LNG brodovima za razvoz teret se uobičajeno prevozi u nezavisnim spremnicima (tankovima) cilindričnog oblika IMO tipa C.



3 MJERE MARITIMNE SIGURNOSTI

Mjere maritimne sigurnosti uključuju mjere koje moraju osigurati dovoljan stupanj sigurnosti pri manevru priveza i odveza, kao i boravak LNG broda na FSRU brodu. Procjena sigurnosti manevriranja i boravka broda na vezu polazi od određivanja utjecaja vanjskih sila na brod, FSRU brod i potrebnog najmanjeg broja i snage tegljača te postupka manevra.

3.1 PROCJENA DUBINA

Za siguran manevar iz bilo kojeg smjera i boravak najvećih LNG brodova „Maritimnom studijom za LNG FSRU terminal Krk“³ predviđeno je produbljivanje/jaružanje⁴ pličina ispred terminala na dubinu najmanje -15 m.⁵ Jaružanjem pličina zajamčen je siguran pristanak odnosno odlazak brodova najveće predviđene veličine u svim uvjetima morskih mijena, stanja valova odnosno atmosferskih tlakova. Naime, najveći gaz razmatranih LNG brodova za razvoz iznosi do 8,5 metara što omogućuje sigurno manevriranje u svim okolnostima, odnosno UKC u bilo kojem trenutku je značajno veći od 1,0 metar što se može smatrati UKC koji omogućuje siguran privez i boravak LNG broda za razvoz.

Sukladno navedenom dubina mora je sigurna za manevriranje najvećih LNG brodova za razvoz, pa time i referentnih odnosno svih manjih LNG brodova za razvoz.

3.2 PROCJENA VANJSKIH SILA

Pri procjeni meteoroloških i oceanoloških utjecaja na sigurnost broda pri manevriranju i na privezu promatrani su referentni LNG brodovi za razvoz kako su opisani u prethodnom poglavljiju.

Procjena utjecaja polazi od sljedećih pretpostavki:

- pri manevriranju se razmatraju najveće sile iz najnepovoljnijih smjerova vjetra;
- pri privezu se razmatraju samo najznačajniji vjetrovi: bura (NNW), zapadni vjetar (WNW) i lebić (SW); ostali vjetrovi se zanemaruju zbog značajno manje brzine, učestalosti ili manjeg utjecaja na brod zbog položaja pristaništa i konfiguracije kopna;
- referentni brod je objekt razmjerno velike inercije; pretpostavlja se da kratkotrajni udari vjetra ne mogu izazvati dovoljno brzi odziv koji bi izazvao odgovarajuću silu na sustav priveza broda; stoga se uzimaju u obzir 20-sekundne srednje brzine vjetra i sile koju oni proizvode;
- koeficijenti otpora jesu oni dobiveni istraživanjem modela referentnih LNG brodova;⁶
- ukupna sila vjetra rastavlja se na uzdužnu i poprečnu komponentu.

3.2.1 Utjecaj vjetra

Poprečna i uzdužna sila vjetra F_v kojima vjetar djeluje na LNG brod za razvoz procijenjene su na temelju izraza:

³ Maritimnu studiju je izradio Pomorski fakultet u Rijeci na temelju ugovora s EKONERG-om d.o.o. u okviru Javnog natječaja za izradu „Usluge izrade projektne i dozvoljene dokumentacije za izgradnju LNG FSRU terminala Krk i konzalting usluge za ishođenje potrebnih dozvola i suglasnosti: Izrada FEED i izrada glavnog projekta za LNG FSRU terminal Krk sa sustavom za opskrbu energijom i ishođenje građevinske dozvole“ iz 2017. godine.

⁴ Radovi na produbljivanju su u tijeku te je planiran završetak radova u svibnju 2021. godine.

⁵ Sukladno Studiji o utjecaju zahvata na okoliš *Uvozni terminal za ukapljeni prirodni plin na otoku Krku*, Oikon d.o.o. Institut za primjenjenu ekologiju, 2013, Zagreb.

⁶ Prema OCIMF Predictions of Wind & Current Loads on VLCC's, 1994 i SIGTTO Prediction of Wind Loads on Large Liquefied Gas Carriers 2007. S obzirom da nisu dostupni podaci o istraživanju utjecaja vanjskih sila na manjim LNG opskrbnim brodovima za razvoz, preuzeti su koeficijenti većih LNG brodova sličnih obilježja odnosno presjeka.

$$F_v = C_{v(\alpha)} \cdot \left(\frac{\rho_v}{7600} \right) \cdot V_v^2 \cdot A$$

gdje je:

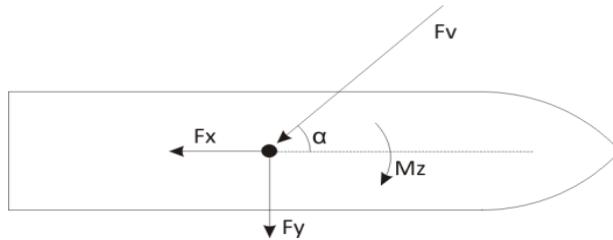
- F_v – sila vjetra [t],⁷
- $C_{v(\alpha)}$ – koeficijent otpora zraka tijela izloženog djelovanju vjetra (posebne vrijednosti su za brodove sa prizmatičnim tankovima pod različitim kutovima upada vjetra),
- ρ_z – gustoća zraka [$\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$]⁸,
- V_v – brzina vjetra [m/s]⁹,
- A – površina nadvodnog djela plovila [m^2].

Moment zaošijanja LNG broda utjecajem vjetra procjenjuje se na temelju izraza:

$$M_z = C_{vz(\alpha)} \cdot \left(\frac{\rho_v}{7600} \right) \cdot V_v^2 \cdot A \cdot LPP$$

gdje je:

- M_z – moment zaošijanja broda [tm],
- $C_{vz(\alpha)}$ – koeficijent momenta zaošijanja uslijed utjecaja vjetra (posebno za brodove sa sferičnim i prizmatičnim tankovima),
- LPP – dužina broda između okomica [m].



Slika 18 Uzdružna (F_x) i poprečna (F_y) komponenta sile vjetra na brod te moment zaošijanja (M_z)

Izračun sila i momenta zaošijanja izvršen je za vjetar jačine 25 čvorova ($\approx 13 \text{ m/s}$ odnosno 6 Beauforta) što se može pretpostaviti kao najjači vjetar za vrijeme kojeg se dopušta manevr pristajanja.

⁷ Sila vjetra izražava se u tonama kako bi se održala slijednost u odnosu na korištene izvore.

⁸ Gustoća zraka iznosi $0,1248 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ na temperaturi od 20°C .

⁹ U izraz se unosi vrijednost brzine vjetra mjerena na visini od 10 m iznad površine mora..



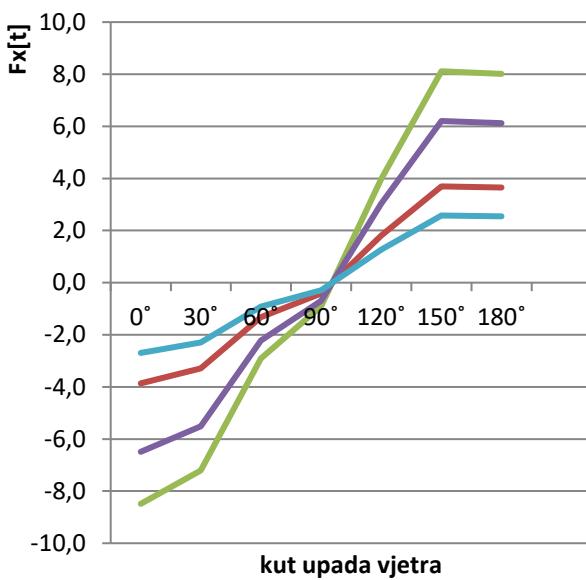
Tablica 5 Sile vjetra i momenta zaošijanja pri raznim upadnim kutovima vjetra

Referentni brod 1 – 3.500 m ³					Referentni brod 2 – 7.500 m ³			
Kut	Fx [t]	Fy [t]	Fv [t]	Mz [tm]	Fx [t]	Fy [t]	Fv [t]	Mz [tm]
0°	-2,7	0,0	2,7	1,0	-3,9	0,0	3,9	1,9
30°	-2,3	5,0	5,5	-42,1	-3,3	8,2	8,8	-84,0
60°	-0,9	9,9	9,9	-30,6	-1,3	16,0	16,1	-61,1
90°	-0,3	11,0	11,0	51,6	-0,4	17,7	17,7	103,1
120°	1,3	9,5	9,6	146,2	1,8	15,3	15,5	292,1
150°	2,6	5,0	5,7	137,6	3,7	8,2	9,0	274,9
180°	2,5	0,0	2,5	0,0	3,6	0,0	3,6	0,0

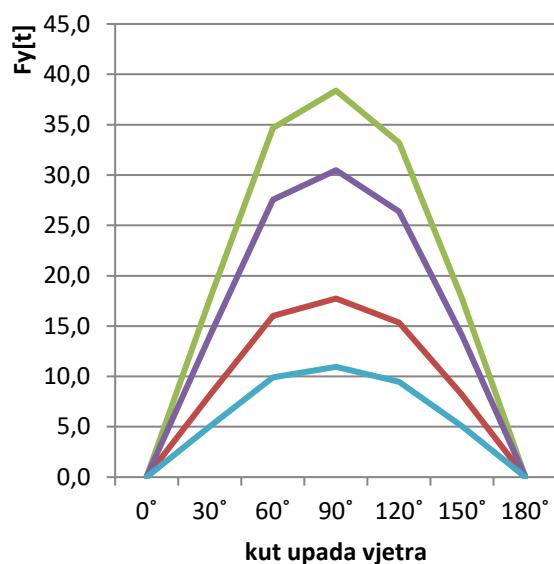
Referentni brod 3 – 20.000 m ³					Referentni brod 3 – 30.000 m ³			
Kut	Fx [t]	Fy [t]	Fv [t]	Mz [tm]	Fx [t]	Fy [t]	Fv [t]	Mz [tm]
0°	-6,5	0,1	6,5	4,3	-8,5	0,1	8,5	6,3
30°	-5,5	14,0	15,1	-189,0	-7,2	17,7	19,1	-276,4
60°	-2,2	27,5	27,6	-137,4	-2,9	34,7	34,8	-201,0
90°	-0,7	30,5	30,5	231,9	-0,9	38,4	38,4	339,2
120°	3,0	26,4	26,6	657,2	4,0	33,2	33,5	961,0
150°	6,2	14,0	15,4	618,5	8,1	17,7	19,5	904,5
180°	6,1	0,1	6,1	0,0	8,0	0,1	8,0	0,0

Na priloženim grafikonima prikazani su rezultati sile vjetra i momenta zaošijanja referentnih LNG brodova za razvoz prema sljedećoj legendi:

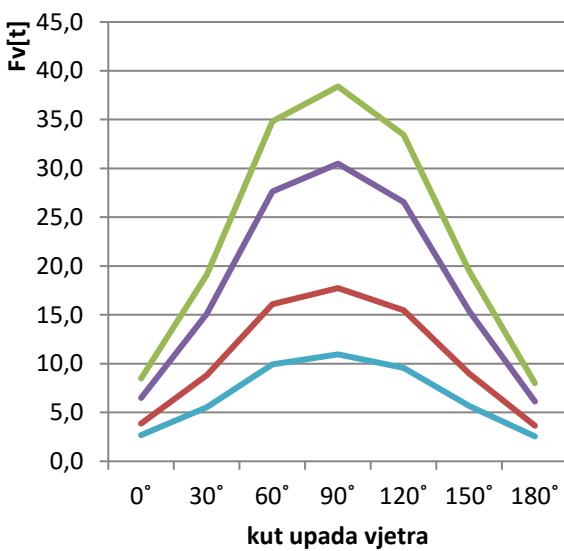
- plavo - brod kapaciteta 3.500 m³,
- crveno - brod kapaciteta 7.500 m³,
- ljubičasto - brod kapaciteta 20.000 m³ i
- zeleno - brod kapaciteta 30.000 m³.



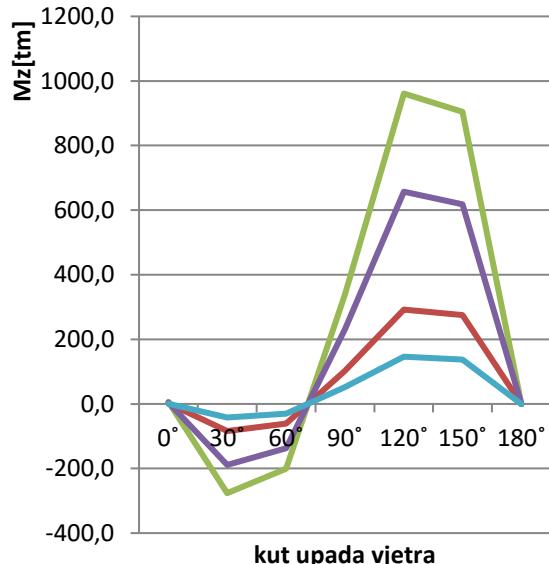
Slika 19 Uzdužne komponente sile vjetra



Slika 20 Poprečne komponente sile vjetra



Slika 21 Ukupna sila vjetra



Slika 22 Momenti zaošijanja brodova

Prema dobivenim rezultatima najveća ukupna sila vjetra na promatrane brodove postiže se u slučaju bočnog vjetra kada je vjetru izložena najveća površina broda. Uzdužna komponenta vjetra najizraženija je u slučaju kuta vjetra od 0° odnosno ravno u pramac. Najveći moment zaošijanja postiže se pri kutu upada vjetra od 120° odnosno u krmenu četvrt što je i očekivano s obzirom da je kod ovakvih brodova izložena površina veća na krmenom dijelu broda zbog izložene površine nadgrađa, koja se ističe u odnosu na izloženu površinu prostora tankova.

Prema navedenom, za najmanji referentni brod kapaciteta 3.500 m^3 najveća ukupna sila vjetra iznosi približno 11 t, najveća uzdužna komponenta vjetra iznosi približno 2,7 t dok najveći moment zaošijanja iznosi oko 146,2 tm.

Za referentni brod kapaciteta 7.500 m^3 najveća ukupna sila vjetra iznosi približno 17,7 t, najveća uzdužna komponenta vjetra iznosi približno 3,9 t dok najveći moment zaošijanja iznosi oko 292,1 tm.

Za referentni brod kapaciteta 20.000 m^3 najveća ukupna sila vjetra iznosi približno 30,5 t, najveća uzdužna komponenta vjetra iznosi približno 6,5 t dok najveći moment zaošijanja iznosi oko 657,2 tm.

Nadalje, za referentni brod kapaciteta 30.000 m^3 najveća ukupna sila vjetra iznosi približno 38,4 t, najveća uzdužna komponenta vjetra iznosi približno 8,5 t dok najveći moment zaošijanja iznosi oko 961 tm.

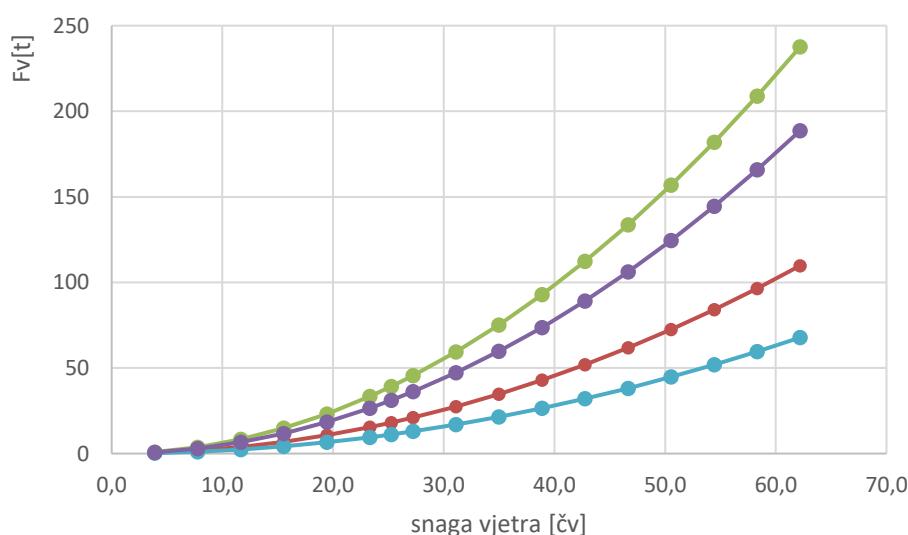
Za vrijeme manevra kada je brod u neposrednoj blizini i postavljen lijevim bokom usporedno sa FSRU-om te za vrijeme boravka na vezu brod će biti postavljen u kursu 225° . Upadni kutovi te procijenjene sile za vjetrove iz značajnih smjerova (bura - NNE, lebić - SW i zapadni vjetar - WNW) prikazane su u sljedećoj tablici.

Tablica 6 Procijenjene ukupne sile vjetra od 25 čv iz značajnih smjerova za brod privezan lijevim bokom

Smjer vjetra i približan kut upada vjetra na brod	Referentni brod 1 (3.500 m^3)	Referentni brod 2 (7.500 m^3)	Referentni brod 3 (20.000 m^3)	Referentni brod 4 (30.000 m^3)
NNE / 160°	4,7 t	7,2 t	12,3 t	15,7 t
WNW / 70°	10,2 t	16,6 t	28,5 t	36,0 t
SW / 0°	2,7 t	3,9 t	6,5 t	8,5 t

Prema navedenim proračunima pri brzini vjetra od 25 čvorova na LNG brodove za razvoz najviše će utjecati vjetar iz zapadnog smjera obzirom da vjetar iz zapadnog smjera djeluje gotovo okomito na bok broda i najveću izloženu površinu. U slučaju vjetrova iz prvog kvadranta, posebice bure i levanta, LNG brod za razvoz za vrijeme boravka na vezu uz FSRU brod će biti većim dijelom zaklonjen od FSRU broda te će sila vjetra na njega biti značajno manja od ovdje navedene.

U slučaju vjetra jačeg od 6 Beauforta ($>25 \text{ čv}$) nastupaju vremenske prilike u kojem manevr pristajanja nije dopušten. Međutim, u slučaju da je brod na privezu valja računati na sile vjetra koje utječu na njega. U nastavku je prikazana procijenjena sila vjetra na referentne brodove za bočni vjetar (njepovoljniji) te za najznačajnije smjerove za različite brzine vjetra.



**Slika 23 Bočna sila vjetra (upadni kut 90°) za različite brzine vjetra
(plavo – ref. brod 1; crveno – ref. brod 2 , ljubičasto – ref. brod 3; zeleno – ref. brod 4)**

Tablica 7 Ukupna sila za vjetrove jače od 6 Bf iz značajnog smjera - referentni brod 1 (3.500m^3)

Smjer vjetra i kut upada	30 čv (15m/s – 7Bf)	40 čv (20m/s – 8/9 Bf)	50 čv (25m/s – 10 Bf)	58 čv (30m/s – 11 Bf)
NNE 160°	6,7 t	11,9 t	18,6 t	24,9 t
SW 0°	3,9 t	6,9 t	10,8 t	14,5 t
WNW 70°	14,8 t	26,2 t	41,1 t	55,3 t

Tablica 8 Ukupna sile za vjetrove jače od 6 Bf iz značajnih smjerova - referentni brod 2 (7.500m^3)

Smjer vjetra i kut upada	30 čv (15m/s – 7Bf)	40 čv (20m/s – 8/9 Bf)	50 čv (25m/s – 10 Bf)	58 čv (30m/s – 11 Bf)
NNE 160°	10,4 t	18,5 t	28,8 t	38,8 t
SW 0°	5,6 t	10 t	15,5 t	20,8 t
WNW 70°	23,9 t	42,6 t	66,5 t	89,5 t

Tablica 9 Ukupna sila za vjetrove jače od 6 Bf iz značajnih smjerova – referentni brod 3 (20.000m^3)

Smjer vjetra i kut upada	30 čv (15m/s – 7Bf)	40 čv (20m/s – 8/9 Bf)	50 čv (25m/s – 10 Bf)	58 čv (30m/s – 11 Bf)
NNE 160°	17,7 t	31,5 t	49,1 t	66,2 t
SW 0°	9,3 t	16,6 t	26,0 t	34,9
WNW 70°	41,1 t	73,2 t	114,3 t	153,8 t

Tablica 10 Ukupna sila za vjetrove jače od 6 Bf iz značajnih smjerova - referentni brod 4 (30.000m^3)

Smjer vjetra i kut upada	30 čv (15m/s – 7Bf)	40 čv (20m/s – 8/9 Bf)	50 čv (25m/s – 10 Bf)	58 čv (30m/s – 11 Bf)
NNE 160°	22,5 t	39 t	62,6 t	84,3 t
SW 0°	12,2 t	21,7 t	34 t	45,7 t
WNW 70°	51,8 t	92,1 t	144 t	193,7 t

Za vrijeme vjetrova izravno u pramac ili krmu, te u manjoj mjeri u pramčani ili krmeni kvadrant, valja imati na umu uravnoteženost priveza uslijed strujanja između broda za razvoz i FSRU broda. Takvo uzdužno strujanje vjetra može uzrokovati međusobno razdvajanje jedne i privlačenje druge strane manjeg broda ovisno o smjeru puhanja. Moguće pomake moguće je sprječiti pravovremenom provjerom stanja „yokohama“ odbojnika i privezne užadi odnosno uravnoteženjem sila na priveznoj užadi.



3.2.2 Utjecaj morske struje

Sila koju uzrokuje morska struja na privezani brod određena je prema izrazu:

$$F_{ms} = C_{ms(\alpha)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot v_{ms}^2 \cdot A_{ms}$$

gdje je:

- F_{ms} – sila morske struje koja djeluje na plovilo [N],
 $C_{ms(\alpha)}$ – koeficijent otpora vode tijela izloženog djelovanju morske struje,
 ρ_v – gustoća morske vode u kojoj se nalazi plovilo [kg/m^3],
 v_{ms} – brzina morske struje [m/s],
 A_{ms} – površina podvodnog dijela plovila [m^2].

Za slučaj referentnih brodova vrijedi slijedeće:

- Za referentni brod 1 izložena podvodna površina broda kreće se u rasponu od 430 m^2 (bočno) do 70 m^2 (frontalno);
- Za referentni brod 2 izložena podvodna površina broda kreće se u rasponu od 700 m^2 (bočno) do 100 m^2 (frontalno);
- Za referentni brod 3 izložena podvodna površina broda kreće se u rasponu od 1.250 m^2 (bočno) do 190 m^2 (frontalno);
- Za referentni brod 4 izložena podvodna površina broda kreće se u rasponu od 1.300 m^2 (bočno) do 280 m^2 (frontalno);
- Brod se za vrijeme boravka na terminalu nalazi se uz bok privezanog FSRU broda te može biti izložen samo utjecaju dužobalne struje;
- Brzina morske struje po povoljnem vremenu neće premašiti 0,5 čvora (0,3 m/s) dok za vrijeme najjačih vjetrova može iznositi najviše do 1,5 čvora (0,8 m/s);
- Koeficijent otpora za manje promatrane brodove (referentni brod 1 i 2) uzet je 1,0 i jednak je vrijednosti najvećeg izmjerenoj koeficijenata lateralnog otpora za tankere u nakrcanom stanju te u slučaju kada odnos dubine mora i gaza iznosi 3.
- Koeficijent otpora za veće promatrane brodove (referentni brod 3 i 4) uzet je 1,7 i jednak je vrijednosti najvećeg izmjerenoj koeficijenata lateralnog otpora za tankere u nakrcanom stanju te u slučaju kada odnos dubine mora i gaza iznosi 1,5.

Ukupna sila morske struje uz navedene pretpostavke iznosi kako slijedi:

Tablica 11 Ukupne sile morske struje - referentni brod 1 (3.500 m^3)

Brzina morske struje	Bočna sila morske struje	Uzdužna sila morske struje
0,2 čv	0,2 t	0,04 t
0,5 čv	1,9 t	0,3 t
1,5 čv	14,1 t	2,3 t

Tablica 12 Ukupne sile morske struje - referentni brod 2 (7.500 m^3)

Brzina morske struje	Bočna sila morske struje	Uzdužna sila morske struje
0,2 čv	0,3 t	0,05 t
0,5 čv	3 t	0,5 t
1,5 čv	21,7 t	3,4 t

Tablica 13 Ukupne sile morske struje - referentni brod 3 (20.000 m³)

Brzina morske struje	Bočna sila morske struje	Uzdužna sila morske struje
0,2 čv	1,1 t	0,1 t
0,5 čv	9,8 t	1,5 t
1,5 čv	69,7 t	10,6 t

Tablica 14 Ukupne sile morske struje - referentni brod 4 (30.000 m³)

Brzina morske struje	Bočna sila morske struje	Uzdužna sila morske struje
0,2 čv	1,1 t	0,2 t
0,5 čv	10,2 t	1,6 t
1,5 čv	72,5 t	11,7 t

Kada je LNG brod za razvoz privezan na FSRU terminal na njega djeluje samo dužobalna struja i to na oba plovila. U tom slučaju, valja promatrati samo uzdužnu silu morske struje od 0,5 čv (najveća očekivana brzina morske struje) koja djeluje na pojedini privezani LNG brod za razvoz. Bočna sila morske struje na trup broda može djelovati samo za vrijeme prilaska odnosno manevriranja broda.

Općenito se može zaključiti da je utjecaj morske struje izrazito mali.

3.2.3 Utjecaj valova

Sila valova na plovne objekte djeluju na vrlo složen način pa procjena utjecaja valova visoke točnosti zahtjeva složen proračun dvojbene primjenjivosti zbog niza pretpostavljenih rubnih uvjeta. Stoga se za procjenu koristi empirijski izraz provjeren pri procjeni potrebne sile tegljenja.

U skladu s navedenim sila valova koji djeluju okomito na uzdužnicu plovila može se prikazati izrazom:

$$F_{val} = C_{val(\varphi)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot g \cdot L \cdot \left(\frac{H_s}{2} \right)^2$$

gdje su:

- F_{val} – sila kojom djeluje val [N],
 $C_{val(\varphi)}$ – empirijski koeficijent,
 ρ_v – gustoća vode [kg/m³],
 g – gravitacijska konstanta [m/s²],
 L – duljina broda na vodenoj liniji [m],
 H_s – signifikantna (značajna) valna visina [m].

Za slučaj referentnih brodova vrijedi sljedeće:

- Prepostavlja se značajna visina vala za vrijeme koje je dopušten manevr od 0,5 m (najveća visina vala je približno 1 m) za najmanji promatrani brod odnosno od 1 m (najveća visina vala je približno 1,7 m) za ostale promatrane brodove.
- Prepostavlja se djelovanje vala okomito na privezani brod.
- Prepostavlja se empirijski koeficijent koji uz faktor sigurnosti 2 iznosi 0,7.¹⁰

¹⁰ Izvor: Hensen, H., Tug use in port – a practical guide, The Nautical Institute, London, 1997. Prema navedenom izvoru empirijski koeficijent za silu utjecaja valova kratkog perioda iznosi 0,35.



Temeljem navedenog ukupna (stalna) sila valova koja djeluje okomito na uzdužnicu broda iznosi:

Tablica 15 Ukupna sila valova na promatrane brodove

Značajna visina vala	Referentni brod 1 (3.500 m ³)	Referentni brod 2 (7.500 m ³)	Referentni brod 3 (20.000 m ³)	Referentni brod 4 (30.000 m ³)
0,5 m	1,9 t	2,6 t	3,4 t	4,0 t
1 m	7,7 t	10,4 t	13,6 t	15,8 t
1,5 m	17,4 t	23,4 t	30,6 t	35,6 t
2 m	30,9 t	41,7 t	54,5 t	63,3 t

Valja istaći da je zbog konfiguracije okolne obale vjerojatnost pretpostavljene visine vala na mjestu terminala vrlo mala, posebice ako se uzmu u obzir i izrazito križanje mora u predmetnom području.

3.2.4 Granični uvjeti manevriranja

Obzirom na položaj FSRU broda najveće sile predviđaju se za vrijeme jakih vjetrova dok će utjecaj morske struje i valova biti značajno manji te u načelu neće ograničavati siguran privez i boravak brodova.

U slijedećoj tablici prikazane su ukupne sile koje djeluju okomito na uzdužnicu broda kako slijedi: brzina vjetra od 25 čv, brzine morske struje 0,5 čv i signifikantne visine vala od 0,5 m (najveća visina vala 1 m) za referentni brod 1 te signifikantne visine vala od 1 m (najveća visina vala 1,7 m) za ostale brodove.

Tablica 16 Ukupne sile za referentni brod pri graničnim uvjetima manevriranja

Referentni brod	Sila okomita na uzdužnicu			
	Sila vjetra [t]	Sila morske struje [t]	Sila vala [t]	Ukupna sila [t]
Brod 1 Loa = 94 m	11,0	1,9	1,9*	14,8
Brod 2 Loa = 123 m	17,7	3	10,4	31,1
Brod 3 Loa = 160 m	30,5	9,8	13,6	53,9
Brod 4 Loa = 185 m	38,4	10,2	15,8	64,4

* Sila temeljem visine signifikantnog vala od 0,5 m.

Slijedom ograničenja priveza LNG brodova na LNG FSRU brod koja su utvrđena Maritimnom studijom za LNG FSRU terminal i izračunatih ukupnih sile djelovanja vjetra, valova i morske struje na referentne LNG brodove kao i njihova tehničko-tehnološka obilježja mogu se odrediti granični uvjeti za manevriranje pri pristajanju kako slijedi:

- najveća brzina vjetra od 25 čv za 20-sekundni prosjek, i
- signifikantna visina vala od 0,5 m za brod duljine do 110 metara odnosno signifikantna visina vala od 1,0 m (max. visina vala od 1,7 m) za brodove duljine veće od 110 m.

Za navedene granične uvjete pretpostavlja se morska struja najveće brzine od 0,5 čv.

Dodatno, manevriranje treba biti dozvoljeno isključivo kada je horizontalna vidljivost veća od 1 M.

Slijedom navedenih procjena vanjskih sila i dinamike referentnih brodova, ali i standarada koji se koriste na drugim postojećim LNG FSRU terminalima tijekom manevriranja (u redovnim vremenskim prilikama) pretpostavlja se obvezno korištenje tegljača kako slijedi

Za LNG brodove duljine do 110 metara:

- najmanje jedan (1) tegljač vučne sile ne manje od 350 kN (35 t) pri manevru pristajanja, te
- najmanje jedan (1) tegljač vučne sile ne manje od 350 kN (35 t) pri manevru isplavljenja.



Za LNG brodove duljine od 110 metara do 160 metara:

- najmanje dva (2) tegljača svaki vučne sile ne manje od 350 kN (35 t) pri manevru pristajanja, te
- najmanje jedan (1) tegljač vučne sile ne manje od 350 kN (35 t) pri manevru isplovljenja, odnosno najmanje 2 tegljača svaki vučne sile ne manje od 500 kN (50 t) u slučaju da brod ne posjeduje pramčani bočni porivnik.

Za LNG brodove duljine od 160 metara do 190 metara:

- najmanje tri (3) tegljača svaki vučne sile ne manje od 500 kN (50 t) pri manevru pristajanja, te
- najmanje dva (2) tegljača svaki vučne sile ne manje od 500 kN (50 t) pri manevru isplovljenja.

Za prije navedene brodove ukupna vučna sila jednog obveznog tegljača je procijenjena uzimajući u obzir najveću poprečnu silu vjetra i vala pri dopuštenim vremenskim uvjetima pristajanja i najveću silu morske struje koja se može očekivati na promatranom području s dodatnih najmanje 25% sile za potrebe manevriranja te uzimajući u obzir specifičnost manevra priveza broda na brod i mogući rizik od oštećenja oba broda kao i specifičnih standarda sigurnosti koji se primjenjuje u LNG industriji. Također obvezno je korištenje tegljača s ASD (*Azimuthing Stern Drive*) propulzijom, odnosno tegljača jednako vrijednih tehničko-tehnoloških obilježja tegljača („fit for purpose“¹¹).

U slučaju da brod duljine veće od 160 metara posjeduje dobre manevarske sposobnosti, primjerice da posjeduje azimutalne glavne porivnike te jedan ili više pramčanih bočnih ili krmenih porivnika odgovarajuće snage, u povoljnim vremenskim uvjetima manevr isplovljenja dopušteno je provoditi s jednim tegljačem. Korištenje jednog tegljača na navedenim brodovima dopušteno je uz dogovor zapovjednika LNG broda, peljara i Lučke kapetanije.

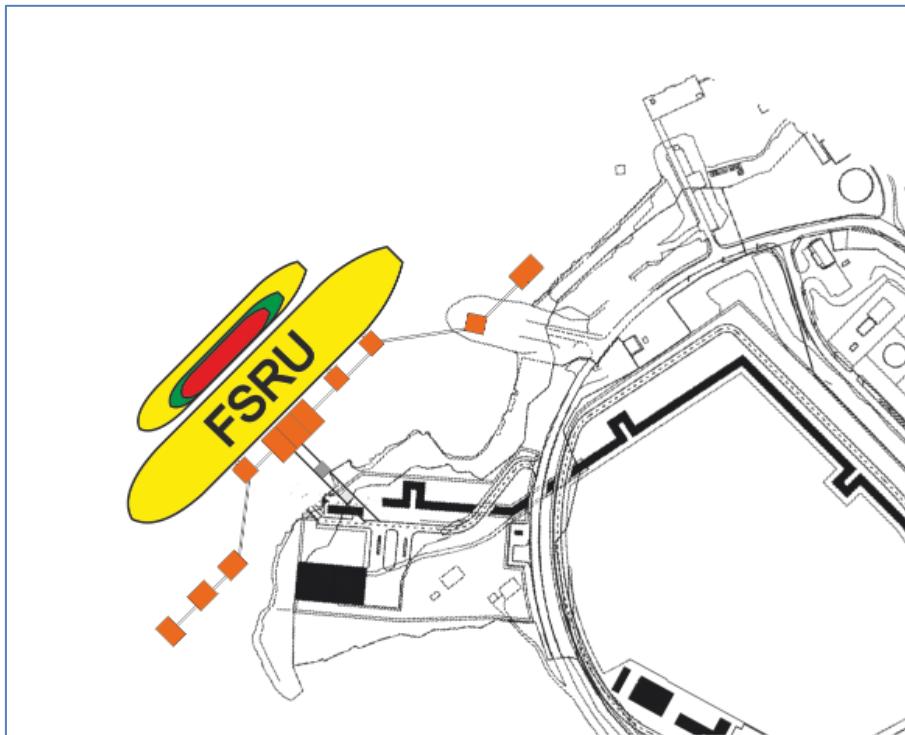
3.3 MANEVAR PRISTAJANJA I ISPLOVLJAVANJA LNG BRODA ZA RAZVOZ

FSRU brod privezan je lijevim bokom na pristan terminala, pramacem prema otvorenom dijelu uvale Sapan. Obzirom da je FSRU terminal u naravi brod sposoban za manevriranje i plovidbu te tu sposobnost mora cijelo vrijeme održavati, njegova orijentacija je tome prilagođena te u slučaju prisilnog napuštanja veza u izvanrednim okolnostima, manevr odlaska FSRU-a je značajno olakšan.

Orijentacija terminala utječe na orijentaciju priveza LNG broda za razvoz. Općenito, LNG brodovima pa tako i FSRU brodovima manifold za prekrcaj tereta može biti na različitim udaljenostima od sredine broda, ali najčešće se nalaze nešto više po krmi od sredine. U pravilu, zbog poravnavanja i spajanja manifolda brodovi uobičajeno su privezani na FSRU brodom jednakom orijentacijom (pramac na pramac). Zbog navedenog pretpostavlja se pristajanje i privez referentih LNG brodova za razvoz lijevim bokom na FSRU brod.

Učestalost dolazaka određenih brodova s obzirom na njihovu veličinu i/ili značajke te iskustvo o zahtjevnosti manevriranja pri pristajanju ili dolasku mogu utjecati na prilagodbu odnosno promjenu orijentacije priveza LNG broda.

¹¹ „Fit for purpose“ jest oznaka koja se koristi u LNG industriji te označava tip tegljača koji je izgrađen sa svim potrebnim svojstvima za pružanje učinkovitih i sigurnih usluga LNG brodovima u skladu sa visokim standardima sigurnosti koji se primjenjuju u LNG industriji. „Fit for purpose“ se ne odnosi samo na snagu pogonskog stroja tegljača ili silu na kuk već na kombinaciju svih ostalih čimbenika i obilježja koji uvjetuju rad tegljača (konstrukcija, veličina, širina, tip propulzije). Uobičajeno su to tegljači sa ASD ili Voight Scheider propulzijom, ali ne isključuje i tegljače sa drugaćijim tipovima propulzija, a koji će zadovoljavati sve zadane kriterije.



Slika 24 LNG referentni brodovi za razvoz (crveno, zeleno i žuto) privezani lijevim bokom na FSRU brod

Uplovljavanje i isplovljavanje LNG brodova za razvoz bez tegljača nije prihvatljivo. Dodatno, za slučaj izvanrednih okolnosti za vrijeme boravka LNG broda za razvoz na vezu uz FSRU brod obvezan je smještaj jednog tegljača u pripravnosti („Stand by Tug“) u neposrednoj blizini LNG FSRU broda. Privez tegljača mora biti na takvoj udaljenosti da u slučaju potrebe po pozivu zapovjednika LNG FSRU broda ili odgovorne osobe luke tegljač može biti na raspolaganju brodu u punoj spremi unutar najviše 10 minuta.

U nastavku su prikazani načelni manevri pristajanja i isplovljavanja brodova i to za slučajeve:

- LNG brod koji koristi 1 tegljač pri pristajanju (duljine do 110 metara),
- LNG brod koji koristi 2 tegljača pri pristajanju (duljine od 110 metara do 160 metara),
- LNG brod koji koristi 3 tegljača pri pristajanju (duljine od 160 metara do 190 metara),
- LNG brod koji koristi 1 tegljač pri isplovljenju (duljine do 110 metara te brod duljine od 110 do 160 metara ukoliko posjeduje pramčani bočni porivnik),
- LNG brod koji koristi 2 tegljača pri isplovljenju (duljine od 160 do 190 metara te brod duljine od 110 do 160 metara ukoliko ne posjeduje pramčani bočni porivnik),

Manevri koji se izvode s preostalim referentnim brodovima i različitim brojem tegljača nisu posebno opisani. Naime, sam tok izvođenja manevra može biti sličan prikazanom dok će način i točno mjesto prihvata tegljača ovisiti o trenutnim vremenskim prilikama kao i obilježjima broda.

Općenito, koriste se krmeni tegljač koji se uobičajeno prihvata kroz središnje oko korištenjem tegljenih konopa u skladu s OCIMF zahtjevima. Također, na krmu se u pravilu postavlja najjači tegljač. Tegljači za potiskivanje prihvaćaju na pramcu i krmi izvan krmenog i pramčanog zakrivljenja približno na 1/5 duljine broda od krme i pramca¹². Izbor načina manevriranja te način, redoslijed i mjesto prihvata tegljača u

¹² Zakrivljeni dio trupa broda, na pramcu i na krmi, izvan područja paralelnog srednjaka ne dozvoljava prihvat tegljača ako se tegljač namjerava koristi za potiskivanje broda. Pri potiskivanju broda tegljači se moraju nasloniti na dio brodskog trupa koji je konstrukcijski predviđen za tu namjenu. Taj dio brodskog trupa je pojačan i označen slovom "T" ili „TUG“.

svakom pojedinom slučaju dogovaraju peljar i zapovjednik, a temelji se na tehničko-tehnološkim obilježjima broda i trenutno prevladavajućim vremenskim prilikama.

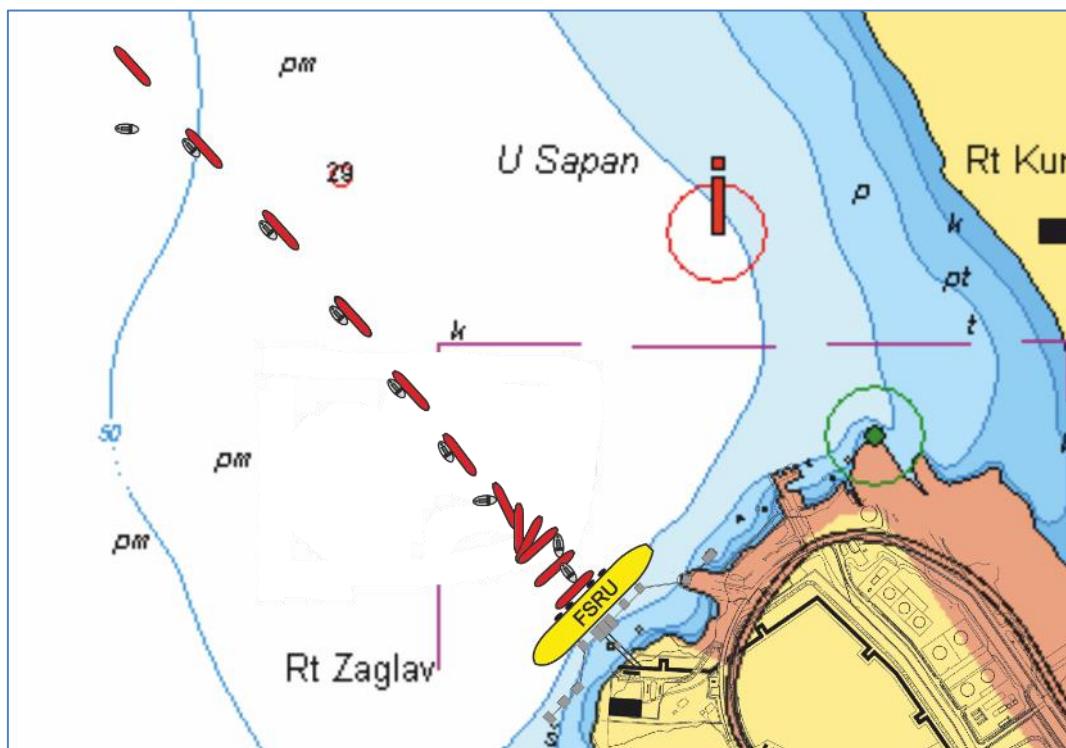
Potrebno je naglasiti da će se do završetka radova na produbljenju pličine ispred terminala koje je planirano za kraj svibnja 2021. godine, manevr pristajanja i isplovljenja izvoditi na način propisan u dopuni osnovne Maritimne studije „Dopuna maritimne studije LNG FSRU Krk“ koju je Pomorski fakultet izradio u listopadu 2020. godine, a uz primjenu graničnih uvjeta te najmanjeg broja i snage tegljača kako su navedene u ovoj studiji.

3.3.1 Manevar pristajanja

Manevr pristajanja pretpostavlja dolazak broda koji prilazi pramcem gotovo direktno prema LNG FSRU brodu iz približnog smjera NNW prema krmi FSRU broda smanjenom brzinom. Na udaljenosti od najmanje 1 M od LNG FSRU broda na desnoj strani LNG broda uz njegov bok ispred nadgrađa prihvata se tegljač. Jednu do dvije dužine broda prije terminala brod se svojim porivom i uz pomoć tegljača gotovo u potpunosti zaustavlja te započinje okret u stranu za 90° .

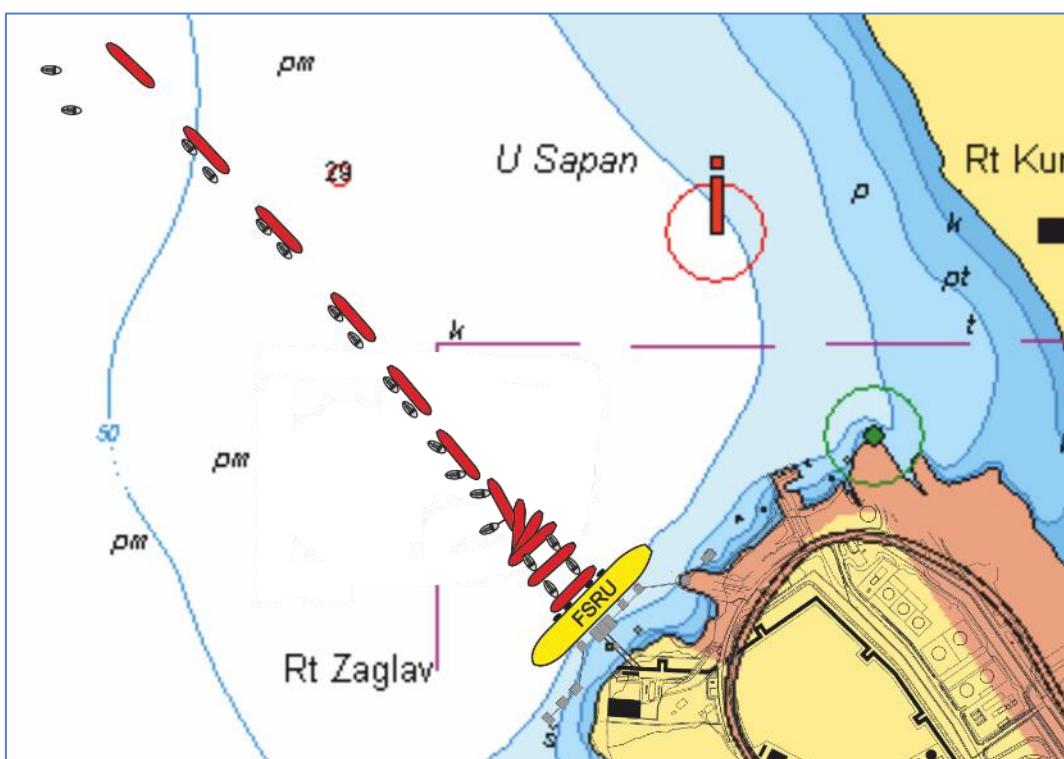
Za okret se najviše koristi snaga pramčanog porivnika te tegljač na krmenom boku za potiskivanje. Ograničenje brzine okreta broda kao i za njegovo zaustavljanje koristi se glavni poriv broda. Kada je brod postavljen usporedno sa terminalom započinje bočno potiskivanje broda do terminala. Konačan bočni prilazak terminalu i vezivanje odvija se kao i u prethodnom slučaju.

Kada se brod dovoljno približi terminalu postavljaju se brodski privezni konopi, u pravilu prvo springovi, a zatim bočni te pramčani i krmeni. Brodovi referentne veličine ne koriste privezne konope za privlačenje broda, nego se koriste isključivo tegljač i pramčani porivnik koji potiskuje brod uz FSRU brod.



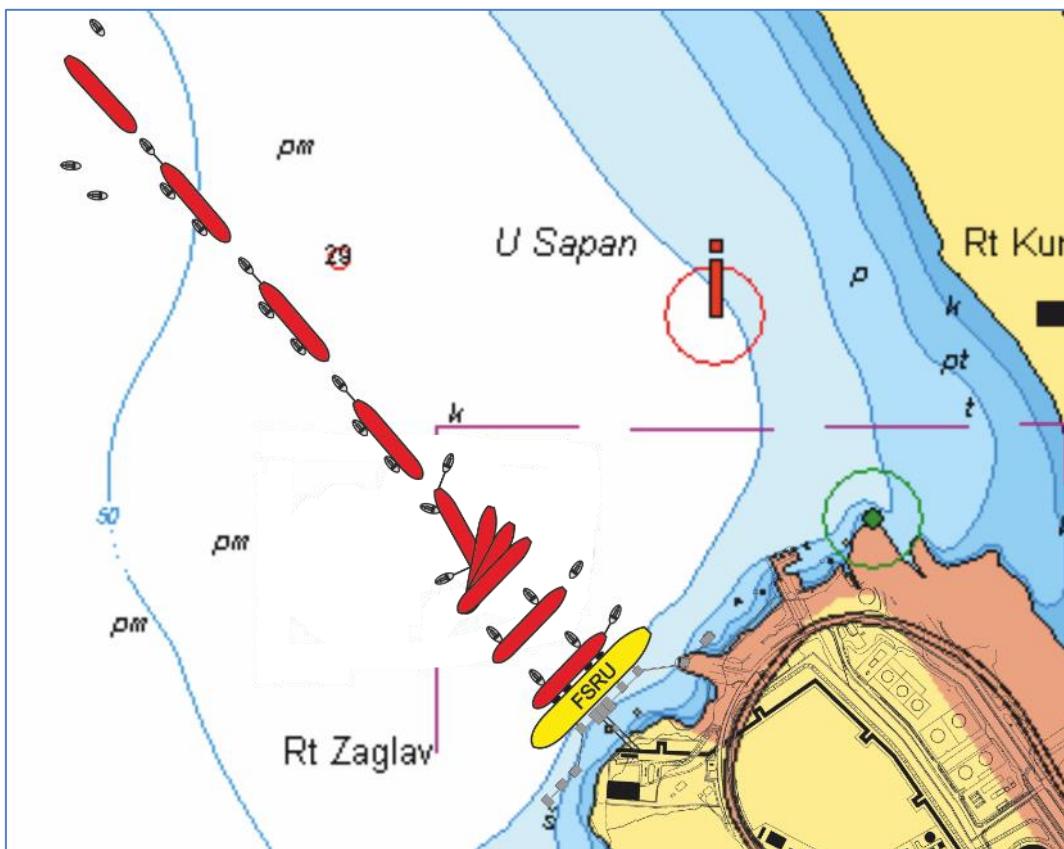
Slika 25 Manevar pristajanja lijevim bokom izravnim dolaskom na terminal uz korištenje 1 tegljača (prilazni put može biti i neznatno različit od prikazanog)

Kod korištenja dva tegljača za manevr pristajanja načelno vrijedi isti način prilaza samo se okret broda, kao i potiskivanje, odnosno zadržavanje LNG broda obavlja korištenjem drugog tegljača. Drugi tegljač privezuje se s desne strane uz bok broda neposredno ispred pramčanog kaštela.



Slika 26 Manevar pristajanja lijevim bokom izravnim dolaskom na terminal uz korištenje 2 tegljača (prilazni put može biti i neznatno različit od prikazanog)

Kod manevra prestajanja najvećeg referentnog broda koriste se tri tegljača. Dodatni treći tegljač postavlja se na krmu broda i privezuje kroz središnje oko na krmi. Tegljač služi za zaustavljanje broda te za okretanje broda. Sam način pristajanja odvija se približno isto kao i kod manjih brodova, međutim brzina uplovljavanja mora biti manja te se samo zaustavljanje broda i okret mora napraviti na 3 do 4 duljine broda prije terminala. Također brod dolazi direktno na FSRU brod te se na navedenom mjestu okreće za 90° pramcem u smjeru SW.

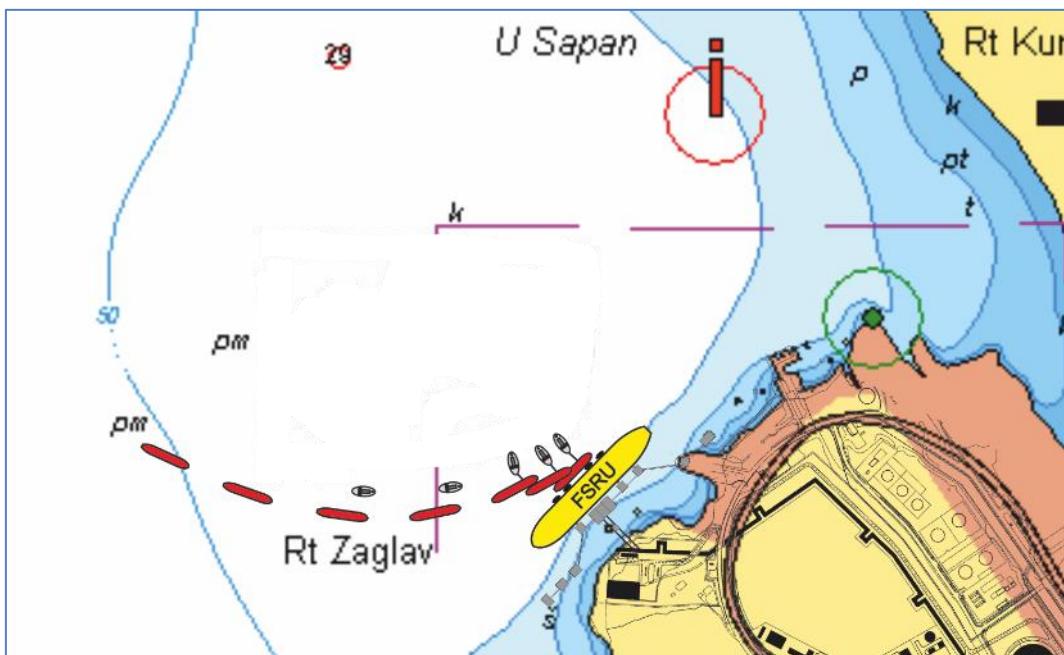


Slika 27 Manevar pristajanja lijevim bokom izravnim dolaskom na terminal uz korištenje 3 tegljača (prilazni put može biti i neznatno različit od prikazanog)

3.3.2 Manevar isplavljenja

Za manevar odveza i isplavljenja broda vrijede sve načelne napomene navedene u dijelu o pristajanju i privezu broda, a osnovni čimbenik koji određuje način manevra isplavljenja su trenutno prevladavajući smjer i brzina vjetra.

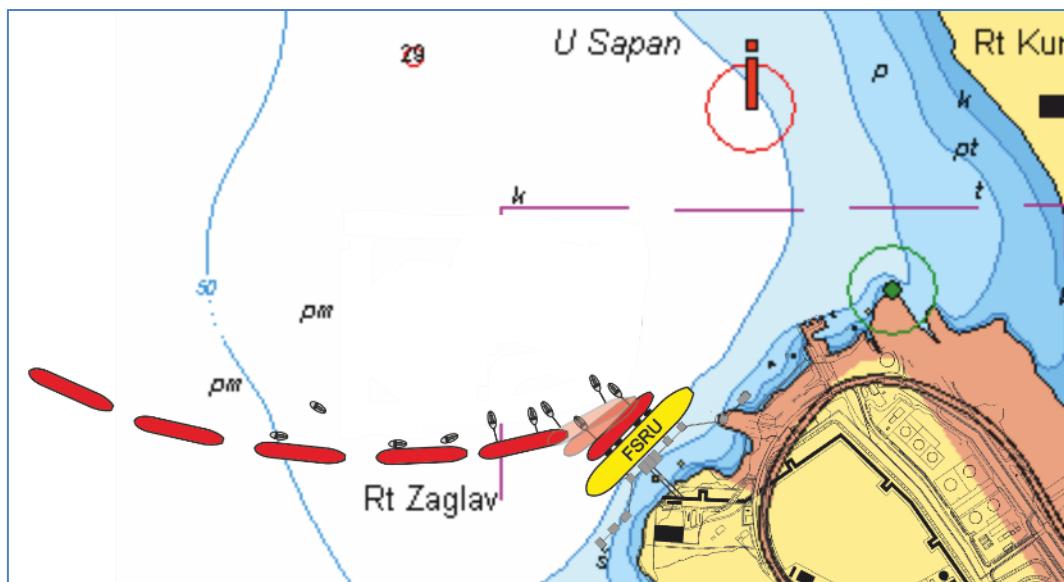
Način izvođenja manevra odveza i isplavljenja prikazan je korištenjem jednog i dva tegljača. Manevar odveza i isplavljenja broda korištenjem jednog tegljača pri povoljnim vremenskim uvjetima, izvodi se na način da se tegljač prihvata na krmi ispred nadgrađa i služi za povlačenje krme broda. Pramčani porivnik se koristi za potiskivanje pramca.



Slika 28 Manevar ispolavljenja broda privezanog lijevim bokom (korištenje 1 tegljača)

Kod korištenja dva tegljača, drugi tegljač se postavlja uz bok broda neposredno ispred pramčanog kaštela i služi također za povlačenje broda.

Za razliku od uplovljena, manevr ispolavljenja broda privezanog lijevim bokom vrlo je jednostavan s obzirom da ispred pramca i u smjeru odlaska ne postoji zapreka te nije potreban okret broda. Nakon što su otpušteni privezni konopi brod se udaljava od terminala djelovanjem tegljača prihvачenog na krmenom dijelu te pramčanog porivnika ili pramčanog tegljača. Na sigurnoj udaljenosti od terminala, najmanje dvije širine broda, koristeći glavni brodski porivnik i kormilo brod se vožnjom naprijed udaljava i postavlja u primjereni kut za ispolavljenje. Tegljači se u povoljnim uvjetima mogu otpustiti odmah po izlasku iz sigurnosne zone odnosno nakon udaljenosti od 3-4 dužine broda od FSRU broda.



Slika 29 Manevar ispolavljenja broda privezanog lijevim bokom (korištenje 2 tegljača)



Prema navedenom može se zaključiti:

- (6) Dubina mora na terminalu i u prilaznom plovnom području sigurna je za manevriranje najvećih LNG brodova u razvozu, pa time i referentnih odnosno svih manjih LNG brodova za razvoz.
- (7) Granični uvjeti za pristajanje LNG broda za razvoz uz FSRU brod su stalna brzina vjetra od 25 čvorova za 20-sekundni prosjek, ili signifikantna visina vala od 1,0 m (max. visina vala od 1,7 m). Za brodove duljine 110 metara ili manje granična vrijednost signifikantne visine vala iznosi 0,5 m. Za sve granične slučajeve brzine vjetra i visine vala pretpostavlja se morska struja najveće brzine od 0,5 čv.
- (8) Manevriranje je dozvoljeno isključivo kada je horizontalna vidljivost veća od 1 M.
- (9) Tijekom manevriranja LNG brodova u razvozu treba koristiti tegljače kako slijedi: Za brodove duljine do 110 metara najmanje jedan (1) tegljač vučne sile ne manje od 350 kN (35 t) pri manevru pristajanja i isplovljenja; Za brodove duljine od 110 metara do 160 metara najmanje dva (2) tegljača pri manevru pristajanja te najmanje jedan (1) tegljač pri manevru isplovljenja sa vučnom silom ne manjom od 350 kN (35 t) za svaki pojedini tegljač; Za brodove duljine od 160 metara do 190 metara najmanje tri (3) tegljača pri manevru pristajanja te najmanje dva (2) tegljača pri manevru isplovljenja s vučnom silom ne manjom od 500 kN (50 t) za svaki pojedini tegljač.
- (10) U slučaju da brod duljine od 110 do 160 metara ne posjeduje pramčani bočni porivnik brod mora u slučaju isplovljenja koristiti najmanje 2 tegljača vučne sile ne manje od 500 kN (50 t) za svaki pojedini tegljač.
- (11) U slučaju da LNG brod za razvoz duljine od 160 metara od 190 metara posjeduje dobre manevarske sposobnosti (obilježja kako su navedena u studiji), u povoljnim vremenskim uvjetima manevr isplovljenja dopušteno je provoditi korištenjem jednog tegljača. Korištenje jednog tegljača na navedenim brodovima dopušteno je uz dogovor zapovjednika LNG broda, peljara i Lučke kapetanije.
- (12) U svim slučajevima obvezno je korištenje tegljača s ASD (*Azimuthing Stern Drive*) propulzijom, odnosno tegljača jednak vrednosti tehničko-tehnoloških obilježja tegljača („fit for purpose“).
- (13) LNG brod u razvozu se u pravilu privezuje lijevim bokom, s pramcem prema otvorenom moru.
- (14) Način manevriranja, odnosno pristajanja i isplovljenja obavlja se načelno na način opisan u studiji uz korištenje propisanog broja tegljača.
- (15) Do završetka radova na produbljenju pličine ispred terminala koje je planirano za kraj svibnja 2021. godine, manevr pristajanja i isplovljenja izvoditi na način propisan u dopuni osnovne Maritimne studije „Dopuna maritimne studije LNG FSRU Krk“ koju je Pomorski fakultet izradio u listopadu 2020. godine.



4 PRIVEZ I BORAVAK LNG BRODA

4.1 PRIVEZNI ODBOJNICI

Prilaz LNG broda za razvoz odnosi se na dio manevra prilaska mjestu priveza uz pomoć tegljača i naslanjanje broda na FSRU terminal nakon čega prelazi u stanje mirovanja (boravak na vezu).

Privez referentnog broda ostvaruje se naslanjanjem na odbojnice koji se nalaze na desnoj, vanjskoj strani FSRU broda.

Obilježja odbojnika određuju ponajprije vršna energija tijekom priveza odnosno zaustavljanja broda. Ova energija određuje se uobičajeno korištenjem metode koju preporučuje PIANC¹³ i koja daje zadovoljavajuće rezultate. Izračun u nastavku je napravljen za dva referentna broda:

- brod kapaciteta 7.500 m³ (duljine 123 m) i
- brod kapaciteta 30.000 m³ (duljine 185 m).

Pretpostavke proračuna za navedene small scale LNG brodove jesu vrlo konzervativne jer pretpostavljaju brzine prilaza od 300 mm/s, koje su veće od očekivane odnosno 200 mm/s, te uz značajan faktor sigurnosti (1.5). Rezultati su prikazani u slijedećoj tablici.

¹³ Permanent International Association of Navigation Congresses.



		LNG Brod 7.500 m ³	LNG Brod 30.000 m ³
Nosivost	DWT	3.800 t	16.400 t
Istisnina	MD	8.100 t	36.000 t
Dužina	LOA	123,0 m	185,0 m
Dužina između okomica	LBP	118,0 m	180,0 m
Širina	B	18,60 m	28,1 m
Gaz	D	5,60 m	7,4 m
Blok koeficijent	CB	0,63	0,93
PRIVEZ			
Vrsta obale		Puna obala (brod)	
Izračun ekscentričnosti		Potpuni proračun	
Kut prilaza	a	5,00 °	5,00 °
Točka dodira (od pramca) %	x	25,00 %	25,00 %
Radius rotacije	K	27,40 m	51,88 m
Točka dodira od težišta	R	30,93 m	47,14 m
Dubina ispod broda	UKC	9,00 m	6,00 m
Koeficijent dodanih težina	CM	1,50	1,50
Koeficijent ekscentričnosti	CE	0,52	0,61
Koeficijent konfiguracije pristana	CC	1,0	1,0
Koeficijent mekoće	CS	1,0	1,0
PRIVEZNA ENERGIJA			
Uvjeti pristajanja		Povoljno izloženo pristajanje	
Brzina prilaza	VB	300 mm/s	300 mm/s
Energija priveza	EN	284 kNm	1.482 kNm
Faktor sigurnosti	FS	1,5	1,5
Vršna energija	EA	426 kNm	2.223 kNm

Tablica 17 Udarne energije sraza

Odbojnici moraju preuzeti sve sile koje nastaju zaustavljanjem broda. U ovom slučaju prepostavlja se zaustavljanje referentnih brodova na odbojnike koji zadovoljavaju prethodno prikazani izračun.

Slijedom navedenog, na FSRU brodu prepostavlja se za referentni brod kapaciteta 30.000 m³ postavljanje najmanje 2 brodska pneumatska odbojnika na paralelnom srednjaku energije apsorpcije od najmanje 2.500 kNm (svaki) te dovoljne površine kako bi se osiguralo da pritisak na trup broda bude unutar dopuštenih ograničenja.

Referentni brod kapaciteta 3.500 m³ zahtijeva postavljanje najmanje dva pneumatska odbojnika brodska na paralelnom srednjaku energije apsorpcije od najmanje 500 kNm (svaki) te dovoljne površine kako bi se osiguralo da pritisak na trup broda bude unutar dopuštenih ograničenja.

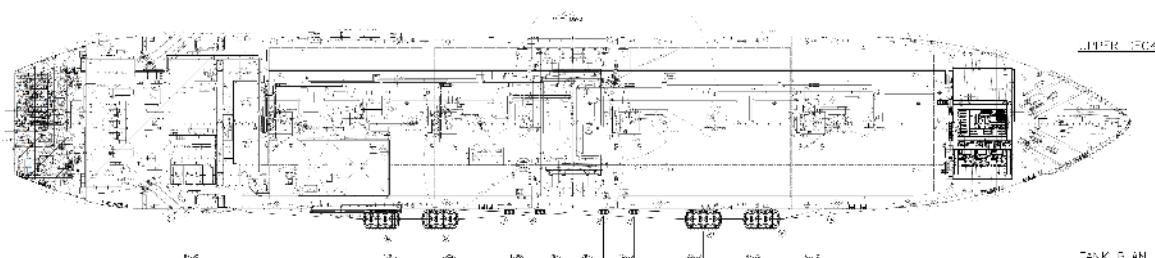
FSRU LNG Croatia brod opremljen je sa četiri pneumatska odbojnika tkz „Yokohama“ dimenzija 9,0 x 4,5 m i energije apsorpcije 4.750 kNm koji zadovoljavaju navedeni uvjet najmanje energije apsorpcije za

referentne LNG brodove za razvoz. Osim navedenih, FSRU je opremljen s dva manja pneumatska odbojnika na krajnjim točkama mogućeg dodira tzv. "Baby Fenders" dimenzija 3.5×2.0 m i energije apsorpcije 310 kNm. Baby fenders su postavljeni u visini pramca i krme broda koji se prihvata gdje završava paralelni srednjak. Glavna zadaća im je sprječavanje udara LNG broda prilikom manevra dolaska i pristajanja bokom na LNG FSRU brod ukoliko nije usporedan s FSRU brodom.



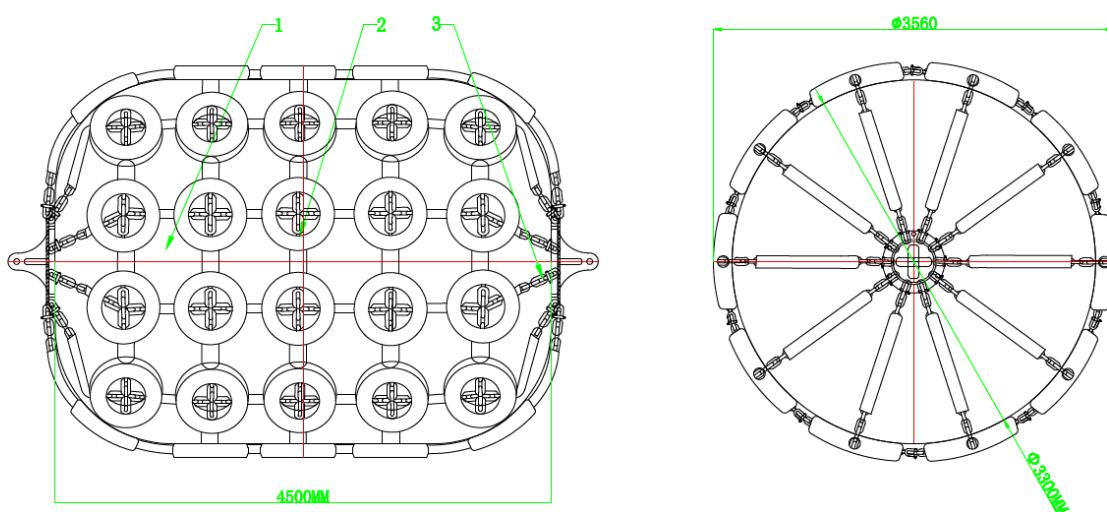
Slika 30 FSRU „LNG Croatia“ sa „Yokohama“ odbojnicima na strani priveza LNG broda

„Yokohama“ odbojnici su postavljeni na približnim udaljenostima od 33 i 48 metara od središta manifolda prema pramcu i krmi FSRU „LNG Croatia“ broda dok su „Baby fenderi“ postavljeni približno 98 metara po krmi i 63 metara po pramcu od središta manifolda.



Slika 31 Raspored „Yokohama“ odbojnika na FSRU „LNG Croatia“

Osim navedenog, uobičajeno je da i sami LNG brodovi za razvoz koji ujedno mogu obavljati operacije opskrbe gorivom (npr. brodovi kapaciteta do približno 15.000 m^3) imaju na sebi odbojnice odgovarajućih energija apsorpcije. Navedene odbojnice brodovi koriste za pristajanje uz bok brodova koji nemaju predviđene odbojnice. Odbojnici su uobičajeno manjih dimenzija, a energijom apsorpcije zadovoljavaju najveće energije broda pri pristajanju. Referentni brod kapaciteta 7.500 m^3 posjeduje odbojnice dimenzija 4.5×3.3 m i energije apsorpcije od 1.175 kNm pri 60% defleksije što u potpunosti zadovoljava maksimalne energije pri privezu. Odbojnici moraju biti postavljeni najmanje 15 metara od centra manifolda.



Slika 32 Pneumatski odbojnici referentog broda od 7.500 m³

Za vrijeme pristajanja referentnih LNG brodova, obzirom da su odbojnici postavljeni uz bok FSRU broda, očekuje se korištenje postojećih „Yokohama“ odbojnika FSRU terminala koji u potpunosti zadovoljavaju zahtijevane energije apsorpcije te koji se moraju razmjestiti tako da se LNG brod za razvoz može u potpunosti nasloniti na paralelnom srednjaku. Zbog značajnih dimenzija „Yokohama“ odbojnika valja ih međusobno približiti odnosno razmaknuti ovisno o dužini dolazećeg broda, no na način da ne budu smješteni ispod priključne platforme za manipulaciju teretom.

Prilagođavanje brodskih odbojnika i njihov pregled obavlja se prije svakog priveza LNG broda. Položaj u pravilu mora biti u skladu sa studijom kompatibilnosti (*Compatibility Study*) odnosno izračunom sila na pojedine privezne konope. Na temelju podataka određuje se i najmanji broj priveznih konopa kako bi se omogućio siguran privez na FSRU brod (*Optimoor Mooring Study*). Temeljem navedenog, položaj određivati će se u svakom pojedinom slučaju priveza LNG broda za razvoz.

„Baby fenders“ kod manjih LNG brodova za razvoz se uobičajeno ne koriste jer nije njihov položaj izvan dohvata trupa LNG broda.

4.2 PRIVEZNI SUSTAV

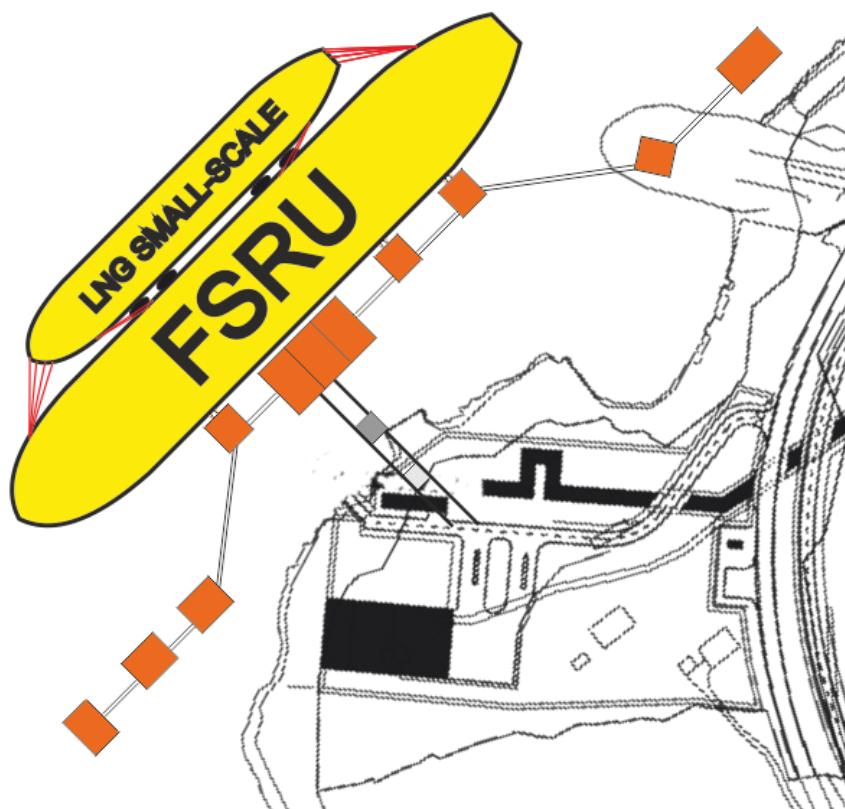
Privezni sustav, posebice privezni konopi, moraju tijekom cijelog boravka LNG broda za razvoz te u svim dopuštenim okolnostima vjetra, valova, morskih struja ili drugih okolnosti osigurati privez broda uz FSRU brod na način da niti jedna bitna funkcija LNG broda za razvoz ili oprema LNG FSRU broda nije ugrožena.

U pogledu opreme pretpostavlja se korištenje opreme u skladu sa zahtjevima navedenim u *Mooring Equipment Guidelines* 4. izdanje, OCIMF, te u skladu sa preporukama iz *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*, (ISGOTT), 5. izdanje.

Zadovoljavajući privez ostvaruje se postavljanjem dovoljnog broja priveznih konopa odgovarajućih obilježja, a načela koja se pretpostavljaju jesu sljedeća:

- privezni konopi trebaju se postaviti što je više moguće simetrično u odnosu na sredinu broda jer se na taj način osigurava bolji raspored opterećenja po pojedinim konopima;
- pramčane i krmene privezne konope treba postaviti što bliže pramcu i krmi broda te pod kutom od približno 45° u odnosu na obalni rub (ako je to moguće);

- springovi trebaju biti što je više moguće postavljeni usporedno s uzdužnicom broda (horizontalni kut u odnosu na uzdužnicu broda ne bi trebao biti veći od 10°), a treba ih postaviti od priveznih točaka koje su smještene na približno četvrtini duljine broda od pramca ili krme;
- valja koristiti privezne konope iste vrste i čvrstoće na svim priveznim mjestima, a ako to nije moguće tada barem konopi koji se postavljaju u istu svrhu i na isto mjesto, npr. svi springovi, svi bočni konopi, svi pramčani i krmeni konopi bi morali biti istih ili vrlo sličnih svojstava;
- duljina priveznih konopa trebala bi biti između 35 i 50 m.



Slika 33 Načelni raspored priveznih konopa LNG broda za razvoz na FSRU brod (prikazan LNG brod kapaciteta 30.000 m^3)

Svaki pojedini privezni konop koji se koristi za privez LNG tankera priveznom sustavu mora biti u skladu sa sigurnom dozvoljenom čvrstoćom vodilica konopa na FSRU brodu (prema OCIMF *Mooring Equipment Guidelines*). Evidencija o njihovim redovitim održavanjima sa pripadajućim svjedodžbama treba biti dostupna prilikom svakog priveza.

Privezni se konopi sa LNG broda u razvozu postavljaju na brzo-otpuštajuće kuke na FSRU brodu prema unaprijed održaćenom i dogovorenom slijedu izmjenom informacija između LNG broda i FSRU broda karakterističnim za STS operaciju.

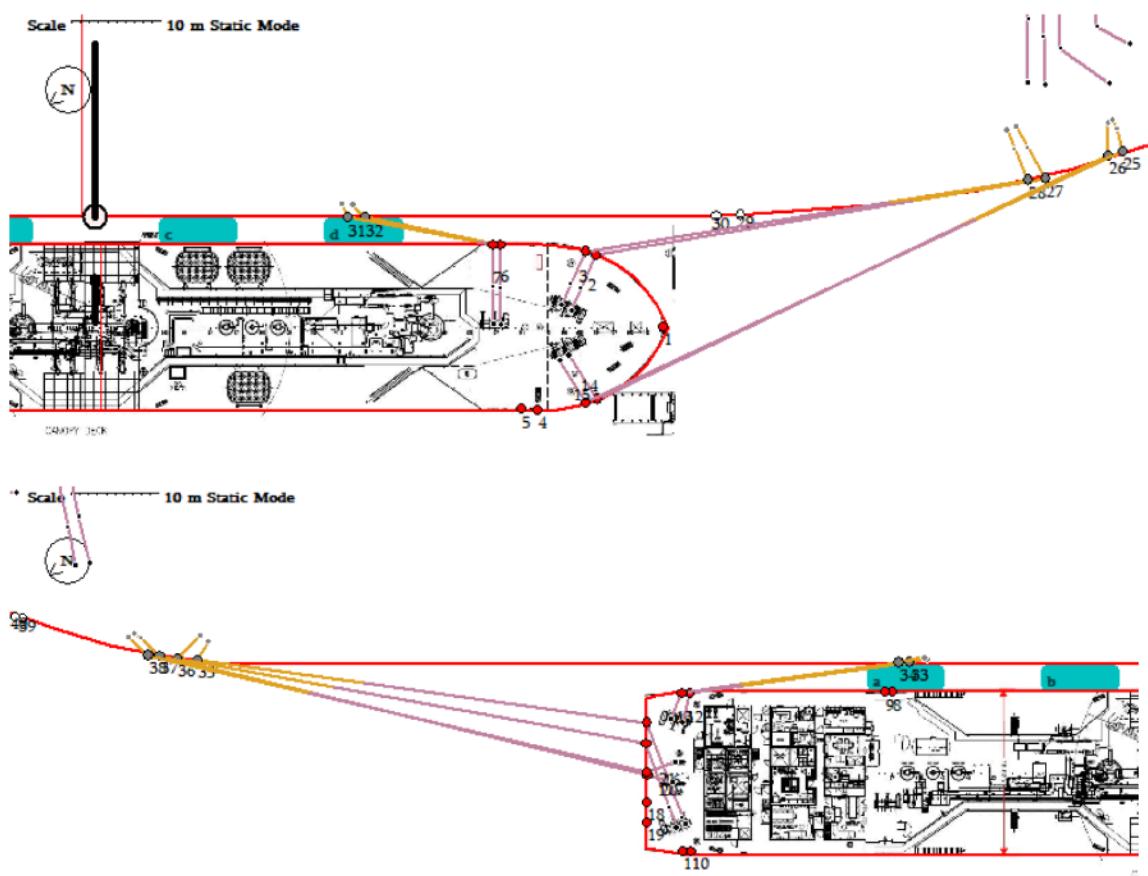
Slijedom gore prikazanog, za privez LNG broda u razvozu na FSRU brod treba koristiti najmanje sljedeći broj priveznih konopa:

- 4 pramčana konopa,
- 2 pramčana springa,
- 2 krmena springa,

- 4 krmena konopa.

Bez obzira na navedeno u slučaju da Optimoor studija za pojedinačan brod pokaže da je siguran privez moguć i s manjim brojem konopa, može se prihvatići i drugačiji raspored i broj konopa i to isključivo za brodove duljine do 160 m pri čemu ukupni broj konopa ne smije biti manji od 8

Kao što je već navedeno, određivanje točnog načina priveza i konačnog broja priveznih konopa određuje se sa studijom (Optimoor Mooring Study) odnosno izračunom sila na pojedine privezne konope. Temeljem podataka dobivenom navedenom studijom određuje se i najmanji broj priveznih konopa kako bi se omogućio siguran privez na FSRU brod u svakom pojedinom slučaju priveza LNG broda za razvoz.



Slika 34 Privez LNG broda u razvozu kapaciteta 7.500 m³ na FSRU brod (raspored priveznih konopa na pramcu i krmi LNG broda)¹⁴

Tijekom boravka LNG broda za razvoz na odgovarajućim mjestima na pramcu i krmi moraju biti postavljena užad (Fire wire-lines) za privez tegljača u nuždi odgovarajuće prekidne čvrstoće.

Prema navedenom može se zaključiti:

¹⁴ Preuzeto iz Optimoor Mooring Study za LNG brod Avenir Accolade kapaciteta 7.500 m³ za STS operaciju na FSRU „LNG Croatia“ izrađene za tvrtku „Golar“.



- (16) Pri privezu LNG borda za razvoz mogu se koristiti brodski odbojnici FSRU broda ili brodski odbojnici LNG broda za razvoz (ako ih posjeduje). Prilagođavanje brodskih odbojnika i njihov pregled obavlja se prije svakog priveza LNG broda. Točan položaj odbojnika određuje se studijom kompatibilnosti (Compatibility Study) odnosno izračunom sila na pojedine privezne konope za svaki pojedini slučaj priveza LNG broda za razvoz.
- (17) LNG brodovi za razvoz duljine do 160 m moraju se privezati na FSRU brod korištenjem najmanje 8 priveznih konopa, dok brodovi duljine preko 160 m moraju se privezati korištenjem najmanje 4 pramčana konopa, 4 krmena konopa te po 2 pramčana i 2 krmena springa. Određivanje točnog načina priveza i konačnog broja priveznih konopa određuje se sa studijom (Optimoor Mooring Study) odnosno izračunom sila na pojedine privezne konope za svaki pojedini slučaj priveza LNG broda za razvoz.
- (18) Tijekom boravka LNG broda za razvoz na odgovarajućim mjestima na pramcu i krmi moraju biti postavljena užad (Fire wire-lines) za privez tegljača u nuždi odgovarajuće prekidne čvrstoće.



5 MJERE SIGURNOSTI S POSTUPCIMA U IZVANREDNIM OKOLNOSTIMA

Izvanrednim okolnostima smatraju se sve okolnosti zbog kojih, tijekom prihvata ili boravka broda na terminalu, može doći u opasnost FSRU, privezani LNG brod za razvoz, brodovi u blizini, terminal i postrojenje na kopnu ili neposredni okoliš. Izvanrednost događaja znači da događaj nije bio predviđen odnosno svjesno i namjerno proveden i/ili odobren od strane posade broda i/ili odgovornih osoba u luci odnosno na terminalu povezanih s priveznim ili ukrcajno/iskrcajnim radnjama na brodu.

U nastavku su posebno istaknute mjere sigurnosti prilikom boravka broda u slučaju vremenskih nepogoda. Ostale mjere sigurnosti za izvanredne okolnosti vrijede kako su utvrđene osnovnom Maritimnom studijom.

Prilikom boravka, obzirom na prikazana meteorološka i oceanološka obilježja promatranog područja, posebnu pažnju valja posvetiti slučajevima nagle lokalne oluje iz smjera W-SW, posebice tijekom ljetnih razdoblja. Referentnim vrijednostima smatraju se 20-sekundni srednjaci.

Tijekom boravka LNG broda za razvoz na terminalu zapovjednik LNG broda i zapovjednik FSRU-a te odgovorna osoba luke moraju primati i pratiti meteorološka izvješća Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) te pratiti podatke mjerne postaje na terminalu. Svojstveno lokalnom reljefu, olujno nevrijeme iz W-SW i bura iz NE dolaze naglo sa znatno manje vremena za pripravnost, za razliku od južnih vjetrova. Stoga ukoliko su bura ili olujna nevremena u prognozi, razborito je kontinuirano pratiti meteorološka izvješća, te pratiti prirodne naznake nailaska vjetra.

Tijekom boravka LNG broda u razvozu na vezu jačanjem vjetra $> 21 \text{ čv}$ ($>10,8 \text{ m/s}$) ili pojavom valova signifikantne visine veće od 1 metra odgovorna osoba luke ili zapovjednik FSRU-a trebaju proglašiti stanje pripravnosti za moguću izvanrednu okolnost, te o tome obavijestiti zapovjednika LNG broda u razvozu i Lučku kapetaniju Rijeka. U ovom slučaju razmatra se priprema za prekid prekrcaja tereta, a u slučaju izglednog pojačanja vjetra obaveštavaju se tegljači o potrebi pripravnosti i mogućem napuštanju veza LNG broda.¹⁵

FSRU brod i njegova posada dužni su neprekidno motriti stanje broda i opterećenja na priveznim kukama i u užadi. Neprekidno se moraju pratiti meteorološka izvješća i instrumenti. Stanje pripravnosti mora biti na snazi sve dok vjetar ne oslabi ispod ($< 10,8 \text{ m/s}$), a prognoza ne pokazuje pogoršanje vremena.

Najavom jačanja vjetra preko 27 čv ($>13,8 \text{ m/s}$) poduzimaju se daljnje radnje za sprječavanje nezgode koje uključuju pripremu za odvajanje prekrcajnih cijevi između LNG broda u razvozu i FSRU broda, pripremu iskrcaja s LNG broda u razvozu svih osoba FSRU terminala. Nastupom vjetra preko 27 čv ($>13,8 \text{ m/s}$) na snagu nastupaju izvanredne okolnosti, odvajaju se prekrcajne cijevi između LNG broda i FSRU broda, poziva se peljar i tegljači koji trebaju postaviti teglenu užad na LNG brod u razvozu, jedan na krmi i jedan na pramcu, što bliže krajnjim točkama broda (u slučaju broda manjeg od 110 metara poziva se jedan tegljač). Ako se brod gura tada se tegljači postavljaju na dijelu broda označenom za guranje od strane tegljača. U slučaju prognoze jačanja vjetra preko 38 čv ($20,0 \text{ m/s}$) LNG brod za razvoz započinje pripremu napuštanja veza i povećanjem brzine vjetra preko 38 čv (20 m/s) napušta vez i odlazi na sidrište.

Općenito, ovisno o predviđenoj odnosno izmjerenoj brzini vjetra potrebno je poduzeti sljedeće radnje:

- $>21 \text{ čv}$ ($10,8 \text{ m/s}$) Utvrđuje se stanje pripravnosti, priprema za prekid prekrcaja tereta, obavještavanje peljara i tegljača o mogućoj potrebi pružanja pomoći.
- $>27 \text{ čv}$ ($13,8 \text{ m/s}$) Utvrđuje se izvanredne okolnosti, odvajaju se prekrcajne cijevi, peljar na brodu, tegljači postavljaju privezne konope.
- $>38 \text{ čv}$ ($20,0 \text{ m/s}$) LNG brod za razvoz napušta vez.

¹⁵ Ograničenje rada zbog utjecaja vjetra na dizalicu koja se koristi za prijenos prekrcajnih cijevi ne smatra se izvanrednim okolnostima.



Odgovorne osobe luke, terminala, zapovjednik FSRU broda ili zapovjednik LNG broda za razvoz mogu donijeti odluku o prekidu prekrcaja tereta, odvajanju prekrcajnih cijevi i napuštanju veza i u slučaju drugačijih okolnosti odnosno u bilo kojem trenutku, ako ocijene da je ugrožena sigurnost bilo koje jedinice.

S obzirom da fronta oluje iz zapadnih smjerova dolazi izuzetno naglo, u slučaju njezina nailaska potrebno je tegljače postaviti u tegalj te poduzeti ostale mjere što prije odnosno prije nego što fronta s jakim vjetrom dođe do područja terminala.

Stanje izvanrednih okolnosti je na snazi dok vjetar ne oslabi ispod 27 čv (13,8 m/s) ili signifikantna visina vala ne padne ispod 1,0 metra.

Prema navedenom može se zaključiti:

- (19) Studijom su istaknute mjere sigurnosti prilikom boravka LNG broda za razvoz u slučaju vremenskih nepogoda koje se smatraju izvanrednim okolnostima. Ostale mjere sigurnosti za izvanredne okolnosti vrijede kako su utvrđene osnovnom Maritimnom studijom
- (20) Nastupanje stanja pripravnosti valja smatrati vjetar brzine veće od 21 čv kada se priprema za prekid prekrcaja tereta te je obvezno obavještavanje peljara i tegljača o mogućoj potrebi pružanja pomoći LNG brodu.
- (21) Nastupanje izvanrednih okolnosti valja smatrati vjetar brzine veće od 27 čv kada se odvajaju prekrcajne cijevi te se peljar ukrcava na brod, a tegljači postavljaju privezne konope i pružaju pomoći LNG brodu na način opisan u studiji.
- (22) Nastupanjem vjetra većeg od 38 čv LNG brod za razvoz mora napustiti vez.
- (23) Odgovorne osobe luke, terminala, zapovjednik FSRU broda ili zapovjednik LNG broda za razvoz mogu donijeti odluku o prekidu prekrcaja tereta, odvajanju prekrcajnih cijevi i napuštanju veza i u slučaju drugačijih okolnosti od predviđenih odnosno u bilo kojem trenutku, ako ocijene da je ugrožena sigurnost bilo kojeg broda.
- (24) Predlaže se praćenje svih predloženih mjera sigurnosti plovidbe tijekom pristajanja prvih 6 LNG brodova za razvoz, te nakon toga, po potrebi ponovno preispitivanje predloženih mjera sigurnosti.



6 ZAKLJUČAK

Temeljni zaključci ove studije jesu:

- (1) LNG brodovi za razvoz smatraju se LNG brodovi kapaciteta do 30.000 m³. Brodovi su namijenjeni prijevozu manjih količina LNG-a na kraćim udaljenostima odnosno unutar jedne regije te za opskrbu brodova gorivom brodova koji LNG koriste za pogon. Brodovi navedenih veličina nazivaju se „*Small-Scale LNG Ships*“.
- (2) Referentni brodovi u ovoj studiji smatraju se brodovi kapaciteta 3.500 m³, 7.500 m³, 20.000 m³ te 30.000 m³ veličina i tehničko-tehnoloških obilježja kako su navedene u studiji.
- (3) Referentni LNG brodovi za razvoz prema dosadašnjim iskustvima pokazuju vrlo dobra manevarska obilježja te su uobičajeno opremljeni pramčanim porivnikom.
- (4) LNG brodovi kapaciteta do 20.000 m³ uobičajeno posjeduju odbojниke (jednu ili dvije grupe od dva odbojnika) na obje strane broda sa vlastitim sustavom za sruštanje i dizanje koji omogućuju pristajanje na druge brodove.
- (5) Na LNG brodovima za razvoz teret se uobičajeno prevozi u nezavisnim spremnicima (tankovima) cilindričnog oblika IMO tipa C.
- (6) Dubina mora na terminalu i u prilaznom plovnom području sigurna je za manevriranje najvećih LNG brodova u razvozu, pa time i referentnih odnosno svih manjih LNG brodova za razvoz.
- (7) Granični uvjeti za pristajanje LNG broda za razvoz uz FSRU brod su stalna brzina vjetra od 25 čvorova za 20-sekundni prosjek ili signifikantna visina vala od 1,0 m (max. visina vala od 1,7 m). Za brodove duljine 110 metara ili manje granična vrijednost signifikantne visine vala iznosi 0,5 m. Za sve granične slučajeve brzine vjetra i visine vala pretpostavlja se morska struja najveće brzine od 0,5 čv.
- (8) Manevriranje je dozvoljeno isključivo kada je horizontalna vidljivost veća od 1 M.
- (9) Tijekom manevriranja LNG brodova u razvozu treba koristiti tegljače kako slijedi: Za brodove duljine do 110 metara najmanje jedan (1) tegljač vučne sile ne manje od 350 kN (35 t) pri manevru pristajanja i isplovljivanja; Za brodove duljine od 110 metara do 160 metara najmanje dva (2) tegljača pri manevru pristajanja te najmanje jedan (1) tegljač pri manevru isplovljivanja sa vučnom silom ne manjom od 350 kN (35 t) za svaki pojedini tegljač; Za brodove duljine od 160 metara do 190 metara najmanje tri (3) tegljača pri manevru pristajanja te najmanje dva (2) tegljača pri manevru isplovljivanja s vučnom silom ne manjom od 500 kN (50 t) za svaki pojedini tegljač.
- (10) U slučaju da brod duljine od 110 do 160 metara ne posjeduje pramčani bočni porivnik brod mora u slučaju isplovljivanja koristiti najmanje 2 tegljača vučne sile ne manje od 500 kN (50 t) za svaki pojedini tegljač.
- (11) U slučaju da LNG brod za razvoz duljine od 160 metara od 190 metara posjeduje dobre manevarske sposobnosti (obilježja kako su navedena u studiji), u povoljnim vremenskim uvjetima manevr isplovljivanja dopušteno je provoditi korištenjem jednog tegljača. Korištenje jednog tegljača na navedenim brodovima dopušteno je uz dogovor zapovjednika LNG broda, peljara i Lučke kapetanije.
- (12) U svim slučajevima obvezno je korištenje tegljača s ASD (*Azimuthing Stern Drive*) propulzijom, odnosno tegljača jednakoj vrijednosti tehničko-tehnoloških obilježja tegljača („fit for purpose“).
- (13) LNG brod u razvozu se u pravilu privezuje lijevim bokom, s pramcem prema otvorenom moru.
- (14) Način manevriranja, odnosno pristajanja i isplovljivanja obavlja se načelno na način opisan u studiji uz korištenje propisanog broja tegljača.



- (15) Do završetka radova na produbljenju pličine ispred terminala koje je planirano za kraj svibnja 2021. godine, manevar pristajanja i ispolavljenja izvoditi na način propisan u dopuni osnovne Maritimne studije „Dopuna maritimne studije LNG FSRU Krk“ koju je Pomorski fakultet izradio u listopadu 2020. godine.
- (16) Pri privezu LNG borda za razvoz mogu se koristiti brodski odbojnici FSRU broda ili brodski odbojnici LNG broda za razvoz (ako ih posjeduje). Prilagođavanje brodskih odbojnika i njihov pregled obavlja se prije svakog priveza LNG broda. Točan položaj odbojnika određuje se studijom kompatibilnosti (Compatibility Study) odnosno izračunom sila na pojedine privezne konope za svaki pojedini slučaj priveza LNG broda za razvoz.
- (17) LNG brodovi za razvoz duljine do 160 m moraju se privezati na FSRU brod korištenjem najmanje 8 priveznih konopa, dok brodovi duljine preko 160 m moraju se privezati korištenjem najmanje 4 pramčana konopa, 4 krmena konopa te po 2 pramčana i 2 krmena springa. Određivanje točnog načina priveza i konačnog broja priveznih konopa određuje se sa studijom (Optimoor Mooring Study) odnosno izračunom sila na pojedine privezne konope za svaki pojedini slučaj priveza LNG broda za razvoz.
- (18) Tijekom boravka LNG broda za razvoz na odgovarajućim mjestima na pramcu i krmi moraju biti postavljena užad (Fire wire-lines) za privez tegljača u nuždi odgovarajuće prekidne čvrstoće.
- (19) Studijom su istaknute mjere sigurnosti prilikom boravka LNG broda za razvoz u slučaju vremenskih nepogoda koje se smatraju izvanrednim okolnostima. Ostale mjere sigurnosti za izvanredne okolnosti vrijede kako su utvrđene osnovnom Maritimnom studijom
- (20) Nastupanje stanja pripravnosti valja smatrati vjetar brzine veće od 21 čv kada se priprema za prekid prekrcaja tereta te je obvezno obavještavanje peljara i tegljača o mogućoj potrebi pružanja pomoći LNG brodu.
- (21) Nastupanje izvanrednih okolnosti na terminalu valja smatrati vjetar brzine veće od 27 čv kada se odvajaju prekrcajne cijevi te se peljar ukrcava na brod, a tegljači postavljaju privezne konope i pružaju pomoći LNG brodu na način opisan u studiji .
- (22) Nastupanjem vjetra većeg od 38 čv LNG brod za razvoz mora napustiti vez.
- (23) Odgovorne osobe luke, terminala, zapovjednik FSRU broda ili zapovjednik LNG broda za razvoz mogu donijeti odluku o prekidu prekrcaja tereta, odvajajući prekrcajnih cijevi i napuštanju veza i u slučaju drugačijih okolnosti od predviđenih odnosno u bilo kojem trenutku, ako ocijene da je ugrožena sigurnost bilo kojeg broda.
- (24) Predlaže se praćenje svih predloženih mjera sigurnosti plovidbe tijekom pristajanja prvih 6 LNG brodova za razvoz, te nakon toga, po potrebi ponovno preispitivanje predloženih mjera sigurnosti.



P / 5 8 9 0 7 4 8

REPUBLIKA HRVATSKA
Ministarstvo mora, prometa
i infrastrukture
Uprava sigurnosti plovidbe
Lučka kapetanija Rijeka
Senjsko pristanište 3

KLASA: UP/I-350-05/21-01/28

URBROJ: 530-04-5-2-21-2

Rijeka, 29. travnja 2021. godine

LUČKA KAPETANIJA RIJEKA nadležna temeljem članka 1. Zakona o lučkim kapetanijama (NN br. 118/18), temeljem članka 96. Zakona o općem upravnom postupku (NN br. 47/09), povodom zahtjeva Lučke uprave Rijeka u predmetu prihvatanja i potvrđivanja maritimne studije, donosi

RJEŠENJE

Prihvata se i potvrđuje dopuna maritimne studije 'Maritimna studija - LNG FSRU Krk' naziva 'Privez small-scale LNG brodova na LNG FSRU Krk', izrađene u Rijeci, travanj 2021. godine od Pomorskog fakulteta u Rijeci, Studentska 2, Rijeka za potrebe naručitelja LNG Hrvatska d.o.o, Radnička cesta 80, 10000 Zagreb.

Obrázloženje

LNG Hrvatska d.o.o, obratila se dana 14. travnja 2021. ovom tijelu sa zahtjevom da se prihvati i potvrdi dopuna 'Maritimne studije - LNG FSRU Krk' naziva 'Privez small-scale LNG brodova na LNG FSRU Krk', izrađene od Pomorskog fakulteta u Rijeci za potrebe naručitelja LNG Hrvatska d.o.o.

Uvidom u navedenu dopunu Maritimne studije utvrđeno je da ista, u cjelini s Maritimnom studijom – LNG FSRU Krk, formalno udovoljava uvjetima propisanim člankom 54a. stavkama 4, 5. i 6. Pomorskog zakonika (NN 181/04, 76/07, 146/08, 61/11, 56/13, 26/15 i 17/19), odnosno da sadržajno udovoljava osnovnim mjerama maritimne sigurnosti u predmetnoj luci posebne namjene.

Slijedom iznesenog riješeno je kao u izreci. Upravna pristojba u iznosu od 35,00 kuna naplaćena je po Tar. br. 1. i 2. Tarife Zakona o upravnim pristojbama (NN br. 8/96 s izmjenama) u korist Državnog proračuna RH.



dr. sc. Darko Glažar dipl. inž. kap.

EL.

UPUTA O PRAVNOM LIJEKU:

Protiv ovog rješenja može se uložiti žalba Ministarstvu mora, prometa i infrastrukture, putem ovog tijela, u dva primjerka, u roku od 15 dana od dana primitka ovoga rješenja. Na žalbu se plaća upravna pristojba u iznosu od 35,00 kuna.

DOSTAVITI:

1. LNG Hrvatska, Radnička cesta 80, 10000 Zagreb
2. Za spis