Proračun kuta ljuljanja broda za opskrbu platformi

Zekan, Mario

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:671671

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository - Faculty of Maritime Studies - Split - Repository - Faculty of Maritime Studies Split for permanent storage and preservation of digital resources of the institution

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU

POMORSKI FAKULTET U SPLITU

MARIO ZEKAN

PRORAČUN KUTA LJULJANJA BRODA ZA OPSKRBU PLATFORMI

DIPLOMSKI RAD

SPLIT, 2018.

	POMORSKI FAKULTET U SPLITU	Stranica: Šifra:	1/1 F05.1.-DZ
	DIPLOMSKI ZADATAK	Datum:	22.10.2013.

Split, _____

Zavod/studij: _____

Predmet: _____

D I P L O M S K I ZADATAK

Student/ca: _____

Matični broj: _____

Zavod/studij: _____

ZADATAK:

OPIS ZADATKA:

CILJ:

ZADATAK URUČEN STUDENTU/CI: _____

POTPIS STUDENTA/CE: _____

MENTOR: _____

●ZABRANJENO UMNOŽAVANJE

SVEUČILIŠTE U SPLITU

POMORSKI FAKULTET U SPLITU

POMORSKA NAUTIKA

PRORAČUN KUTA LJULJANJA BRODA ZA OPSKRBU PLATFORMI

DIPLOMSKI RAD

MENTOR:

prof. dr. sc. Izvor Grubišić

(MB:0171262634)

STUDENT:

Mario Zekan

SAŽETAK

Pomorstvenost brodova za opskrbu platformi je usko povezan sa stanjem mora koje utječe na odziv broda na valovima i u procjeni njegove operabilnosti.

Za svaki se brod mogu odrediti glavna translacijska i rotacijska gibanja na valovima s obzirom na zamišljene osi u centru broda. Svaki je brod definiran tehničkim karakteristikama koje nam uvelike pomažu u proračunu gibanja broda.

Pri određivanju ljuljanja broda može se koristiti relativno jednostavni proračun koji pomaže pomorcima prilikom određivanja rute plovidbe. Prikazan je proračun ljuljanja broda na stvarnom primjeru broda Havila Aurora te su doneseni zaključci za korekciju ljuljanja.

Ključne riječi: *pomorstvenost, brodovi za opskrbu platformi, stanje mora, translacijska gibanja, rotacijska gibanja, ljuljanje broda*

ABSTRACT

Seakeeping offshore supply vessels for the supply of platforms are closely tied with the state of the sea, which affect the response of the ship when on waves and the estimate of its operability.

Every ship can be determined by major transactional and rotational wave movement depending on the imagined axes in the center of the ship. Every ship carries technical characteristics greatly help us in the calculation of the ship.

When determining swinging and rolling, the basic coordinate system is used. These two movements act consequently by swinging higher when the swelling period increases. The budget is displayed on a real-life example of the Havila Autrora boat, and there were also conclusions made based on the swing correction.

Key words: *seakeeping, offshore supply vessel, sea state, transactional movement, rotational movement*

SADRŽAJ:

1.UVOD 1
2. POVIJEST RAZVOJA BRODA ZA OPSKRBU PLATFORMI 2
3. PODRUČJA PLOVIDBE BRODA 5
4. ODOBALNI OBJEKTI ZA CRPLJENJE NAFTE I PLINA 8
5.1. OPIS VISINE I DULJINE VALA 11
6. POMORSTVENOST BRODA 16
6.1. KOORDINATNI SUSTAVI PRI ODREĐIVANJU NJIHANJA BRODA 17
6.1. FREKVENCIJA I KUT SUSRETANJA VALOVA 19
7. OPIS ROTACIJSKOG GIBANJA - LJULJANJE 22
7.1. STABILIZACIJA LJULJANJA 25
8. PRIMJER BRODA I NJEGOVA SVOJSTVA 26
9. PRORAČUN LJULJANJA BRODA HAVILA AURORA 29
10. ZAKLJUČAK 31

1.UVOD

U ovom radu prikazati će se primjer broda za opskrbu platformi, njegova svojstva i proračun gibanja na valovima ovisno o stanju mora, visini i duljini vala. Iako se stanje mora uvelike određuje vizualnim putem postoji niz proračuna kojima sve to možemo detaljizirati i prikazati u željenom stanju. To je sve prikazano u Beaufortovoj i Douglasovoj skali koje su međunarodni jezik za opis stanja mora. Iako se brodovi za opskrbu platformi mogu kretati bilo kojim područjem plovidbe, najzastupljeniji su u Sjevernom moru koje je jedno od glavnih područja platformi.

U drugom dijelu rada će se pobliže objasniti pojam pomorstvenosti, njihanja i ljuljanja broda te će se izvesti proračun korekcije ljuljanja za brod Havila Aurora.

Pomorstvenost plovnog objekta primjenjuje se u analizi njegova odziva na morskim valovima pri procjeni njegove operativnosti i sigurnosti na nemirnom moru. Dostupna saznanja o teoriji njihanja koriste se u fazi osnivanja broda kao i tijekom njegove eksploatacije.

Dinamika njihanja broda opisana je jednadžbama njihanja koje uravnotežuju vanjske sile o momente koji djeluju na brod s unutrašnjim silama i momentima uslijed inercije.

2. POVIJEST RAZVOJA BRODA ZA OPSKRBU PLATFORMI

Mnogi smatraju da je industrija OSV-a (*offshore supply vessel*) započela 1955. godine s Alden J. Labordeovim Ebb Tideom, jednim od prvih svjetskih proizvođača brodova za opskrbu platformi. Projektiranjem tog broda Tidewater je postao vodeći u offshore transportu. Međutim, zapovjednici Louisiane su se orijentirali na naftna polja u zaljevima i unutarnjim plovnim putovima još 1940-ih.

Do sredine pedesetih godina prošlog stoljeća, konkurencija među američkom flotom radnih brodova je rasla na druge brodove i tegljače. Glavni čovjek *L & M BoTruc Rentals* imao je flotu brodova za prijevoz ulja, ali je htio ponuditi svojim klijentima još bolje brodove. Saznao je o brodograditelju na *Rhode Islandu,* Lutheru Blountu, koji je već dizajnirao operativni brod s kabinom smještenom na prednjoj strani i otvorenoj palubi straga, koju je nazvao Botruc. Kao što se često događa s tehnološkim inovacijama, Blount i Laborde gotovo su istodobno uveli značajan korak naprijed u OSV dizajnu s kabinom naprijed i otvorenom palubom straga. [1]



Slika 1. BoTruc- jedan od prvih radnih brodova [1]

BoTruc izgrađen za *L & M BoTruc Rentals* bio je jedan od prvih radnih brodova koji su imali kabinu ispred i otvorenu palubu na stražnjoj strani.

Povijest brodova za opskrbu platformi je utemeljena na prosperitetu. Nastala je uz dosta ljudi koji su imali maštu identificirati određenu potrebu i silu volje da ispune tu potrebu. Priča se izmjenjivala tijekom desetljeća, a tvrtke koje su se bavile brodovima za opskrbu platformi su rasle ili padale ovisno o globalnoj potražnji za naftom.

Međutim, prodajna vrijednost plovila smanjuje se kada konkurenti nude novije brodove s boljim tehnološkim rješenjima, poput brže crpke, bolje učinkovitosti goriva ili dinamičkog pozicioniranja. Brodovi za opskrbu platformi imaju relativno nizak prinos u usporedbi s njihovim mogućnostima zarade na razumno uravnoteženom tržištu.

U razdoblju od 1977. do 1983. godine, američko brodogradilište isporučilo je preko 280 brodova za opskrbu platformi. Od tih 280 brodova, samo 116 je ukinuto ili u mirovini, dok je 164 (58%) još uvijek danas u službi u zapadnoj Africi, Bliskom istoku , Meksiku, jugoistočnoj Aziji, Južnoj Americi i američkom zaljevu.

Trenutni pad u offshore uslugama započeo je usred velikog ciklusa izgradnje brodova za opskrbu platformi koji je počeo rampirati u 2011. godini. Dok američki moratorij bušenja 2010. i kasnije promjene u bušenju nisu dozvoljavale ubrzanu aktivnost, ponovno se pojavila potražnja brodova za opskrbu platformi 2011. [1]

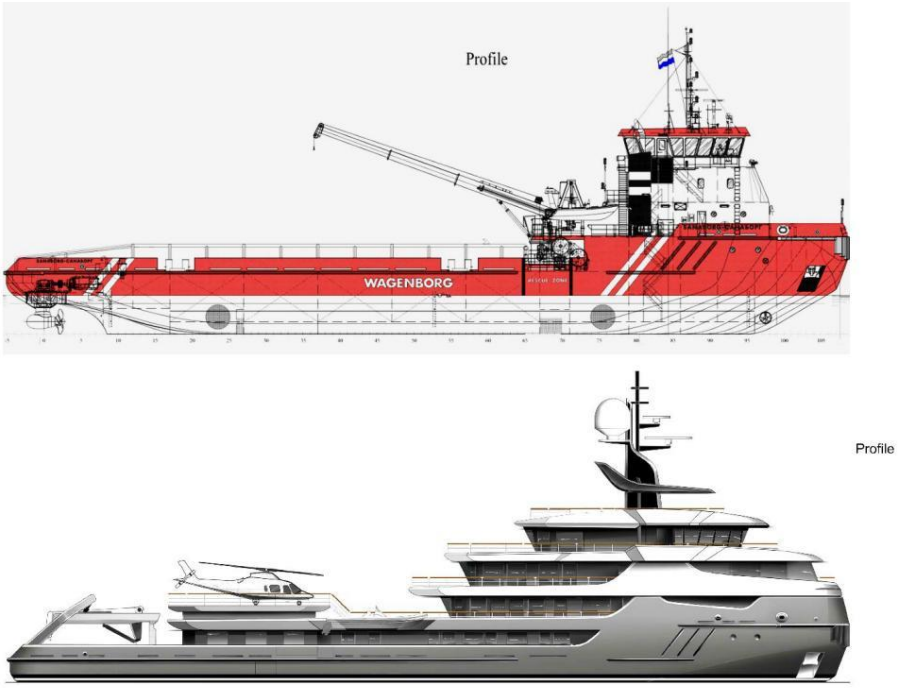
No, tržište brodova za opskrbu platformi se promijenilo tijekom moratorija. Mnogi brodovi za opskrbu platformi koji su bili isključeni u tom razdoblju pronašli su dugoročne poslove u Meksiku, Brazilu i Zapadnoj Africi.

Američki vlasnici brodova uzeli su velike kredite dok su nastojali zadovoljiti potražnju i povećati svoj tržišni udio. U prosincu 2011, *Hornbeck Offshore Services* naručio je 16 velikih brodova za opskrbu platformi (5.500 - 6.200 brt) i 16 novih mogućnosti.

Narudžba brodova za opskrbu platformi nastavila je rasti u 2012. s *GulfMarkom, Tidewaterom, Bordelon Marineom, Thoma-Sea* brodogradilištem i *Abdon Callais Offshore* koji su zahtijevali više brodova za opskrbu platformi u rasponu od 3.500-6.200 brt. Vrhunac se dogodio u srpnju 2013. kada je *Edison Chouest Offshore* priopćio kako je njegova narudžba porasla na 17 novogradnji plus 20 mogućnosti. [1]

To je bilo i vrijeme kada su vlasnici brodova za opskrbu platformi počeli graditi *flotu Jones Act MPSV-a* (višenamjenski brodovi za opskrbu). Podržane jakim cijenama nafte, brodogradilišta su jurila kako bi dovršili nove brodove što je prije moguće. Novi brodovi za opskrbu platformi lakše su pronalazili dugoročne ugovore s atraktivnim cijenama, često prije no što bi uopće napustili brodogradilište. U prvoj polovici 2014. godine tržišni su se trendovi i dalje pokazali povoljnijim.

Sredinom 2014., na vrhuncu izgradnje brodova za opskrbu platformi u Sjedinjenim Državama, industrija je počela padati kada su cijene nafte počele padati. Tvrtke nafte dramatično su se povukle od ulaganja u istraživanje i proizvodnju. Kapacitet američkog brodogradilišta je 2014. godine s 37 isporuka brodova za opskrbu platformi. Do 2015. vlasnici s velikim zaostatkom počeli su tražiti načine usporavanja ili odgađanja isporuke plovila, dijelom zbog toga što je isporuka novogradnje izazvala financijske kolapse. Nekoliko OSV-a bilo je opremljeno velikim dizalicama, ROV-om, paketima smještaja i / ili helikopterima.



Slika 2. Razvoja brodova za opskrbu platformi [13]

Američki zaljev je trenutno zasićen viškom brodova za opskrbu platformi. Nadalje, inozemna tržišta poput Meksika, Brazila i Zapadne Afrike, koja su nekoć upijala višak kapaciteta, također pate od vlastitog prekomjernog opskrbljivanja dostupne opreme. Od veljače 2017., *RigBase IHS Market* izvijestio je da su u SAD zaljevu ugovorili 28 plutajućih platformi, a te brojke padaju 2017. godine. Očekuje se da će tržišta naftnih polja doživjeti 2017., nakon čega će uslijediti postupan rast aktivnosti u 2018. godini (uz pretpostavku da će cijene nafte i dalje napredovati). [1]

3. PODRUČJA PLOVIDBE BRODA

Sjeverni morski put je najkraći morski put između europskog dijela Rusije i Dalekog Istoka.

Sjeverno more je pretežno šelfsko more s prosječnom dubinom od 96m.

Sistem vjetrova na Sjevernom moru uvjetuje ciklona, koja se formira u blizini Islanda, i anticiklona u blizini Azora. Zimi je vrlo jak utjecaj Sibirske anticiklone. Islandska je ciklona zimi izrazita te se često pruža prema sjevernoj Norveškoj. Ljeti visok tlak nad Azijom i Europom oslabi, a Azorska anticiklona ojača pa se zbog toga osjeća na južnom dijelu Sjevernog mora. Izobare su orijentirane zimi od jugozapada prema sjeveroistoku, a ljeti od sjeverozapada prema jugoistoku. Zimi dominiraju južni i jugozapadni vjetrovi, a ljeti sjeverozapadni i sjeverni. Tišine su rijetke i kratkotrajne. [7]

Cirkulacija vode u Sjevernom moru ovisi u prvom redu o plimnim valovima i njihovim refleksima. Iz Atlantskog oceana ulaze u Sjeverno more tri plimna vala, jedan, veći obilazi na sjeveru Škotsku, drugi dolazi iz Engleskog kanala, a treći uz obalu Norveške. Amplituda morskih mijena je najveća na obalama Velike Britanije i to od 3 do 7m. [7]

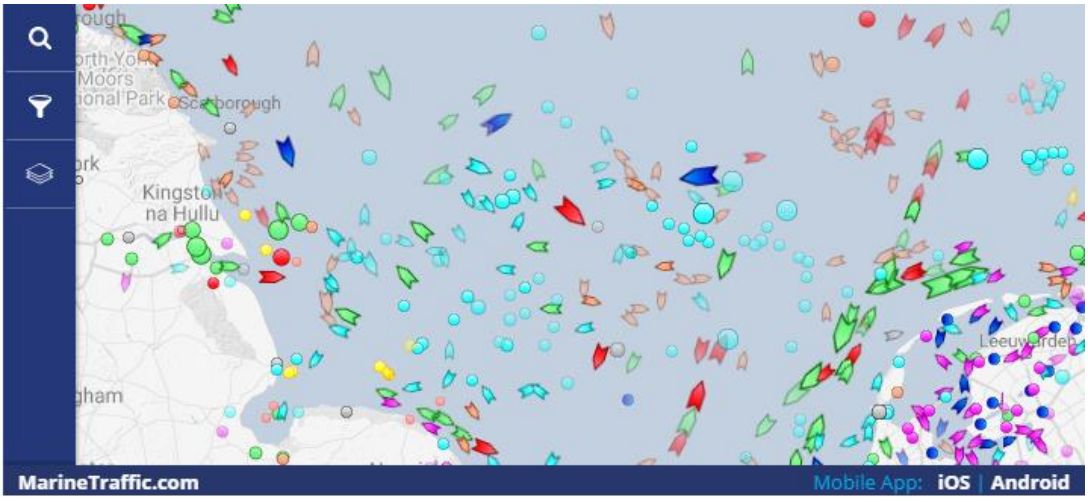
Ima nekoliko glavnih luka koje se nalaze duž obale kao što su Rotterdam, najprometnija luka u Europi, Antwerp, Hamburg, Bremerhaven i Felixstowe, sve prometne luke za kontejnere, kao i Luka Bruges-Zeebrugge, vodeća europska Ro-Ro luka. Navigacija može biti i teška zbog obalnih pješčanih banaka, česte magle i intenzivnih zimskih oluja. Koristi se Doverov tjesnac koji je prikazan na slici 3. i njime svakodnevno prometuje preko 400 komercijalnih

plovila. Tjesnac je pod punim radarskim nadzorom i njime se upravlja sustavom odvojene plovidbe. [2]



Slika 3. Prikaz Doverskog prolaza na karti [3]

Obale Sjevernoga mora imaju brojne kanale i kanalizacijske sustave koji olakšavaju promet između rijeka, umjetnih luka i mora. Kielski kanal povezuje Sjeverno i Baltičko more i najprometniji je umjetni kanal u svijetu. Kanal Sjevernog mora povezuje Amsterdam sa Sjevernim morem. [4]



Slika 4. Trenutno područje plovidbe Sjevernim morem [4]

Područjem Sjevernog mora se jako gusto prometuje što se može vidjeti na slici 4. koja prikazuje trenutni promet u Sjevernom moru.

Plovi se redovito u konvojima, koje predvode ledolomci. Uz pomoć zrakoplovstva i mnogobrojnih radarskih i meteoroloških postaja, za plovidbu se koristi do 150 dana u godini.[4]

4. ODOBALNI OBJEKTI ZA CRPLJENJE NAFTE I PLINA

Sjeverno more je more s prosječnom dubinom od 96 m, a najmanja 14 m. Dno Sjevernog mora pokriveno je nanosima (pijesak, ilovača i šljunak) velikih rijeka Rajne, Wesere i Labe.

Sistem vjetrova na Sjevernome moru uvjetuje ciklona, koja se formira u blizini Islanda, i anticiklona u blizini Azora. Zimi je vrlo jak utjecaj Sibirske anticiklone. Islandska je ciklona zimi izrazita te se često pruža prema sjevernoj Norveškoj. Ljeti visok tlak nad Azijom i Europom oslabi, a Azorska anticiklona ojača pa se zbog toga osjeća na južnom dijelu Sjevernog mora. Izobare su orijentirane zimi od jugozapada prema sjeveroistoku, a ljeti od sjeverozapada prema jugoistoku. Zimi dominiraju južni i jugozapadni vjetrovi, a ljeti sjeverozapadni i sjeverni.

Sjeverno more je oduvijek bio centar glavnih trgovinskih linija, ali 1960-70-ih godina dobiva i specifičnu vrijednost od neprocjenjivog značenja za inače u cijelosti energijom deficitarnu Zapadnu Europu (nafta i prirodni plin). [7]

Tokom 1980tih i 1990tih uslijedila su otkrića novih naftnih polja ispod Sjevernog mora. Iako su troškovi njene proizvodnje vrlo visoki, dobivena nafta ima vrlo visok kvalitet, što uz činjenice da okolna regija ima reputaciju jake političke i sigurnosne stabilnosti i da su u blizini razvijene zemlje Zapadne Evrope, daju ovom području veliki ekonomski značaj.

U međuvremenu, do danas u Sjevernom moru postoji oko 450 naftnih platformi, čime je Sjeverno more najvažnije odobalno naftno područje. Većina platformi se nalazi u britanskom sektoru Sjevernog mora, a nakon njih su platforme u norveškom, holandskom i danskom sektoru. Britanski i norveški sektor pored toga imaju i najveće rezerve nafte. Procjene polaze od toga da se samo u norveškom sektoru nalazi oko 54% naftnih i 45% rezervni prirodnog gasa. Najveće polje prirodnog gasa u Sjevernom moru je polje *Troll*. Ono se nalazi u Norveškoj brazdi na dubini od 345 metara, te su učinjeni veliki napori da se do njega dođe i počne crpiti gas.

Do danas je dno Sjevernog mora toliko istraženo, da se gotovo ne očekuje da će u njemu biti nekih većih otkrića novih zaliha. U posljednjih nekoliko godina neki veći svjetski naftni koncerni kao što su *Shell* i *BP* obustavili su vađenje nafte u Sjevernom moru a količina dobijene nafte od 1999. godine do danas je u stalnom padu zbog sve manjih rezervi.[14]

5. STANJA MORA

Za stanje more od bitnog značenja su dvije ljestvice: Douglasova i Beufortova skala.

Douglasova skala (tablica 1.) prikazuje dva pojma visinu valova i opis mora, koji su usko povezani. Ljestvica je vrlo jednostavna za korištenje i mjeri se u stupnjevima do 10.

Stanje mora	Visina vala(m)	Opis mora
0	0	Mirno kao zrcalo
1	0 – 0.1	Mirno, namreškano
2	0.1 – 0.5	Malo valovito
3	0.5 – 1.25	Malo do umjereno valovito
4	1.25 – 2.5	Umjereno valovito
5	2.4 – 4	Jako valovito
6	4 – 6	Vrlo jako valovito
7	6 – 9	Visoko more
8	9 – 14	Vrlo visoko more
9	14 i više	Izvanredno visoko more

Tablica 1. Douglasova skala za stanje mora

Mehanizam stvaranja morskih valova uslijed djelovanja vjetra ukazuje na korelaciju jakosti vjetra i visine valova koje uzrokuje. Međutim, da bi se odredila brzina vjetra običaj je oslanjati se na vizualni izgled mora. Taj je način doveo do razvoja Beaufortove skale,

odnosno numeričke ljestvice koja povezuje stanje vjetra na površini s približnom procjenom uvjeta na moru. [5]

Konačan oblik Beaufortove skale je prihvaćen 1946. u Parizu na Međunarodnom meteorološkom kongresu kada je ustanovljen svjetski standard mjerenja brzine vjetra. Opis površine u velikoj mjeri određuje uvjete koji se mogu očekivati na otvorenom moru daleko od obale. Tablica predočuje skalu stanja mora i njezin odnos prema oznakama stanja mora prema Svjetskoj meteorološkoj organizaciji. [5]

Beufortova skala	Brzina vjetra	Otvoreno more ITTC, Bretschneiderov spektar			Sjeverno more JONSWAP spektar			
		$H_{1/3}$	T_1	T_2	$H_{1/3}$	T_1	T_2	T_3
	Čv	m	S	s	m	s	s	-
1	2,0	1,1	5,8	5,35	0,50	3,5	3,25	3,3
2	5,0	1,2	5,9	5,45	0,65	3,8	3,55	3,3
3	8,5	1,4	6,0	5,55	0,80	4,2	3,9	3,3
4	13,5	1,7	6,1	5,60	1,10	4,6	4,3	3,3
5	19	2,15	6,5	6,00	1,65	5,1	4,75	3,3
6	24,5	2,9	7,2	6,65	2,50	5,7	5,3	3,3
7	30,5	3,75	7,8	7,20	3,60	6,7	6,25	3,3
8	37	4,9	8,4	7,75	4,85	7,9	7,35	3,3
9	44	6,1	9,0	8,30	6,10	8,8	8,2	3,3
10	51,5	7,45	9,6	8,80	7,45	9,5	8,85	3,3
11	59,5	8,7	10,1	9,30	8,70	10	9,3	3,3
12	>64	10,25	10,5	9,65	10,25	10,5	9,8	3,3

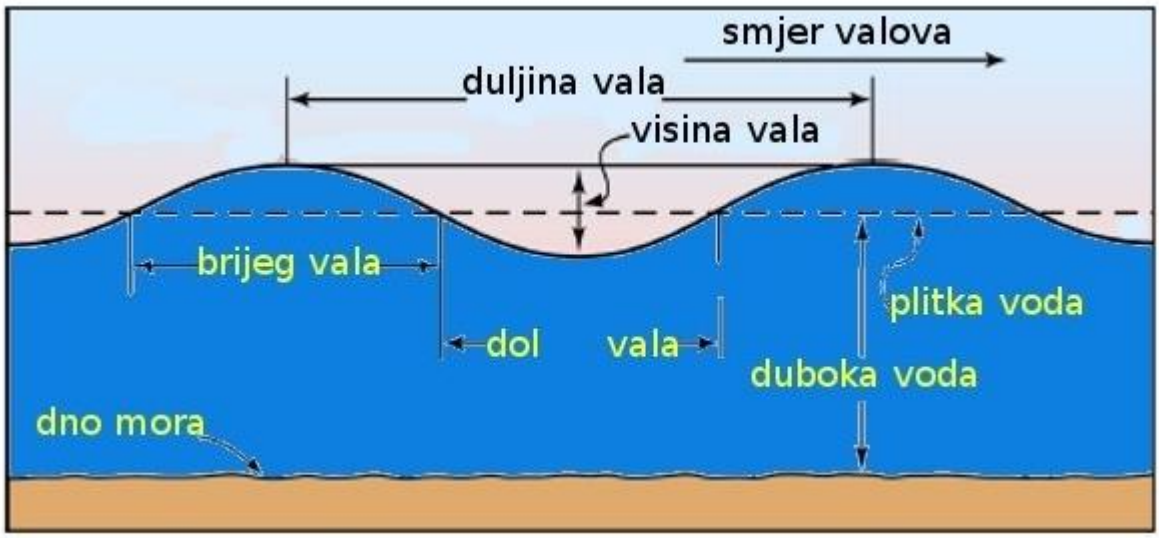
Tablica 2. Beufortova skala

Iz Tablice 2 se može očitati primjer Baufort stupnja 6. Opisan je brzinom vjetra od 24,5 čv te značajnom valnom visinom od 2,9m (ITTC i Bretschneiderov spektar) odnosno 2,5m za JONSWAP spektar valova. Također su prikazani periodi i to nulti, odnosno vršni.

5.1. OPIS VISINE I DULJINE VALA

Pod visinom vala podrazumijeva se razlika visine brijega i doline vala, duljina vala je udaljenost između dva brijega ili dvije doline, brzina premještanja vala je udaljenost koju brijeg ili dolina vala pređe u jedinici vremena, a period ponavljanja je vrijeme između prolaza dva brijega, odnosno dvije doline vala na istom mjestu.

Odnos visine i duljine vala naziva se strmina vala. Primijećeno je da strmina vala na dubokoj vodi ne prelazi omjer 1 : 3, odnosno da je visina vala 3 puta manja od duljine vala. Kad val dosegne kritičnu strminu dolazi do loma vrha vala i pojave kreste. [6]



Slika 5. Prikaz visine i duljine vala [6]

Globalne značajke određenog signala primjerenije se definiraju srednjim vrijednostima veličina, odnosno određuju se sljedeće vrijednosti:

$\bar{\zeta}_a$ – srednja valna amplituda – srednja vertikalna udaljenost brijega ili dola vala od srednje razine vode

$\bar{H}$ – srednja valna visina – srednja vertikalna udaljenost uzastopnog brjega i dola

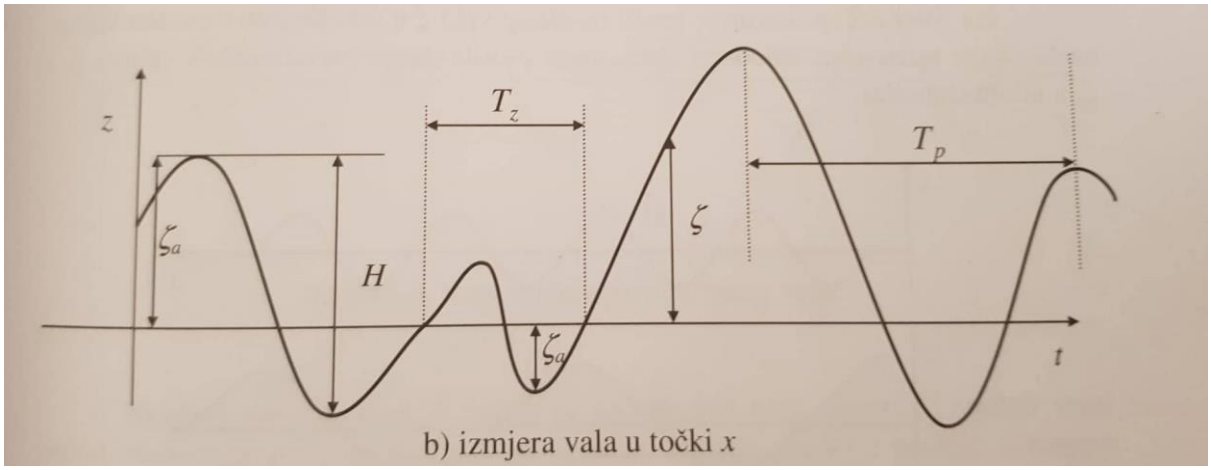
$\bar{\lambda}_p$ – srednja valna duljina između vrhova - srednja horizontalna udaljenost između dva uzastopna brijega ili dola

$\overline{\lambda}_z$ – srednja valna duljina nultog presjeka – srednja horizontalna udaljenost između dvije uzastopne nulte točke u padu ili rastu

$\overline{T_p}$ – srednji valni period između vrhova – srednji vremenski interval između dva uzastopna brijega

$\overline{T_z}$ – srednji valni period nultog presjeka – srednji vremenski interval između dvije nulte točke u padu ili rastu

Na osnovi ovih vrijednosti moguće je uspoređivati različite valne procese, odnosno osnovna svojstva određenog valnog poremećaja. [5]

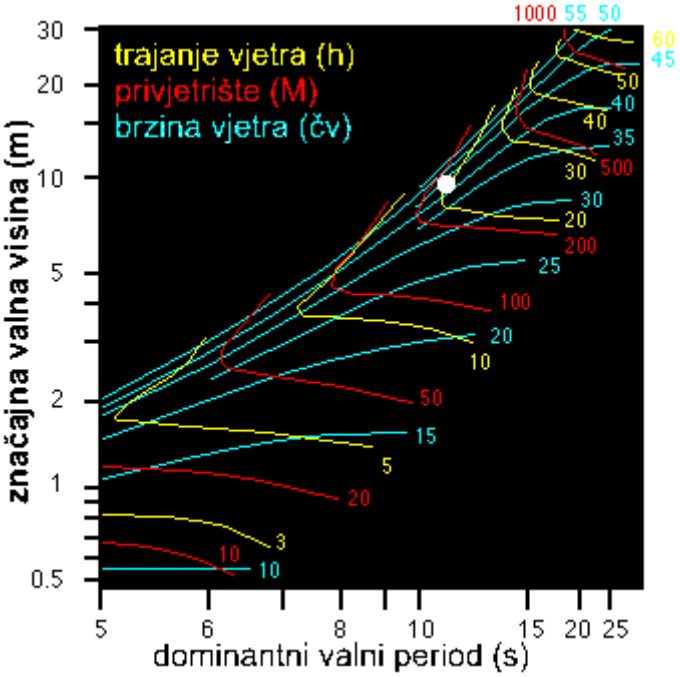


Slika 6. Izmjera vala u nekoj točki [5]

Valovi na dubokoj vodi i valovi na plitkoj vodi se različito ponašaju. Plitkom vodom za val definiramo dubinu vode koja je manja od pola valne duljine. Dolaskom u plitku vodu svojstva valova se mijenjaju, brzina se smanjuje, smjer se mijenja, visina raste i stvara se kresta i lom vrha vala. [6]

Visina valova ovisi o brzini vjetra ali i o veličini otvorene vodene površine. Između otoka i u zatvorenom moru valovi su uvijek manji nego na otvorenom moru.

U tablici su prikazani podaci o valnim visinama i srednjim periodima u odnosu na Beaufortovu skalu za općenito otvoreno more za Sjeverno more i za Jadransko more. [7]



Slika 7. Značajna visina vala u ovisnosti o duljini privjetrišta, brzini i trajanju puhanja vjetra [8]

Stanje mora se procjenjuje vizualnom procjenom srednje visine i perioda promatranih valova. Sve su češće dostupni podaci dobiveni mjerenjem pomoću oceanografskih plutača i ostalih instrumenata. Krečući se od tog dvostrukog izvora podataka, radi određivanja korelacije između različitih postupaka, Hogben i Lumb uspoređuju vizualne procjene i mjerene vrijednosti. Nalaze sljedeće približne izraze. [5]

$H_{1/3} = 1{,}06\ \overline{h_v}$

$\overline{T_z} = 0{,}73\ \overline{T_v}$

$T_m = 1{,}12\ \overline{T_v}$

Gdje su $\overline{H_v}$ i $\overline{T_v}$ vizualno procijenjene srednje vrijednosti visina i perioda valova. Dvije godine iza toga Nordenstrom nalazi alternativne izraze: [5]

$H_{1/3} = 1{,}68\ (\overline{h_v})^{0{,}75}$

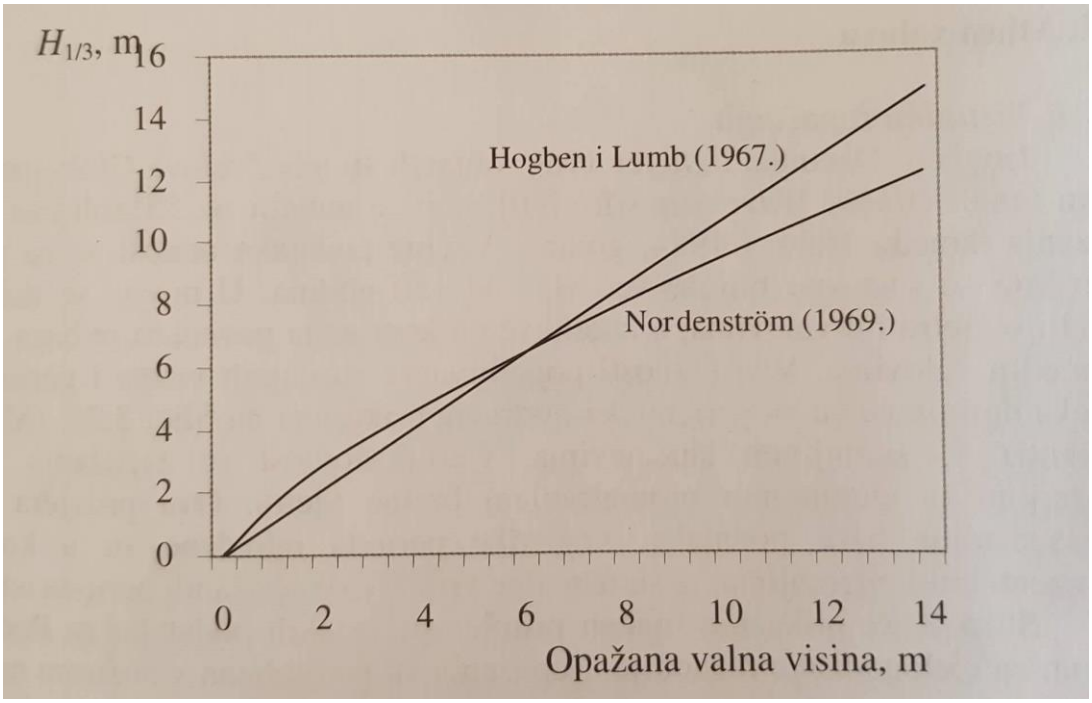
$\overline{T_z}$ = 0,82 $(\overline{T_v})^{0,96}$

U ovom slučaju nedostaje odnos modalnog i vizualnog perioda. Smatrajući ispravnim odnos

T_m = 1,408 $\overline{T_z}$ iz Bretschneiderova spektra, proizlazi da je

T_m =1,16 $(\overline{T_v})^{0,96}$

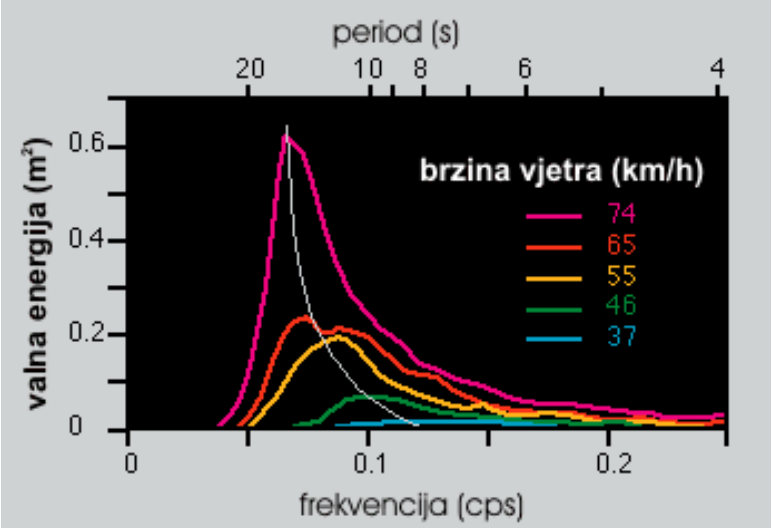
Dijagrami dobiveni prethodnim izrazima prikazani su na slici gdje se vidi vizualna procjena srednje visine morskih valova dobro slaže s njihovom značajnom visinom. [5]



Slika 8. Dijagram opažane valne visine, m [5]

Površinski valovi uzrokovani vjetrom predstavljaju zbroj velikog broja individualnih jednofrekvencijskih valova. Stoga se površinski valovi opisuju pomoću svojih spektralnih karakteristika ili pomoću karakterističnih parametara u određenoj situaciji. Uobičajeni karakteristični parametri valova, koji se koriste u oceanografskoj i pomorskoj literaturi, su:

- **$H_{1/3}$**, značajna visina vala, je veličina koja predstavlja srednju visinu 1/3 najviših valova u određenoj situaciji.
- **$H_{1/10}$**, srednja visina 1/10 najviših valova u određenoj situaciji. Ta je veličina obilježje najviših valova u nekom zapisu.
- **H_{max}**, maksimalna visina vala zabilježena u određenoj situaciji
- **T_{sr}**, srednji (značajni) period
- **L_{sr}**, srednja vrijednost duljine vala, predstavlja srednjak horizontalnih udaljenosti između susjednih valnih brjegova određene registracije. [8]



Slika 9. Energija valova potpuno razvijenog mora u ovisnosti o brzini puhanja vjetra [8]

Najdulji su plimni valovi, a njihova duljina na ekvatoru iznosi: [9]

$\lambda = 180 \cdot 60 \cdot 1852 = 2 \cdot 107$ m

Tektonski valovi također mogu biti vrlo dugački, i do $\lambda = 5 \cdot 105$ m

U pomorskoj praksi je općenito prihvaćeno da je omjer visine i duljine vala na otvorenim morima: $H : \lambda = 1 : 15$ [9]

6. POMORSTVENOST BRODA

Općenito za vrijeme plovidbe gibanja broda obuhvaćaju neke kombinacije temeljnih gibanja, s tim da je jedno od tih dominantno. Ta gibanja nepovoljno utječu na pomorstvenost broda te ponekad mogu imati ove posljedice:

- brod se uslijed prekomjernog njihanja prevrne;
- trup ili elementi konstrukcije oštete se uslijed dodatnih sila izazvanih gibanjima;
- slabo vezani ili ne kohezijski teret pomiče se zbog nagibanja broda i dodatnih sila inercije;
- zbog zaronjavanja bokova ili krajeva broda ispod površine vala palubu preplavljuje voda;
- u radu brodskog postrojenja nastaju smetnje uslijed djelovanja dinamičkih opterećenja koja potječu od gibanja broda;
- brzina plovidbe broda smanjuje se uslijed povećavanja otpora i pogoršanih uvjeta rada propelera;
- pojavljuje se morska bolest;
- oštećuju se osjetljivi elementi opreme automatizacije;
- smanjuje se točnost gađanja ili se potpuno onemogućuje djelovanje oružja ratnih brodova; [7]

Pretpostavka razmatranja njihanja broda na valovima je da se brod ponaša kao kruto tijelo što znači da elastični pomaci trupa nemaju veliki utjecaj na njihanja broda. Stoga je uzrok dinamike tijela i fluida kombinirani utjecaj vanjskih sila i momenata. [10]

Rezultirajuće njihanje broda sastoji se od sljedećih šest gibanja podijeljenih u dvije grupe:

1. Translacijska gibanja:

-zalijetanje (u smjeru osi x)

-zanošenje (u smjeru osi y)

-poniranje (u smjeru osi z)

2. Rotacijska gibanja:

-valjanje (oko osi x)

-posrtanje (oko osi y)

-zaošijanje (oko osi z) [10]

Budući da velikom većinom brodovi imaju simetričnu lijevu i desnu stranu njihanja , zalijetanja, poniranja i posrtanja nazivaju se i simetričnim njihanjima, ili njihanjima u vertikalnoj ravnini. Nasuprot tome, njihanja zanošenja, ljuljanja i zaošijanja nazivaju se asimetričnim njihanjima ili njihanjima u poprečnoj ravnini. Koordinatni sustav koji rotira zajedno s brodom G (X_{B1}, X_{B2}, X_{B3}) koristi se pri određivanju položaja pojedinih točaka na brodu, odnosno najčešće ubrzanja koja se javljaju u pojedinim točkama pri njihanju broda na valovima. To je posebno važno za veće mase koje su učvršćene za brodsku konstrukciju ñ najbolji primjer je prijevoz teških tereta. [10]

6.1. KOORDINATNI SUSTAVI PRI ODREĐIVANJU NJIHANJA BRODA

Pri određivanju njihanja broda potrebno je razlučiti osnovne koordinatne sustave koji se pritom koriste. Na sljedećoj slici prikazani su osnovni koordinatni sustavi koji se koriste u teoriji pomorstvenosti: E (X_{E1}, X_{E2}, X_{E3}) Nepomični je koordinatni sustav. Ravnina (X_{E1}, X_{E2}) leži na mirnoj površini vode. Smjer osi X_{E1} je smjer njihanja morskih valova, dok je os X_{E3} usmjerena vertikalno prema gore. [10]

0 (X_{01}, X_{02}, X_{03})

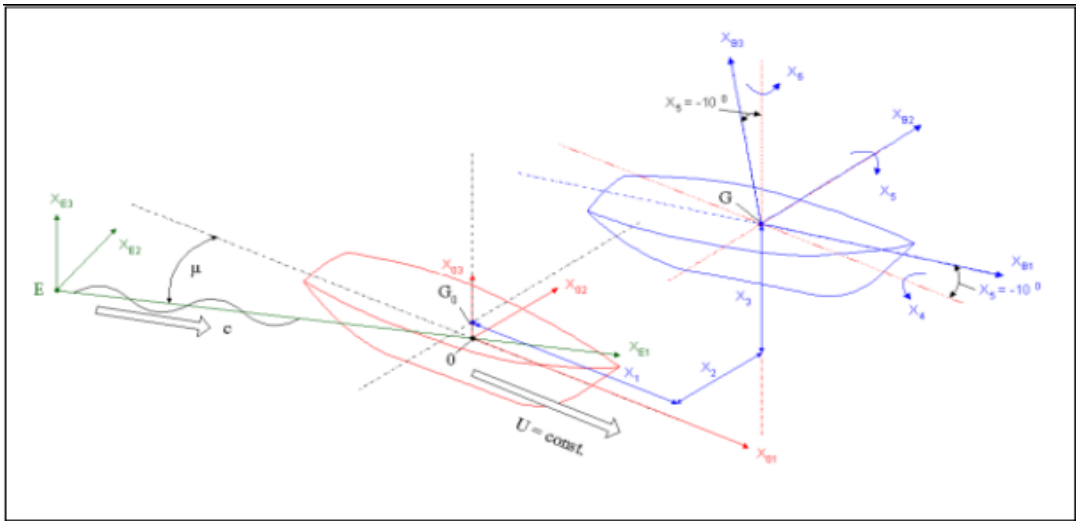
Ovaj koordinatni sustav zakrenut je za kut susretanja valova μ tako da se os 0 X_{01} podudara sa smjerom plovidbe broda. Točka 0 se kreće brzinom broda U. Ta brzina odgovara brzini broda u mirnoj vodi. Općenito se ovaj koordinatni sustav naziva inercijskim, jer ravnina (X_{01}, X_{02}) leži na mirnoj površini vode.

G_0 (X_1, X_2, X_3)

Točka G_0 je srednji položaj težišta mase broda G, budući da se težište mase broda G harmonijski giba gore-dolje. Dakle, pri poniranju broda točka 0 nalazi se ispod ili iznad težišta mase broda G. Kreće se prema naprijed konstantnom brzinom broda U. Os X_2 usmjerena je prema lijevo dok je os X_3 usmjerena vertikalno prema gore. Ravnina (X_1, X_2) uvijek leži na površini mirne vode. Zbog toga se pri određivanju apsolutnih njihanja broda, u pojedinim točkama na palubi, ovaj sustav smatra inercijskim. [10]

G (X_{B1}, X_{B2}, X_{B3})

Vezan je za brod u njegovom težištu mase G i njegove osi rotiraju dok se brod ljulja, posrće i zaošija, kao što se vidi sa slike. Smjer osi X_{B1}, X_{B2}, X_{B3} jednak je smjeru osi X_1, X_2, X_3 samo kad ne postoje njihanja rotacije. U mirnoj vodi ravnina (X_{B1}, X_{B2}) paralelna je s mirnom površinom vode. Koordinate X_{B1}, X_{B2}, X_{B3} koriste se za određivanje položaja točke koja se nalazi na brodu. U pomorstvenosti, njihanja broda u težištu mase G određuju se za ovaj koordinatni sustav (Eulerov), ali zbog linearizacije, on postaje jednak inercijskom koordinatnom sustavu. Inercijski koordinatni sustav ne rotira zajedno s brodom, pa ga se predstavlja kao G (X_1, X_2, X_3). Kao što je objašnjeno, koordinatni sustav u točki 0 može se nazivati inercijskim koordinatnim sustavom, budući da se brzina broda U smatra konstantnom. Pri njihanju broda na valovima brzina broda nije konstantna, međutim točka 0 se kreće konstantnom brzinom, dok se zalijetanje (zakočivanje) broda definira koordinatom X_1. [10]



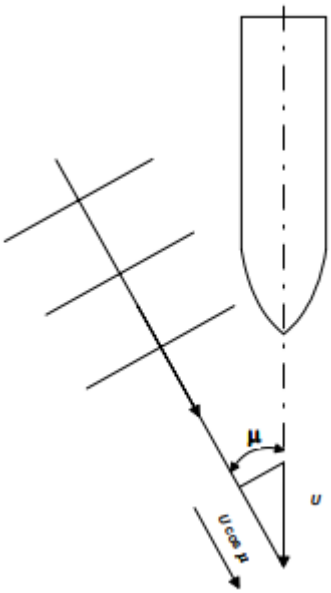
Slika 10. Koordinatni sustavi broda [10]

Kako bi se definiralo djelovanje vala na brod te njihanje kao posljedica tog djelovanja potrebno je definirati koordinatne sustave. Nepomični koordinatni sustav (fiksni, inercijski) S (X_0, Y_0, Z_0) vezan je za Zemlju. Ravnina X_0Y_0 leži na mirnoj slobodnoj površini, pozitivan smjer osi X_0 je u smjeru napredovanja vala, a može biti i zakrenut u smjeru napredovanja broda. Os Z_0 usmjerena je vertikalno prema gore. Koordinatni sustav broda G (X_B, Y_B, Z_B) vezan je za brod, a ishodište mu je u težištu broda G. Os X_B leži u smjeru uzdužne simetrale broda, a usmjerena je prema pramcu broda. Os Y_B usmjerena je prema lijevom boku broda, a os Z_B usmjerena je vertikalno prema gore. U stanju mirovanja broda ravnina X_BY_B paralelna je s mirnom slobodnom površinom. Translatirajući koordinatni sustav O (x,y,z) kreće se brzinom broda U. Ako brod miruje smjerovi osi jednaki su onima koordinatnog sustava G ($X_B\ Y_B\ Z_B$).

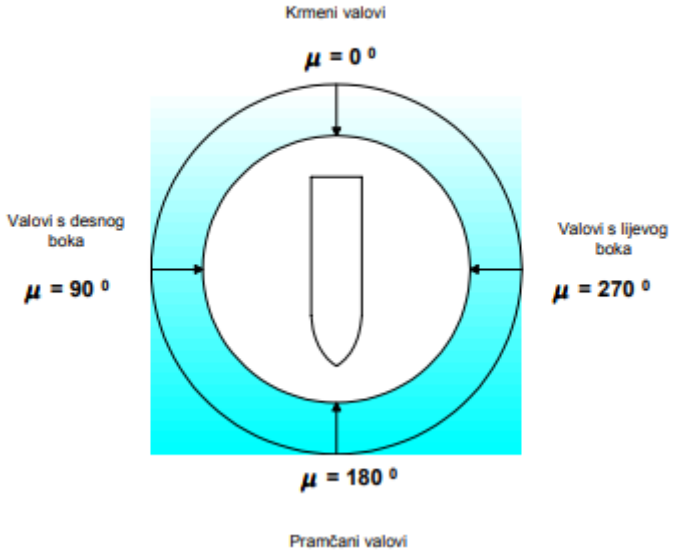
6.1. FREKVENCIJA I KUT SUSRETANJA VALOVA

Kada brod plovi pramcem na valove određenom brzinom razumljivo je da će vertikalna njihanja broda (poniranje i posrtanje) biti u tom slučaju veća i da će tih njihanja u jednom vremenskom intervalu biti više nego kada brod smanji brzinu plovidbe.

Kut susretanja valova (eng. Ship's heading) je kut koji zatvara uzdužna simetrala broda sa smjerom napredovanja valova. Kut susretanja valova jednak je nuli za krmene valove dok je za pramčane valove 180° ili π. Kut susretanja valova definiran je na sljedećim slikama. [10]



Slika 11. Kut susretanja valova [10]



Slika 12. Položaj broda prema valovima [10]

Problem njihanja broda u linearnoj teoriji može se prikazati preko dva neovisna problema:

- problem prisilnog njihanja tijela na mirnoj površini (za određivanje hidrodinamičkih reakcija)
- problem djelovanja vala na nepomično tijelo (za određivanje vanjske sile) [11]

Tijelo koje se njiše na valu u svakom je trenutku u stanju dinamičke ravnoteže. Hidrodinamičke i hidrostatičke sile i momenti uravnoteženi su inercijskim silama i momentima mase tijela. Dinamička ravnoteža njihanja izražena je sustavom diferecijalnih jednadžbi koji izražava ravnotežu inercijskih, hidrodinamičkih i uzbudnih sila:

Referentne osi:

Okomita / Z-os ili os zakretanja, imaginarna je linija koja se vertikalno proteže kroz brod i kroz njegov centar gravitacije. Kretanje prema naprijed je pomicanje pramca i krme broda od strane broda.

Poprečna / Y-os, bočna os ili os osovine je imaginarna crta koja vodi vodoravno preko broda i kroz središte gravitacije. Glatki kretanje je kretanje pramca i krme broda gore-dolje.

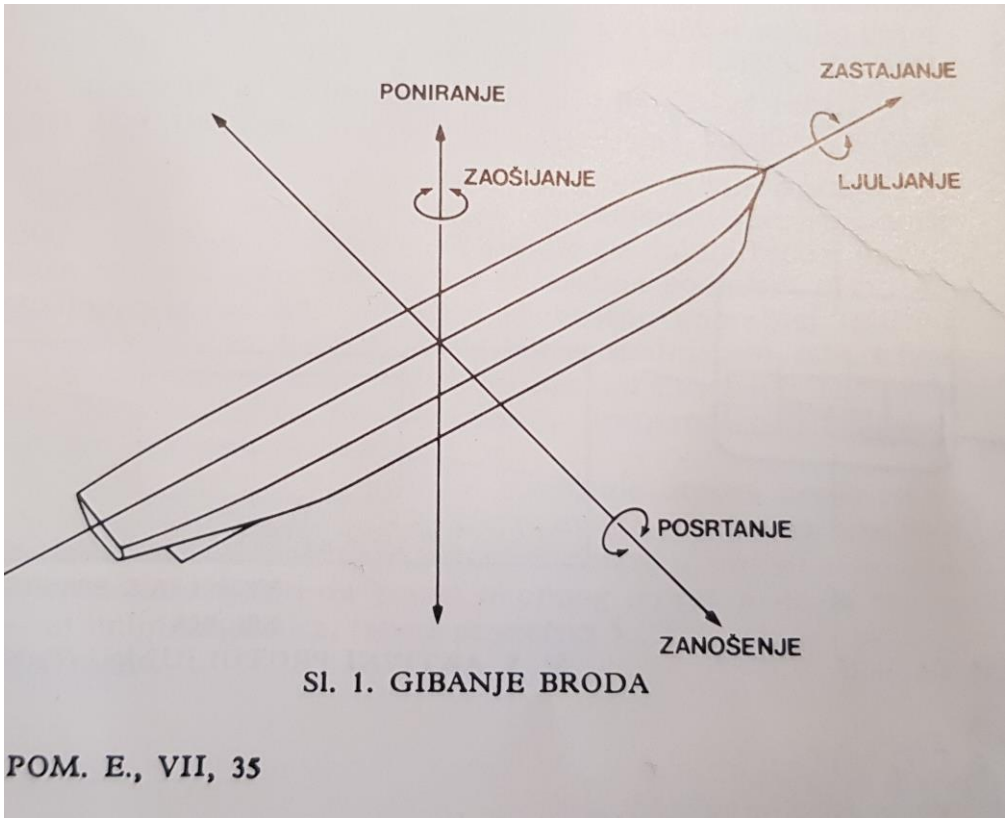
Uzdužna / os X, odnosno osi svitka, je imaginarna linija koja vodi vodoravno kroz duljinu broda, kroz središte gravitacije i paralelno s vodom. Pokretanje role je gibanje superstrukture okrenutoj uzdužnom stranom ili desno-desnu stranu oko ove osi. [11]

7. OPIS ROTACIJSKOG GIBANJA - LJULJANJE

Ljuljanje uključuje kretanje broda s jedne na drugu stranu. Period ljuljanja se definira kao vrijeme potrebno da se period ljuljanja s lijeve ili desne strane vrati u horizontalni položaj. Kod brodova s velikim kapacitetom period ljuljanja manji od 10 sekundi je potpuno normalan. Kut ljuljanja se potpuno relativno mjeri horizontalno. Pri umjerenom moru kut ljuljanja zna biti i do 10°. [12]

Nagibna rotacija broda oko njegove uzdužne osovine X (prednja) pomak ili odstupanje od normalne osi naziva se

peta. Peta se odnosi na pomak koji je namjeran ili očekivan, kao posljedica pritiska vjetra na jedra, okretanje ili neke druge pojave. Popis se obično odnosi na nenamjerno ili neočekivano odstupanje, uzrokovano poplavama, prebacivanjem tereta itd. [12]



Slika 13. Gibanje broda [7]

Od 6 temeljnih gibanja, brod ima najmanji otpor prema ljuljanju. Razlog zbog kojeg se brod ljulja može se opisati pomoću Slike 14 gdje (A) pokazuje tipično stanje u mirnoj vodi kada je brod u ravnoteži. Gornja strelica pokazuje silu mase G (vlastite težine), a donja silu uzgona broda. (B), (C), (D) pokazuju kako se prolazom vala uz brod pomiče hvatište sile uzgona U pa nastali spreg sila G i U izazivaju bočne nagibe ,tj. ljuljanje broda. Jednom njihanju odgovara nagib broda od jednog na drugi bok. Trajanje dvostrukog njihanja jest perioda T, koja se može izračunati približno iz [7]

$$T = \frac{c * B}{MG}$$

gdje je c empirički koeficijent, ovisan o tipu broda.

Za ratne brodove c = 0.71 …. 0.75 s;

Za putničke brodove c = 0.80 … 0.87 s;

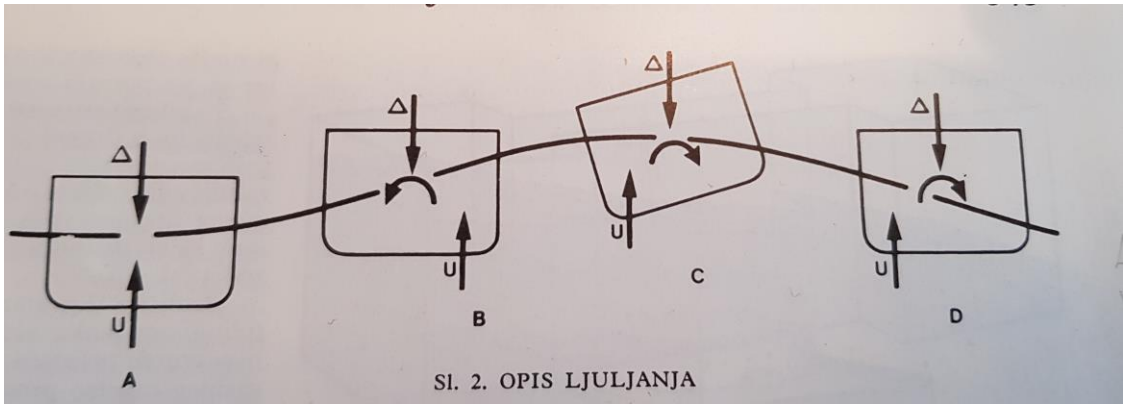
Za teretnjake na punom gazu c = 0.81 s;

B širina broda ,a MG metacentarska visina [7]

Rezultirajuća oscilacijska gibanja broda ili njihanje sastoje se od triju translacijskih gibanja u smjeru osi x, y, z i triju rotacijskih gibanja oko osi x, y i z; [11]

Ljuljanje (engl. roll): $\eta = \eta_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_4)$ [5]

Ponašanje broda za vrijeme ljuljanja obično se poboljšava ako se perioda njihanja povećava, pa je u toliko poželjno da perioda T bude čim veća. Pri tome ne smije se prekomjerno umanjiti metacentarska visina MG i ugroziti stabilitet broda. Tako stabilitet i ljuljanje nameću kontradiktorne zahtjeve projektu broda pa je potrebno tražiti kompromisno rješenje. [7]



Slika 14. Opis ljuljanja broda [7]

Tipovi brodova	Istisnina T	Perioda ljuljanja S
Teretnjaci	-	7 do 12
Putnički brodovi	30 000 do 50 000	20 do 28
Putnički brodovi	10 000 do 30 000	16 do 20
Putnički brodovi	do 10 000	10 do 15
Ro/Ro brodovi	-	18 do 24
Oceanski remorkeri	-	8 do 12
Ledolomci	-	6 do 10
Ribarski brodovi	-	6 do 8
Ratni brodovi	-	14 do 18
Teški krstaši	-	13 do 15
Laki krstaši	-	10 do 12
Razarači	-	7 do 9
Stražarski brodovi	-	4 do 6

Tablica 3. Periode ljuljanja broda u mirnoj vodi

7.1. STABILIZACIJA LJULJANJA

Od svih oblika njihanja najuspješnije se, zbog manjih uzbudnih momenata, može kontrolirati ljuljanje. U tu svrhu osmišljeno mnoštvo različitih sredstava, kao primjerice: ljuljna kobilica, giroskopski stabilizatori, pomicanje masa, stabilizacija kormilom, pasivni i aktivni ljuljni tankovi i stabilizacijska krilca.

Stabilizatori se mogu razvrstati u općenite kategorije koje se razlikuju po tome postiže li se stabilizacija na pasivan, kontrolirano pasivan ili aktivan način. Da bi djelovali pasivni stabilizatori ne zahtijevaju nikakvu ili samo neznatnu dodatnu energiju i sustav kontrole. Ako je takav jednostavan način stabilizacije ljuljanja nedovoljan pasivnim se stabilizatorima mogu ugraditi složeniji sustavi te nastaju kontrolirani pasivni stabilizatori. Pri radu aktivnog stabilizatora potrebna je znatna energija za funkcioniranje sustava kontrole koji bilježi njihanje broda i predviđa uzbudne momente, te za funkcioniranje sustava za generiranje stabilizacijskog momenta. [7]

Porijeklo sila koje tvore stabilizirajući moment	Princip djelovanja	
	Pasivni stabilizatori	Aktivni stabilizatori
Sile (od) mase	Pasivne krute mase Pasivni tankovi različitih izvedaba	Aktivne krute mase Aktivni tankovi različitih izvedaba
Hidrodinamičke sile	Ljuljnje kobilice Pasivne kobilice	Aktivne peraje (krila) Propeleri različitih izvedaba
Giroskopske sile	Pasivni girostabilizatori	Aktivni girostabilizatori

Tablica 4. Utjecaj stabilizatora na ljuljanje

8. PRIMJER BRODA I NJEGOVA SVOJSTVA

Proučava se brod Havila Aurora pod zastavom Bahama, MMSI 311 022 300 i njegove karakteristike koje su prikazane u sljedećim tablicama. [15]

GLAVNE IZMJERE	
Duljina preko svega	74.87 m
Duljina između perpendikulara	67.20 m
Konstrukcijska širina broda	16.40 m
Konstrukcijska visina broda	7.45 m
Maksimalni gaz	6.22 m
Minimalna slobodna visina	1.28 m
Odgovarajuća bruto tonaža	3205 t
Bruto tonaža	2871 t
Neto tonaža	962 t
Brod bez tereta	2160 t

Tablica 5. Glavne mjere broda Havila Aurora



Slika 15. Brod za opskrbljivanje platformi Havila Aurora[15]

KAPACITET TERETA	
Teret na palubi	1600 t
Područje palube	51,0 * 13.4 m = 683 m^2
Sila koju paluba može izdržati	$5^{t/m^2}$
Ulje goriva	1228 m^3
Tekuće blato	SG 2.5 651 $\frac{\mathrm{m}^3}{4094}$ bbls. 6x određeni tank +431 m^3/ 2711 bbls. 4x višesvrsni tank
Rasol	SG 2.5 221 m^3/1390 bbls u odgovarajućem tanku +221 m^3/1390 bbls. U u višesvrsnom tanku
Čišćenje tanka kod svih tekućih blata i rasola	
Glavno ulje	143 m^3/902 bbls. u odgovrajućem tanku

	+203 m^3/1280 bbls u višesvrsnom tanku
Tank vode	639 m^3
Balast	1121 m^3/ 948 m^3
Metanol , nitrogen	2 * 102.8 m^3. Ukupno 205.6 m^3/ 1293 bbls.
Glikol	102 m^3 / 640 bbls. u odgovrajućem tanku 1186 m^3/ 7460 bbls. u višesvrsnom tanku
Suhi teret	310 m^3/ 10947 f3 u 5 vertikalnih tankova po 62 m^3

Tablica 6. Kapacitet tereta

ISKRCAJNE VRIJEDNOSTI	
Ulje pogonskog goriva	1 * 2 sp. screw * 0-200 m^3/h 9 bar
Tekuće blato	2 * ecc screw * 0-85 m^3/h 24 bar
Rasol	1 * centrifugal * 0-75 m^3/h 24 bar
Glavno ulje	1 * 2 sp. screw * 0-150 m^3/h 9 bar
Kipuća voda	1 * 2 sp. screw * 0-200 m^3/h 9 bar
Balast	1 * 2 sp. screw * 0-150 m^3/h 9 bar
Metanol	2 * centrifugal * 0-100 m^3/h 9 bar
Glikol	1 * 0-75 m^3/h 9 bar
Suhi teret	2 comp. * 30 m^3/ min. 5.6 bar i 2.5 bar

Tablica 7. Iskrcajne vrijednosti različitih tereta

9. PRORAČUN LJULJANJA BRODA HAVILA AURORA

U svrhu jednostavnije i udobnije plovidbe broda, napravljen je proračun ljuljanja broda Havila Aurora.

Za proračun su korištene postojeće tehničke karakteristike broda prikazane u poglavlju 8.

Poluanalitička Jensenova metoda [16] koja opisuje ljuljanje broda je prikazana sljedećom jednadžbom:

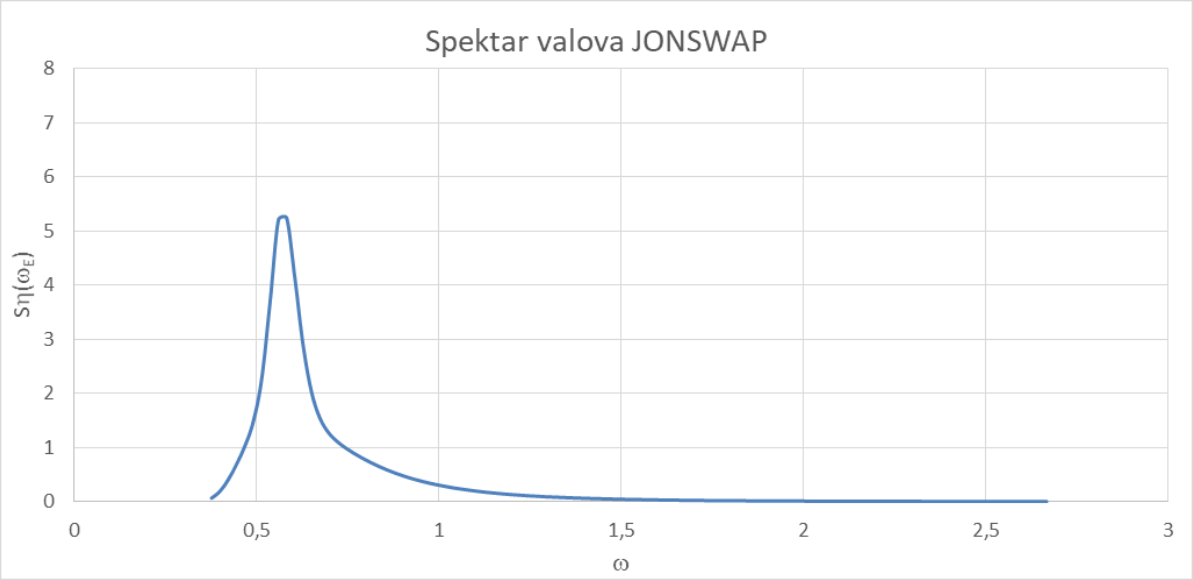
$$\left(\frac{T_N}{2\pi}\right)^2 C_{44}\ddot{\varphi} + B_{44}\dot{\varphi} + C_{44\varphi} = M$$

Valni spektar koji služi kao izvor uzbude broda na gibanje, u ovom slučaju ljuljanje, je opisan formulom Jonswapovog spektra koji je prikladan za opis stanja mora u Sjevernom moru [5].

Uz primjenu podataka iz Tablice 18, dobije se JONSWAP valni spektar prikazan na Slici 16.

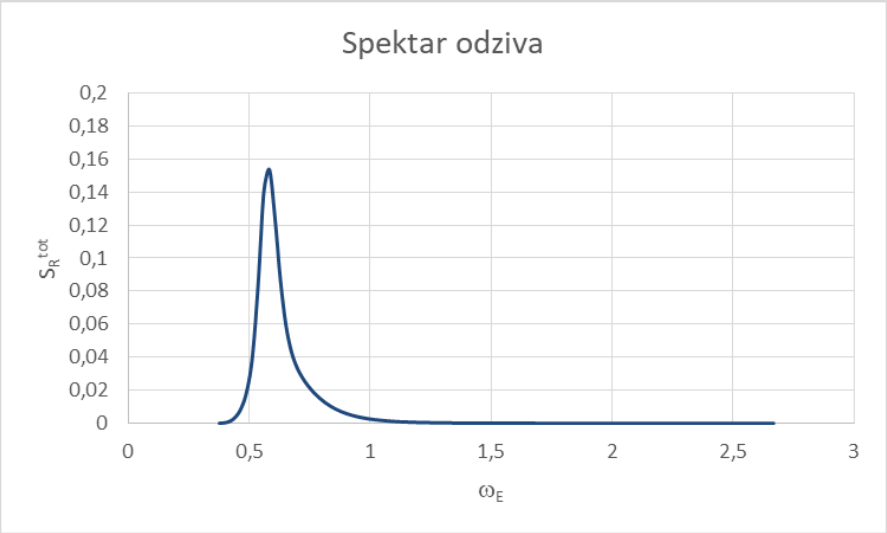
Tablica 8. Podaci spektra vala

Značajna valna visina: 4,0 (m)	Modalna frekvencija: 0,71 (rad/s)
Vršni period: 11,8 (s)	Nulti period: 8,3 (s)



Slika 16. JONSWAP valni spektar [15]

Primjenom jednadžbe gibanja (1) za izračun jediničnog odziva broda te uključenjem stvarnog stanja mora opisanog valnim spektrom (Slika 16), dobije se odziv ljuljanja broda na valovima čiji spektar je prikazan na Slici 17. Kut nailaska valova na brod je uzet 90^0, odnosno valovi u bok uz brzinu plovidbe od 2 čv.



Slika 17. Spektar odziva [16]

U tablici je prikazan značajni kut ljuljanja koji se računa statističkim metodama iz spektra odziva [18].

Prema navedenom u Tablici 9 očito je da je značajni kut ljuljanja 17,01°. Radi se o kutu ljuljanja od sredine na lijevu i od sredine na desnu stranu broda. Važno je napomenuti da je ovaj kut za stanje mora opisano u Tablici 14.

Tablica 9. Analiza spektra odziva broda

Površina ispod spektra	0,022
Značajna vrijednost odziva	0,297
Značajni kut ljuljanja broda (°)	**17,01**

10. ZAKLJUČAK

Pomorstvenost broda je zbirno ime za sva gibanja, ubrzanja, udaranja i zalijetanja vijka koji nastaju kao posljedica plovidbe na valovitom moru. Brod ima dobru pomorstvenost ako su mu gibanja umjerena.

Poznavajući odziv broda na harmonijskim valovima različitih frekvencija može se odrediti odziv broda na morskom valovlju. Dobiveni rezultati omogućuju odabir pomorstveno zadovoljavajuće forme broda u ranijoj fazi projekta broda, što znatno poboljšava i olakšava konstruiranje zahtjevnijih brodova s obzirom na kriterije njihanja.

Pretpostavka razmatranja njihanja broda na valovima je da se brod ponaša kao kruto tijelo što znači da elastični pomaci trupa nemaju velik utjecaj na njihanje broda. Stoga je uzrok dinamike tijela i fluida kombinirani utjecaj vanjskih sila i momenata.

Od svih gibanja brod ima najmanji otpor prema ljuljanju. Ljuljanje je kretanje broda s jedne na drugu stranu, a u obzir se uzima i period ljuljanja kao vrijeme potrebno da se vrati u horizontalni položaj. Ponašanje broda za vrijeme ljuljanja obično se poboljšava ako se period njihanja povećava.

Prikazan je, relativno, jednostavni proračun ljuljanja broda na stanju mora opisanog značajnom valnom visinom i periodom uz valove u bok broda. Promjenom nailaska valova na brod mijenjao bi se i kut ljuljanja broda te je to zadatak pomoraca da pravovremenim manevrima osiguraju što sigurniju i udobniju plovidbu

LITERATURA:

[1] https://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-77/issue-5/production-operations/offshore-supply-vessel-owners-facing-tough-market.html

[2] https://hr.wikipedia.org/wiki/Sjeverni_morski_put

[3]https://www.google.hr/search?q=doverski+prolaz&rlz=1C1GCEA_enHR811HR811&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwipx669mrjdAhVGCiwKHQ0gCaQQ_AUICygC&biw=1600&bih=794#imgrc=yZ0zOtIG57_OHM:

[4] http://www.bonnagreement.org/about/north-sea

[5] Jasna Prpić-Oršić, Većeslav Čorić- Pomorstvenost plovnih objekata

[6] http://lipovscak.com/meteo/stanjemora.html

[7] Pomorska enciklopedija, jugoslavenski leksikografski zavod „ Miroslav Kreleža „ Zagreb 1989.

[8] http://skola.gfz.hr/d2_2.htm

[9] file:///C:/Users/12003330/Downloads/8_ZOROVIC.pdf

[10] https://bib.irb.hr/datoteka/262320.hidro_knjiga_radan.pdf

[11] https://repozitorij.pfst.unist.hr/islandora/object/pfst%3A94/datastream/PDF/view

[12] http://www.rmrco.com/docs/m1207_ship_movements_at_sea.pdf

[13]https://www.google.hr/search?rlz=1C1GCEA_enHR811HR811&biw=1600&bih=794&tbm=isch&sa=1&ei=My2hW6vdFImXsAGf26HQCA&q=beginning+of+offshore+supply+vessel&oq=beginning+of+offshore+supply+vessel&gs_l=img.3...64852.96614.0.97638.30.18.12.0.0.0.538.3838.0j9j3j4j0j1.17.0....0...1c.1.64.img..2.2.300...0i19k1.0.L6nvIPOZ-ps#imgrc=GOQyN9nPrYZfmM:

[14] https://sh.wikipedia.org/wiki/Sjeverno_more

[15] http://www.havila.no/fleet/psv/havila-aurora

[16] Jensen, J.J.; Mansour, A.E.; Olsen, A.S.: *Estimation of ship motions using closed-form expressions,* Ocean Engineering,2013,

POPIS TABLICA

Tablica 1. Douglasova skala za stanje mora 9
Tablica 2. Beufortova skala 10
Tablica 3. Periode ljuljanja broda u mirnoj vodi 24
Tablica 4. Utjecaj stabilizatora na ljuljanje 25
Tablica 5. Glavne mjere broda Havila Aurora 26
Tablica 6. Kapacitet tereta 28
Tablica 7. Iskrcajne vrijednosti različitih tereta 28
Tablica 8. Podaci spektra vala 29
Tablica 9. Analiza spektra odziva broda 30

POPIS SLIKA

Slika 1. BoTruc- jedan od prvih radnih brodova [1] 2
Slika 2. Razvoja brodova za opskrbu platformi [13] 4
Slika 3. Prikaz Doverskog prolaza na karti [3] 6
Slika 4. Trenutno područje plovidbe Sjevernim morem [4] 6
Slika 5. Prikaz visine i duljine vala [6] 11
Slika 6. Izmjera vala u nekoj točki [5] 12
Slika 7. Značajna visina vala u ovisnosti o duljini privjetrišta, brzini i trajanju puhanja vjetra [8] ... 13
Slika 8. Dijagram opažane valne visine, m [5] 14
Slika 9. Energija valova potpuno razvijenog mora u ovisnosti o brzini puhanja vjetra [8] 15
Slika 10. Koordinatni sustavi broda [10] 18
Slika 11. Kut susretanja valova [10] 20
Slika 12. Položaj broda prema valovima [10] 20
Slika 13. Gibanje broda [7] 22
Slika 14. Opis ljuljanja broda [7] 24
Slika 15. Brod za opskrbljivanje platformi Havila Aurora [15] 27
Slika 16. JONSWAP valni spektar [16] 29
Slika 17. Spektar odziva[16] 30