

Šindija, Samuel

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:340440>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



Sveučilište u Zadru
Universitas Studiorum
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

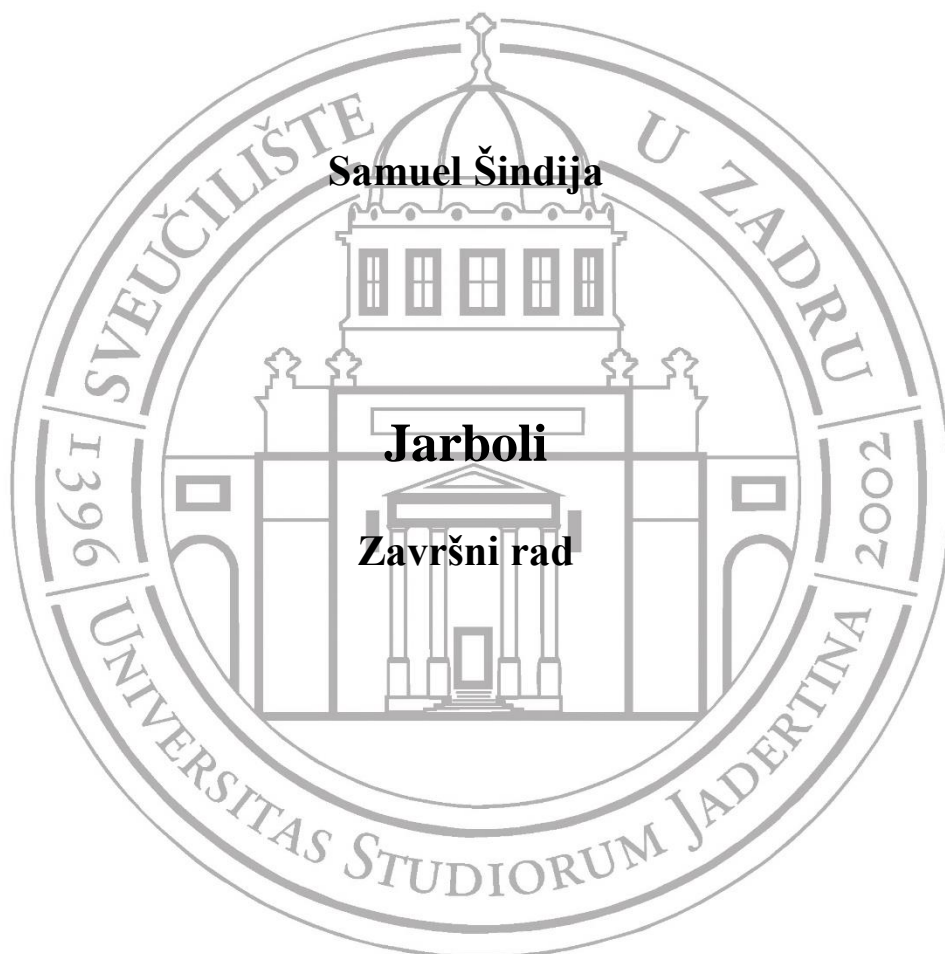
[University of Zadar Institutional Repository](#)

Sveučilište u Zadru

Pomorski odjel

Sveučilišni prijediplomski studij

Nautika i tehnologija pomorskog prometa



Zadar, 2024.

Sveučilište u Zadru
Pomorski odjel - Nautički odsjek
Sveučilišni prijediplomski studij
Nautika i tehnologija pomorskog prometa

Jarboli

Završni rad

Student/ica:

Samuel Šindija

Mentor/ica:

izv. prof. dr. Sc. Mate Barić

Komentor/ica:

dr. sc. Darko Pastorčić

Zadar, 2024.



Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, Samuel Šindija, ovime izjavljujem da je moj završni rad pod naslovom Jarboli rezultat mojeg vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojeg rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojeg rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 25. svibnja 2024.

Sadržaj

1.Uvod.....	1
2.Povijesni razvoj jarbol.....	2
2.1. Prvi jarboli.....	2
2.2. Istočnojadranski brodovi na vesla i jedra.....	3
3. Jarboli danas.....	5
3.1.Dijelovi jarbola.....	5
3.2.Vrste jarbola.....	6
3.3.Osnovna učvršćenja ili oputa na jarbol.....	6
3.4.Dodatna učvršćenja ili oput.....	7
3.5.Deblenjak i vang.....	8
3.6. Opterećenja na jarbol.....	9
3.6.1. Bočno opterećenje glavnog i srednjeg jedra.....	9
3.6.2. Bočno opterećenje na prednje jedro.....	10
3.6.3. Opterećenja izazvana vlastitom težinom jarbola i opute.....	10
3.6.4. Vertikalno opterećenje na glavno ili srednje jedro.....	11
3.6.5. Vertikalno opterećenje podizača na prednje jedro.....	12
3.6.6. Opterećenje prednaprezanja.....	13
3.6.7. Opterećenje deblenjaka.....	14
3.6.8. Konop za izvlačenje glavnog jedra (uzde).....	14
3.6.9. Opterećenje škote glavnog jedra.....	15
3.6.10. Opterećenje na škotu glavnog jedra u uvjetima niz vjetar.....	16
3.6.11. Opterećenje vanga.....	16
3.6.12. Opterećenje i napetost leta.....	17
3.6.13. Opterećenja na križeve.....	18
3.6.14. Opterećenje na krajniku križa.....	19
3.6.15. Opterećenje električnih uređaja i montera.....	19
3.6.16. Opterećenja na zaputki.....	20
3.6.17. Opterećenja na pomičnu zaputku, pritegu zaputke i malo leto.....	21
3.6.18. Opterećenje stajace opute.....	21

4. Trimanje jarbola.....	22
4.1. Trimanje jarbola s vršnom oputom.....	22
4.2. Trimanje jarbola s dijeljenom oputom.....	23
4.3. Napetost pripona i provjera.....	23
4.4. Završni koraci trimanja.....	24
4.5. Iskrivljeni i puknuti jarboli.....	24
5. Oprema broda oko jarbola.....	26
5.1. Konopi.....	26
5.2. Tračnice na brodu.....	27
5.3. Vitla i kočnice za konope.....	29
6. Stabilnost broda.....	31
6.1. Općenito o stabilnosti broda.....	31
6.2. Stabilnost broda kod velikih kutova nagiba.....	34
6.3. Stabilnost jedrilice.....	34
6.4. Sile na jedru.....	36
6.5. Oblik jedra.....	37
7. Jarboli na velikim brodovima.....	38
7.1. Jarboli na suvremenim brodovima.....	38
7.2. Nova tehnologija.....	28
8. Zaključak.....	41
9. Literatura.....	42

1. Uvod

Tehnologija se svakim danom sve više razvija, pa tako i u pomorstvu. Od raznih uređaja koji su postavljeni na zapovjedničkom mostu, teretnih uređaja, uređaja u strojarnici do razvoja pogonskog stroja ili brodskog pogona općenito. U ovom radu razmatraju se jarboli kao jedan od načina pogona na jedrilicama, te kako se ponovno postavljaju na brodove trgovačke mornarice kao rezervno rješenje. Na jedrilicama je bitan oblik jarbola, jer danas ima ljudi s jako malo znanja o jarbolima, pa dolazi do pucanja jarbola, njegove opute ili sam pad jarbola. Također, se razmatra stabilnost broda bez jarbola i stabilnost broda s jarbolom, te kako će se brod ponašati prilikom velikog kuta nagiba. Porastom cijena goriva, jarboli kao rezervno rješenje, uvelike smanjuju potrošnju goriva, te je to u ovom radu izneseno.

2. Povijesni razvoj jarbola

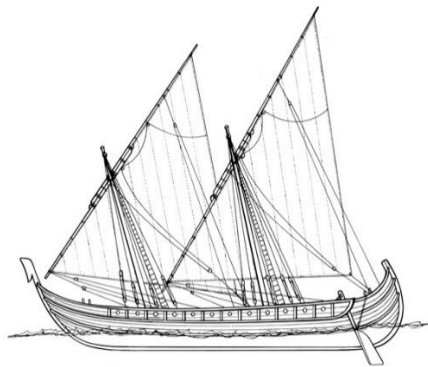
Čovjek je kroz povijest razvijao svoje znanje, vještine i sposobnosti te je to dovelo do različitih izuma i otkrića. Čovjek je tako otkrio da deblo pluta na vodi, te je upravo deblo bilo prvo plovilo koje je omogućilo kretanje kroz vodu. Povezivanje više debala, nastale su splavi. Takve splavi su se koristile najčešće na rijekama i jezerima. Kasnije, se shvatilo da neki teret ili roba se ne može prevoziti na deblima, zbog valova, stabilnosti i ispadanja tereta u vodu. Da bi riješio taj problem, zaštitio teret ili robu, ali i putnike, čovjek je počeo od debla raditi kanue, odnosno izdubio je deblo da bi zaštitio teret ili robu od valova i ispadanja. Za pogon je koristio vesla. Da bi proširio „svoje“ horizonte i upoznao nova kopna, rijeke ali i mora, čovjek je tako počeo raditi brodove koje će mu pomoći u njegovom cilju. Prvi iskorak u plovidbi morem počinje izgradnjom drvenih brodova koji su se najprije pokretali na vesla. Čovjek je tako i dalje istraživao i došao do ideje za što bržim transportom tereta ili robe. Proširenjem te ideje, shvatio je da može iskoristiti vjetar, te je počeo koristiti jedra za plovidbu koje je postavio na drvene stupove koji su u čovjekovom rječniku nazvani jarboli. (lat. *arbor* ili *arbos*, drvo)

2.1. Prvi jarboli

Prvi jarboli su dakle bili drveni stupovi odnosno uspravne oblice koje su nosile jedra. Donji dio jarbola je bio uvijek čvršći i deblji nego gornji dijelovi jarbola zbog sila vjetra koje brod prima preko samog jarbola. Prije 3200 godina pr.Kr., drevni Egipćani su izmislili jarbole i jedra. Najstariji oblik jedra je četverokutno križno jedro. Takvo jedro je visilo na vodoravnoj gredi (križu) pričvršćenoj pri vrhu jarbola. Takvo jedro je bilo najučinkovitije sa vjetrom u krmu broda. Prva jedra bila su napravljena od kože ili pletera, a kasnije da bi se poboljšala navigacija i plovidba, jedra su bila napravljena od tkanine ili platna, koja su omogućavala bolje upravljanje silom vjetra. Da bi se jedra mogla otvoriti ili zatvoriti, morala je postojati nekakva dodatna oprema na samom jarbolu. Tako su se koristili koloturnici, podizači i izvlakači za podizanje odnosno razvijanje jedra, kratovi za kraćenje ili smanjivanje jedra, škote koje su se koristile za upravljanje jedra i konopi (Kozličić, 2017.).

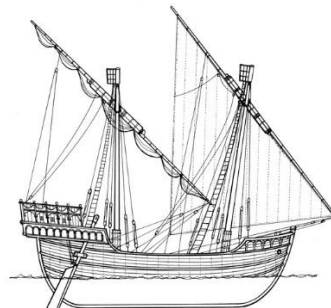
2.2. Istočnojadranski brodovi na vesla i jedra

Najstariji jedrenjak na Istočnom Jadranu potječe iz 4. tisućljeća pr. Kr. Sa svojim jedrom i veslima, ovaj se jedrenjak koristio za trgovanje Sredozemljem. Dolaskom na Jadranske obale, Hrvati su preuzeli brodograđevnu tradiciju sa svojim rješenjima za konstrukciju broda ali i jarbole. Tako je došlo do razvoja hrvatskih brodova. Utjecaj starovjekovne brodograđevne tradicije liburnskih i istarskih serilija te nova rješenja uočljivi su na starohrvatskim brodovima na vesla i jedra iz 9–11. st. Tako su Hrvati prihvatili latinsko jedro zbog kojeg je poznata gusarska Omiška strijela (Kozličić, 2017)(Slika 1).



Slika 1: Omiška strijela (izvor: Internetska stranica Hrvatska tehnička enciklopedija)

Brodovi kao što je Omiška strijela nisu bili za plovidbu izvan Jadrana. Prvi brod za duge plovidbe je bio krčki jedrenjak, tj. jedrenjak sa tri jarbola, šiljastom krmom i malim gazom. Poznati hrvatski jedrenjak s tri jarbola iz 17. st. je i Marsilijana. U 14. st. otklonjene su slabosti Krčkog jedrenjaka prelaskom sa tri na dva jarbola. Tako je nastao poznati zadarski trgovački jedrenjak (Slika 2). U 15. st. završava razvojni put istim tipom broda sa samo jednim jarbolom i latinskim jedrom (Kozličić, 2017.).



Slika 2: Zadarski trgovački jedrenjak (izvor: Internetska stranica Hrvatska tehnička enciklopedija)

U povijesnim dokumentima može se pronaći da je brodogradnja bila ograničena za vrijeme mletačke vlasti. Ipak spominju se brodovi koji su poznati po svojim jarbolima i jedrima. To su: barkuziji, fregaduni, fregate, galijuni, karake, karavele, koke, korvete, nave itd. U Dubrovačkoj republici nastaje Dubrovačka koka iz 17. st. prikladan za trgovačke plovidbe Jadranom i Sredozemljem. Nakon velikih geografskih otkrića, dubrovčani su Koku zamijenili karakom. Karaka je veliki jedrenjak s tri jarbola koji je bio prikladan za održavanje prekomorske trgovine s engleskim i nizozemskim lukama. Snažan razvoj gradnje jedrenjaka počinje u 19. st. Tada su nastali poznati jedrenjaci duge plovidbe kao što su golete, brikovi i nave (Kozličić, 2017.). Drugom polovicom 19. stoljeća jarboli i jedra su istisnuti kao glavni pogon broda, zbog izuma parnog broda. U to se doba u pulskom brodogradilištu Uljanik, za austrougarsku ratnu mornaricu grade veliki ratni brodovi s jedrima kao pomoćnim pogonom, npr. linijski brod Keiser. Ipak, gradnja jedrenjaka postupno se gasi. Posljednji riječki jedrenjak duge plovidbe, bark Capricorno porinut je u Rijeci 1883. godine. Danas se jedrenjaci grade kao školski brodovi, brodovi za rekreaciju i turizam ili kao luksuzni brodovi za kružna putovanja poznatiji kao Kliperi (Slika 3). Kliperi su brzi jedrenjaci koji imaju složeno jedrilje i vitki trup da bi povećali brzinu i ranije su se koristili za trgovinu (Kozličić, 2017.). U današnje vrijeme jarboli se više ne rade od drveta već od trajnijih i jačih materijala poput čelika i aluminija.



Slika 3: Jedrenjak Royal Clipper (izvor: internetska stranica CruiseMapper)

3. Jarboli danas

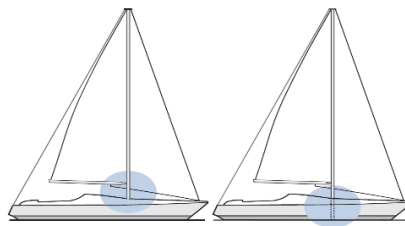
S obzirom na razvoj tehnologije, pa i pogona brodova, jarboli padaju u drugi plan, te glavnu ulogu preuzimaju pogonski strojevi. Međutim, danas su jarboli zastupljeni i dalje na nekim vrstama brodova, ne kao glavni pogon, već kao pomoćni ili rezervni pogon. Jarboli se tako najviše koriste na jedrilicama i katamaranima, školskim brodovima, brodovima za regate, brodovima za turizam i rekreaciju, luksuznim brodovima za kružna putovanja itd. Kao pomoćni pogon, jarboli odnosno jedrenje može čovjeku uštedjeti na gorivu. Zbog toga, sve više i više se prave i veliki trgovački brodovi s jarbolima koji pridonose štednji goriva. Na trgovačkim brodovima jarboli se također koriste za teretne operacije, pričvršćivanje dizalica, postavljanje navigacijskih svjetala i oznaka i postavljanje antena elektroničkih uređaja. U Hrvatskoj, nautički turizam je u porastu i s time povećava se broj brodova sa jarbolima, odnosno brodova za jedrenje ima sve više. Danas je Republika Hrvatska u samom vrhu na svijetu po broju registriranih jedrilica, katamarana i regatnih brodova.

3.1. Dijelovi jarbola

Kao što je već spomenuto, jarbol je uspravna oblica koja nosi jedro (Simović, 2004.). Jarbol se danas sastoji od: glave (najviši i krajnji dio na kojem se nalaze koloturnici za podizače jedara), struka koji je središnji dio i na njemu se nalaze križevi i pete (najniži i najčvršći dio jarbola). Broj križeva na jarbolu ovisi o samoj visini jarbola. Na jedrilicama se najčešće mogu postaviti do tri križa. Sve više od toga brod se smatra većim jedrenjakom. Kada govorimo o samoj dužini jarbola, glavnu ulogu ima peta jarbola. Peta jarbola je krajnja točka koja može biti smještena i učvršćena zajedno sa jarbolom na palubi (Deck-stepped mast) ili prolazi kroz palubu i spaja se na kobilicu broda (Keel-stepped mast). Da bi jarbol stajao uspravno, učvršćuje se sa oputom od čelik-čela koji ima veliku ulogu kod naprezanja, odnosno držanja jarbola tijekom jedrenja.

3.2.Vrste jarbola

Jarboli prema svojoj dužini, odnosno gdje im se nalazi peta ili gdje su pričvršćeni se mogu podijeliti na jarbol kojemu je peta pričvršćena na palubi (Deck-stepped mast)(Slika 4). Zbog same stabilnosti broda, druga vrsta jarbola je ona čija peta je pričvršćena za kobilicu broda (Keel-stepped mast)(Slika 4). Kad govorimo držanju jarbola s pramca, tada je jarbol uhvaćen čelik-čelom koji se naziva leto. Jarboli se mogu razlikovati prema hvatištu leta (fore stay) na sam jarbol. Pa tako se razlikuje jarbol na kojemu je leto uhvaćen direktno na glavu odnosno vrh jarbola. Takav jarbol se naziva jarbol s vršnom oputom(masthead rig). Jarbol sa spuštenim hvatištem leta, još se naziva jarbol s oputom slobodnog vrha (fractional rig) ili dijeljenu oputu najčešće na 7/8 ili 9/10 omjera dužine od pete jarbola. Jedrilice u turizmu i regatne jedrilice danas najčešće koriste jarbole s oputom slobodnog vrha, te spojeni na palubu. Križevi na jarbolu mogu biti postavljeni na dva načina. Prvi način je da su križevi postavljeni u ravnini s brodskim glavnim rebrom (In-line spreaders). To je zastarjeli način koji se danas može vidjeti na starijim brodovima. Zbog boljeg učinka u jedrenju, postoji drugi način koji je i ujedno danas najzastupljeniji. Križevi su na takvom jarbolu postavljeni, to jest usmjereni, prema krmu (swept spreaders).



Slika 4: Jarbol s petom na palubi i jarbol s petom pričvršćena na kobilicu(izvor: Selden mast AB, Hints and advice in rigging and tuning of your Selden mast 2007.)

3.3. Osnovna učvršćenja ili oputa na jarbol

Da bi jarbol stajao uspravno, na njega se spajaju čelik-čela što predstavljaju njegovu oputu. Čelik-čela koja idu od vrha jarbola prema bokovima preko križeva zovu se pripone. Ove pripone se koriste i za poprečno trimanje odnosno ispravljanje jarbola. Pripone se na jarbolu dijele na vršne pripone, potkrižne pripone ili priponice i donje pripone ili deblene. Tu se još nalaze i čelik-čela koja drže jarbol da ne padne uzdužnom smjeru. Čelik-čelo koje ide od vrha jarbola i pričvršćen je na krmu broda naziva se zaputka, dok čelik-čelo koje ide od vrha i povišeg dijela jarbola prema pramcu, zove se leto. Zaputka se suprotstavlja pokretu jarbola prema naprijed, a leto se suprotstavlja pokretu jarbola prema natrag. Koliko će zaputka i leto biti nategnuti, ovisi o trimanju ili uspravljanju jarbola.

3.4. Dodatna učvršćenja ili opute

Jarbol na nekoj jedrilici može, uz leto i zaputku, imati dodatna učvršćenja ili dodatne opute, što omogućuje stabilniji jarbol, osobito kad se jedri. Različita dodatna učvršćenja imaju jarbol s letom s hvatištem na glavi ili vrhu jarbola do palube (mashead rig) i jarbol s nižim hvatištem leta (Fractional rig). Jedina razlika je ta što jarbol s nižim hvatištem leta ne treba dodatna učvršćenja prema pramcu. Također, ova dodatna učvršćenja ili opute (Slika 5) pomažu kod uspravljanja jarbola i njegova držanja. Dodatna opute su:

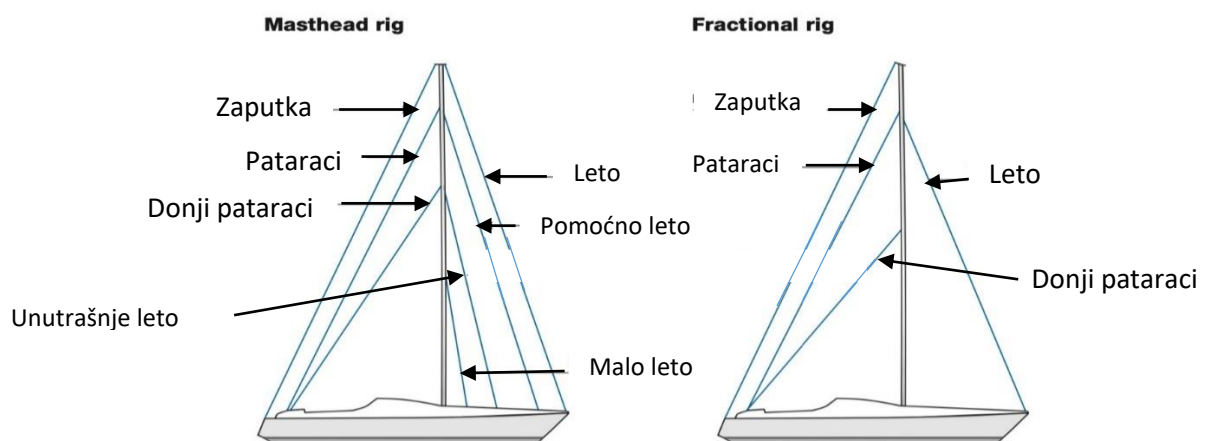
Pomoćno leto: Postavlja se prema pramcu broda ispod zahvata leta. Tada se i on može zategnuti pomoću zaputke. Ako se postavi niže onda se može zategnuti pomoću Pataraca ili pomoćne zaputke. Može biti postavljen za jib ili stay sail (vrste jedara).

Unutrašnje leto: Postavljen ispod pomoćnog leta iznad palube. Ovo leto nije za jedro, ali je postavljen da bude u kombinaciji sa donjim pataracima.

Malo leto: Postavljen još niže od unutrašnje leto. Ne nosi jedro.

Pataraci: Na jarbolu sa vršnom oputom, u interakciji je sa pomoćnim letom. Na jarbolu sa oputom slobodnog vrha ili dijeljena oputa, pataraci su korišteni u interakciji sa letom.

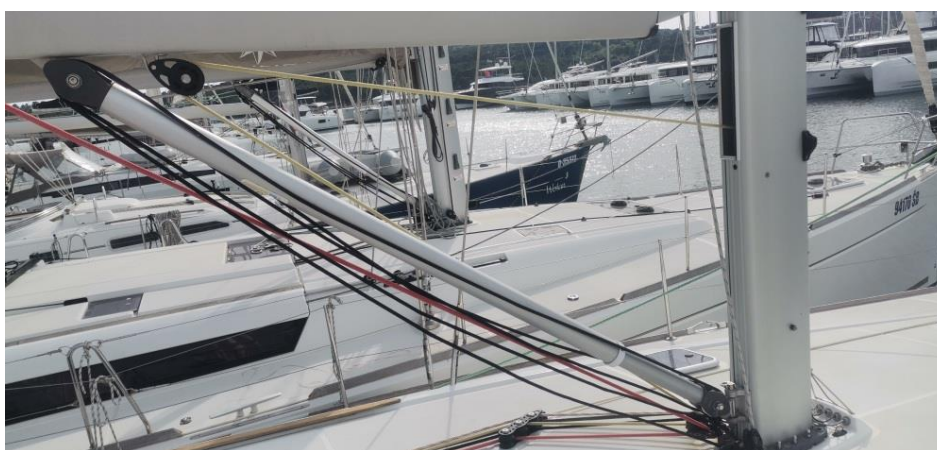
Donji pataraci: imaju istu svrhu kao i pataraci, samo su postavljeni niže na jarbolu. Njihova svrha je stabilizirati središnji dio jarbola i spriječiti njegovo iskrivljenje. U interakciji su sa unutrašnjim letom.



Slika 5: Dodatna učvršćenja, Selden mast AB (izvor: Hints and advice in rigging and tuning of your Selden mast 2007.)

3.5. Deblenjak i vang

Vang se u hrvatskom nazivlju još naziva donja pritega. Vang je važna stvar kad govorimo o dijelovima jarbola i samom jedrenju, jer bez njega jedrenje nije moguće. Njegov važan zadatak je držanje deblenjaka ili lantine pod stalnim kutom prema jarbolu (Delić, 2008.). Kad brod jedri, sila vjetra, preko jedara nastoji podignuti deblenjak, pa bi se stražnji porub glavnog jedra nekontrolirano izvijao i otvarao. Zbog toga je tu postavljen vang koji određuje napetost tog poruba (Delić, 2008.). Vang je tako postavljen na peti jarbola prema deblenjaku pod kutem od 45 stupnjeva. Sile koje djeluju na vang, upravo zbog jedrenja i količine vjetra u jedrima, mogu iznositi nekoliko stotina kilograma na manjim jedrilicama do nekoliko tona na većim brodovima (Delić, 2008.). Razlikujemo dvije vrste vanga. Klasični vang se priteže uz pomoć koloturnika i tako ne dopušta podizanje deblenjaka. Kod ovog vanga, potrebno je znati procijeniti napetost i nategnutost, jer se može dogoditi puknuće koloturnika, okova na jarbolu i samog deblenjaka. Druga vrsta vanga je kruti vang (engl. rigid vang ili bum kicker). Ova vrsta vanga je napravljena od dvije aluminijske cijevi koje ulaze jedna u drugu. U cijevi većeg promjera nalazi se jaka opruga ili plinski i hidraulični cilindar. Ovaj cilindar ne dopušta cijevi manjeg promjera da propadne. Zbog toga kruti vangovi pridržavaju cijelu težinu deblenjaka, a prema dolje se nateže običnim vangom s koloturnicima. Kruti vang (Slika 6) stalno drži deblenjak u jednakom položaju prema jarbolu. Da bi se jedro dobro i pravilno namatalo, kod roll sustava za namatanje jedra, deblenjak mora imati stalni kut od 90 stupnjeva prema jarbolu. Također, kruti vang omogućuje da jedro ne nosi težinu deblenjaka, te nam dopušta da se jedro pravilno natrima, pogotovo zadnji porub.



Slika 6: Kruti vang (izvor: autor)

3.6. Opterećenja na jarbol

3.6.1. Bočno opterećenje glavnog i srednjeg jedra

Bočno opterećenje glavnog i srednjeg jedra (slika 7) prenosi membrana jedra duž jarbola i stražnjim porubom jedra do vrha jarbola i vrha deblenjaka. Oblik raspodjele tlaka dvaju doprinosa (membrane i zadnjeg poruba jedra) je zbroj a konstantna i linearna raspodjela koja odgovara okomitom položaju središta napora jedra. Opterećenje bočne membrane, F_{memm} , izraženo u N, preneseno stražnjim porubom jedra izravno na jarbol je izračunato sljedećom formulom:

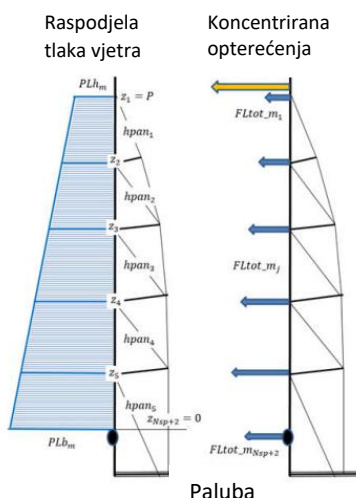
$$F_{memm} = \left(\frac{Plbm + Plhm}{2} \right) \times P$$

Dakle, ako zbroj linearne sile na deblenjaku i linearne sile na jarbolu podijelimo s 2 i pomnožimo s duljinom prednjeg poruba jedra dobit ćemo opterećenje bočne membrane. Zadnji porub tako prenosi opterećenje na uzglavlje jarbola gdje se to opterećenje i koncentrira izračunava se sljedećom formulom:

$$F_{leechm} = F_{latm} \times (1-k) \times \frac{C_{oebm}}{p}$$

U ovoj formuli je izražena ukupna bočna sila (F_{latm}), udio bočnog opterećenja koje membrana jedra prenosi na jarbol (k), udaljenost između centra napora i deblenjaka (C_{oebm}) i duljina poruba jedra (p). Kako se opterećenje koncentrira na uzglavlje jarbola, tako se bočno koncentrirano opterećenje (F_{leechm}) koje stražnji porub jedra prenosi na rogalj škote (hvatište jedra na deblenjaku) može također izračunati:

$$F_{clewm} = F_{latm} \times (1-k) - F_{leechm}$$



Slika 7: Bočno opterećenje glavnog i srednjeg jedra (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

Bočno opterećenje membrane, FL_{tot_mj} , u N, treba raspodijeliti na svaki križ, uzimajući u obzir koncentrirano opterećenje zbog konstantne raspodjele opterećenja (Flc_mj) i koncentrirano opterećenje zbog linearne raspodjele opterećenja ($Fltr_mj$) kako je naznačeno u formuli:

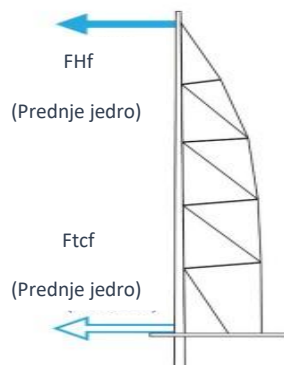
$$FL_{tot_mj} = \frac{Flc_mj-1 + Flc_mj}{2} + \frac{2 \times Fltr_mj-1 + Fltr_mj}{3}$$

3.6.2. Bočno opterećenje na prednje jedro

Kako postoje opterećenja na glavno jedro, tako postoje opterećenja za prednje jedro. Bočno opterećenje prednjeg jedra (slika 8) prenosi se sa jedra na sam jarbol (FHf) ali i palubu (Ftcf). Opterećenje, izraženo u N, naneseo na mjesto ugradnje na jarbol se izračunava:

$$FHf = Flatf \cdot CoEf/If \quad Ftcf = Flatf - FHf$$

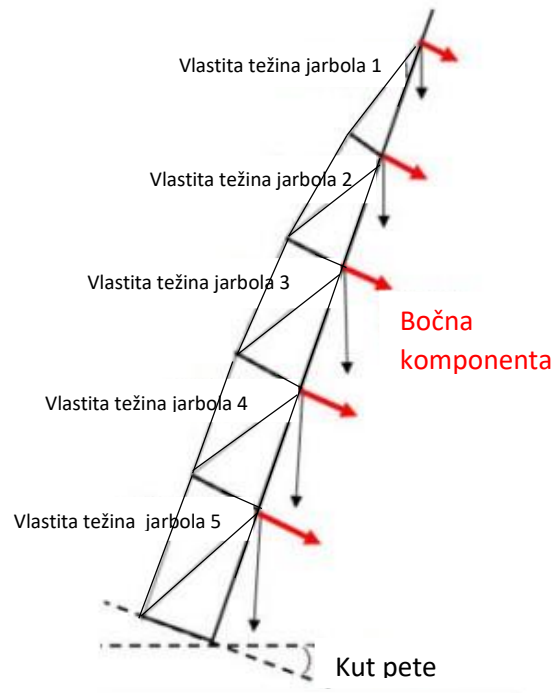
Za opterećenje na jarbol potrebno je uzeti u obzir ukupnu bočnu silu, središte napora iznad palube i udaljenost od vrha prednjeg jedra do palube. Dok za opterećenje na palubu važna je ukupna bočna sila, te bočno opterećenje prednjeg jedra na jarbol i palubu.



Slika 8: Opterećenje na prednje jedro (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

3.6.3. Opterećenja izazvana vlastitom težinom jarbola i opute

Osim aerodinamičkih opterećenja, potrebno je uzeti u obzir i opterećenja izazvana vlastitom težinom jarbola i opute (slika 9). Ta opterećenja imaju važnu ulogu u naprezanju na jarbola i opute budući da njihove bočne komponente imaju značajne vrijednosti pri jedrenju na velikim kutovima nagiba. Različiti doprinosi bočnom opterećenju generiranom vlastitom težinom križeva, pripona, deblenjaka i opute moraju se primijeniti na istu strukturu gdje se primjenjuju i aerodinamička opterećenja. Različita koncentrirana opterećenja moraju se izračunati kroz poznavanje ravnoteže težište svakog elementa.



Slika 9: Opterećenja izazvana vlastitom težinom jarbola i opute (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

3.6.4. Vertikalno opterećenje na glavno ili srednje jedro

Sljedeće opterećenje koje je potrebno razmotriti je vertikalno djelovanje sile odnosno opterećenje na glavno ili srednje jedro (slika 10). Međutim potrebno je uzeti prije toga još neke parametre. Uzmemo li duljinu stražnjeg poruba (Lleech) i ulegnuće (s), možemo izračunati parametar deformacije stražnjeg poruba (k). Kod ulegnuća, za plovidbu u vjetar uzima se vrijednost 0.055 (5.5% duljine stražnjeg poruba), a za plovidbu niz vjetar 0.2 (20% duljine stražnjeg poruba).

$$k = \frac{Lleech^2/4 - (s \times Lleech)^2}{2 \times s \times Lleech}$$

Nakon toga možemo izračunati kut otklona stražnjeg poruba jedra (Θ), uzimajući u obzir parametar deformacije i duljinu stražnjeg poruba.

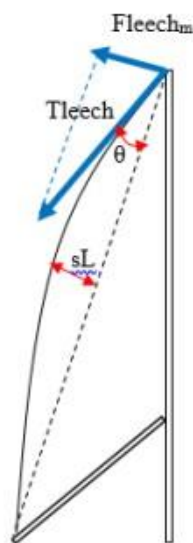
$$\Theta = \arctan\left(\frac{Lleech}{2 \times k}\right)$$

Sljedeći korak je izračunati zatezno opterećenje stražnjeg poruba (Tleech), uzimajući u obzir faktor naleta (Gf) ,koji se uvijek razmatra kao 2.0, koncentrirano bočno opterećenje (Fleechm) i kut otklona stražnjeg poruba jedra (Θ).

$$Tleech = Gf \times \frac{Fleechm}{\sin \theta}$$

Nakon što smo izračunali sve ove parametre možemo izračunati vertikalno djelovanje sile odnosno opterećenje na glavno ili srednje jedro (Fhalym). U formulu se uvrštava vrijednost zateznog opterećenja stražnjeg opterećenja (Tleech).

$$Fhalym = 1.05 \times Tleech$$

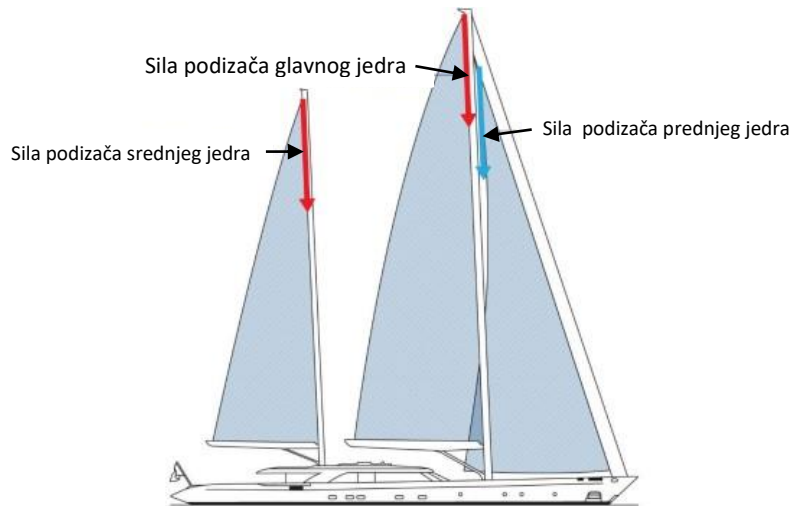


Slika 10: Vertikalno opterećenje glavno ili srednje jedro (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

3.6.5. Vertikalno opterećenje podizača na prednje jedro

Sljedeće što je potrebno uzeti u obzir je vertikalno opterećenje podizača na prednje jedro (FhalyF)(slika 11). Računa se na način da se uzme u obzir bočna sila na jedru (FlatF) i ulegnuće (s). Kako postoje više vrsta prednjih jedara, tako će vrijednost ulegnuća nije ista kod svih prednjih jedara. Zato ćemo, za genou ili jib uzeti vrijednost 0.045 (4,5% duljine stražnjeg poruba), zareacher 0.05 (5% duljine stražnjeg poruba) i za MPS ili gennaker 0.06 (6% duljine stražnjeg poruba).

$$FhalyF = \frac{FlatF}{8 \times s}$$



Slika 11: Vertikalno opterećenje podizača na prednje jedro (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

3.6.6. Opterećenje prednaprezanja

Potrebno je provesti postupke prednaprezanja koji će doseći najmanje sljedeće vrijednosti prednaprezanja:

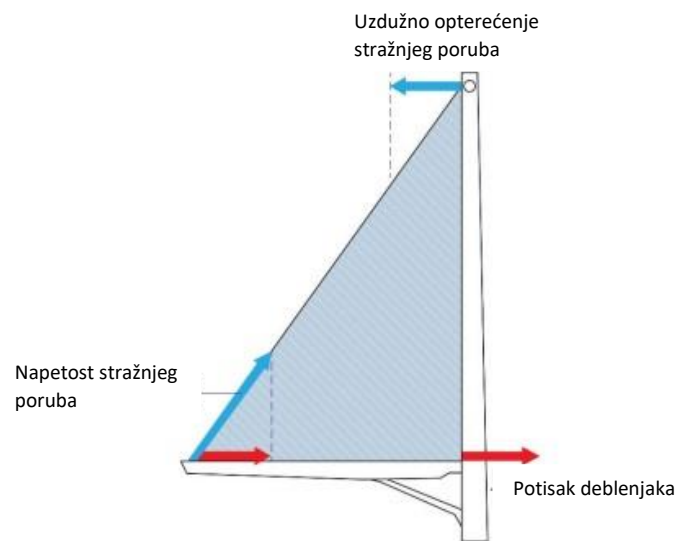
- za svaku vertikalnu zatežno opterećenje mora biti 22% prekidne čvrstoće
- za dijagonalu D1 zatežno opterećenje mora biti 18% prekidne čvrstoće
- za ostale dijagonale zatežno opterećenje mora biti 12% prekidne čvrstoće za svaku dijagonalu

Također, što se tiče vertikalne opterećenja, ako želim održavati veća opterećenja na njima na zavjetrinskoj strani u plovidbi pri maksimalnom projektiranom kutu, bit će potrebno više napeti tijekom prve faze predopterećenja (samo vertikale). Dijagonale, s druge strane, mogu doći u opušteno stanje bez stvaranja nestabilnosti jarbola. Međutim projektant može odlučiti dati veće opterećenje prednaprezanja kako bi se izbjegle labave dijagonale čak i u uvjetima maksimuma kut nagiba.

3.6.7. Opterećenje deblenjaka

Potisak deblenjaka (slika 12) prema naprijed (T_{boom}) nastaje zbog uzdužne komponente opterećenja stražnjeg poruba jedra na rogalj škote na kraju deblenjaka. Ta se sila primjenjuje izravno na hvatište deblenjaka na jarbol. Potrebno je uzeti u obzir duljinu deblenjaka ili donjeg poruba jedra (E), duljina prednjeg poruba (P) i zatezno opterećenje stražnjeg poruba (T_{leech}).

$$T_{boom} = \cos\left(\arctan\left(\frac{P}{E}\right)\right) \times T_{leech}$$



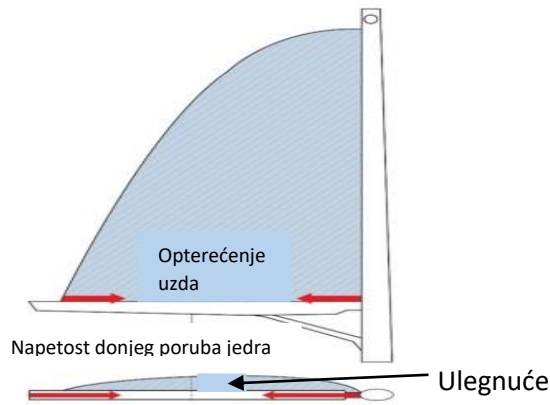
Slika 12: Opterećenje deblenjaka (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

3.6.8. Konop za izvlačenje glavnog jedra (uzde)

Zbog potiska deblenjaka i napetosti zbog progiba jedra nastaje takozvano opterećenje uzda (slika 13). Ovo se opterećenje koristi za dimenzioniranje kraka i ne primjenjuje se na jarbole. Prvo je potrebno izračunati opterećenje na glavnom roglju. To se može izračunati uzimajući u obzir bočno opterećenje na jedru (F_{lat}) i ulegnuće (s). vrijednost ulegnuća se uzima kao 0.05 (5% dužinev).

$$F_{tack} = \frac{0.3 \times F_{lat}}{8 \times s}$$

Nakon što se to izračuna, možemo izračunati opterećenje uzda: $F_{outhaul} = F_{tack} + T_{boom}$



Slika 13: Opterećenje uzda (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

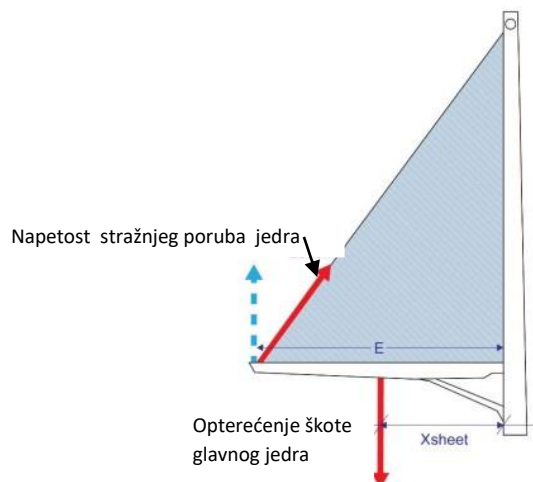
3.6.9. Opterećenje škote glavnog jedra

Opterećenje na škoti glavnog jedra (slika 14) je reakcija na okomitu komponentu napetosti stražnjeg poruba jedra. Možemo izračunati vertikalno i horizontalno opterećenje, ali je prvo potrebno izračunati vertikalno opterećenje stražnjeg poruba jedra, uzimajući u obzir duljinu prednjeg poruba (P) i duljinu donjeg poruba (E):

$$T_{\text{leech}_{\text{vert}}} = T_{\text{leech}} \times \sin\left(\arctan\left(\frac{P}{E}\right)\right)$$

Nakon izračuna možemo izračunati vertikalno opterećenje i horizontalno opterećenje na škoti glavnog jedra, uzimajući u obzir udaljenost od škote glavnog jedra do jarbola (X_{sheet}) i bočno opterećenje preneseno s stražnjeg poruba jedra na rogalj škote (F_{clewn}):

$$F_{\text{vmsheet}} = T_{\text{leech}_{\text{vert}}} \times \frac{E}{X_{\text{sheet}}} \quad F_{\text{hmsheet}} = F_{\text{clewm}} \times \frac{E}{X_{\text{sheet}}}$$



Slika 14: Opterećenje škote glavnog jedra (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

3.6.10. Opterećenje na škotu glavnog jedra u uvjetima niz vjetar

U uvjetima niz vjetar, glavna škota reagira na bočno opterećenje primijenjeno na rogalju škote. Osim ako projektant ne pruži drugačije podatke, prividna brzina vjetra od 30 čvorova mora se uzeti u obzir. Prvo je potrebno izračunati silu niz vjetar na glavnom jedru ($F_{sail\,dw}$), uzimajući u obzir gustoću zraka na razini mora ($\rho=1,29 \text{ kg/m}^3$), brzinu vjetra (V^2) i područje jedara (A_{sail}).

$$F_{sail\,dw} = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A_{sail}$$

Nakon što smo to izračunali, možemo izračunati bočnu silu na škoti glavnog jedra, uzimajući u obzir silu niz vjetar na glavnom jedru ($F_{sail\,dw}$), duljinu donjeg poruba (E) i udaljenost od jarbola i škote glavnog jedra (X_{sheet}).

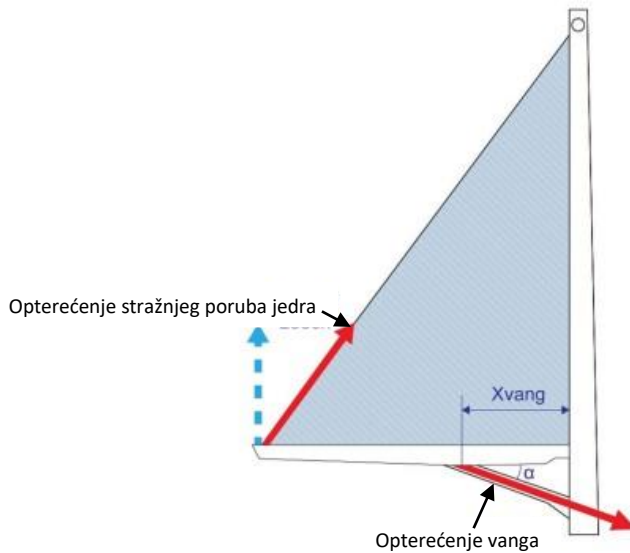
$$F_{hdw\,sheet} = 0.3 \times F_{sail\,dw} \times \frac{E}{X_{sheet}}$$

3.6.11. Opterećenje vanga

Vang se može koristiti tijekom uvjeta niz i u vjetar, ali je potrebno izračunati napetost stražnjeg poruba jedra za oba slučaja. U slučaju uvjeta u vjetar, osim ako drugačije savjetuje projektant, može se smatrati da vang doprinosi 50% napetosti stražnjeg poruba. Za slučaj niz vjetar, progib glavnog jedra povećao se na vrijednost jednaku 0,20 koji treba upotrijebiti (slika 15).

$$F_{vang\,downwind} = \sin\left(\arctan\left(\frac{P}{E}\right)\right) \times T_{leech\,downwind} \times \frac{E}{X_{vang} \times \sin(\alpha)}$$

$$F_{vang\,upwind} = 0.5 \times \sin\left(\arctan\left(\frac{P}{E}\right)\right) \times T_{leech\,upwind} \times \frac{E}{X_{vang} \times \sin(\alpha)}$$

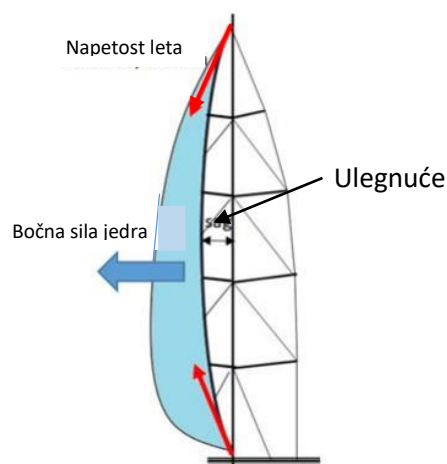


Slika 15: Opterećenje vanga (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

3.6.12. Opterećenje i napetost leta

Napetost leta (H_{stay})(slika 16) se izračunava iz iste formule koja se koristi za izračun napetosti prednjeg poruba glavnog i prednjeg jedra. Osim ako projektant ne iznese drukčije. Kod ovog izračuna moramo uzeti u obzir bočnu silu jedra ($F_{sail_{lat}}$) i ulegnuće (s). Vrijednost ulegnuća ovisi o vrsti jedra, pa će se za genou ili jib uzimati 0.018 (1.8% dužine), za reacher 0.023 (2.3% dužine) i za staysail 0.025 (2.5% dužine).

$$H_{stay} = \frac{F_{sail_{lat}}}{8 \times s}$$



Slika 16: Opterećenje i napetost leta (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

3.6.13. Opterećenja na križeve

Osim tlačnog opterećenja na križeve još postoje opterećenja savijanja jarbola, opterećenje na krajniku križa i elektronika i opterećenje montera. Govoreći o opterećenju savijanja jarbola, savijanje tijekom postavljanja jarbola prenosi opterećenje na križeve (slika 17) postavljeni na horizontalnoj ravnini usmjereni prema krmu. Moment savijanja prouzročen ovim opterećenjima se može izračunati. Međutim prvo je potrebno izračunati opterećenje izazvano kutom otklona križeva prema krmu (α_{rake}):

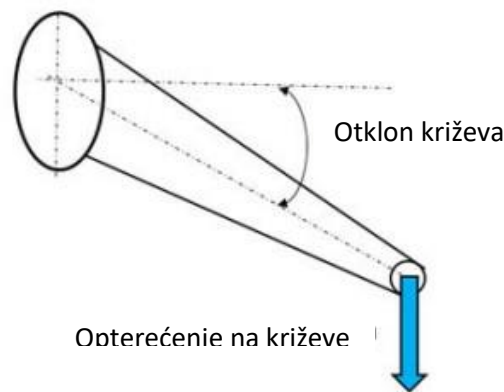
$$K_{\text{bend}} = 0.00385 + \frac{0.00165}{20} \times \alpha_{\text{rake}}$$

Nakon što smo izračunali, potrebno je ovo opterećenje, uz maksimalno radno opterećenje ($V1w1$), uvrstiti u sljedeću formulu:

$$F_{\text{bend}} = 1.25 \times V1w1 \times K_{\text{bend}}$$

Uzimajući u obzir ovo opterećenje i ako uz to još uvrstimo opterećenje izazvano kutom otklona križeva prema krmu (α_{rake}) i duljinu križeva (L), možemo izračunati moment savijanja križeva (M_{bend}).

$$M_{\text{bend}} = \cos(\alpha_{\text{rake}}) \times F_{\text{bend}} \times L$$



Slika 17: Opterećenje na križeve (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

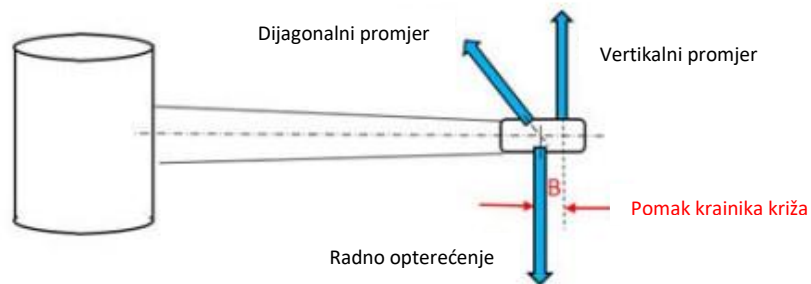
3.6.14. Opterećenje na krajniku križa

Moment savijanja se obično stvara na krajniku križa (slika 18). Zbog neusklađenosti spojenih pokrova, to može varirati ovisno o proizvođaču krajnika i stoga ih mora ocijeniti dizajner. Ako informacije o opterećenju na ovaj dio nije iznesen od strane projektanta, opterećenje se može izračunati. Međutim, prvo je potrebno izračunati pomak krajnika križa (B), uzimajući u obzir vertikalni promjer ($\phi(V_{n+1})$).

$$B=0.6 \times \phi(V_{n+1})$$

Vrijednost pomaka krajnika križa je potrebno uvrstiti, uz maksimalno radno opterećenje $V_{(n+1)wl}$, u sljedeću formulu da bi izračunali opterećenje na krajniku križa (M_{tipcup}).

$$M_{tipcup}=2.5 \times B \times V_{(n+1)wl}$$

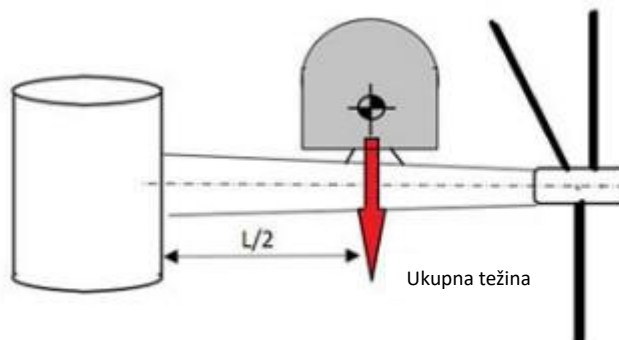


Slika 18: Opterećenje na krajniku križa (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

3.6.15. Opterećenje elektroničkih uređaja i montera

Dodavanjem elektroničkih uređaja na križ, stvara se dodatno opterećenje. Momenti savijanja izazvano težinom elektroničkih uređaja koji su postavljeni na polovici dužine križa i težinom montera također treba uzeti u obzir (slika 19). Ako projektant ne pruži podatke, vrijednost od 1000 N treba se smatrati ukupnom težina (W_{el}), dinamički faktor (K_{el}) koji se uzima kao 3 i dužina križeva (L).

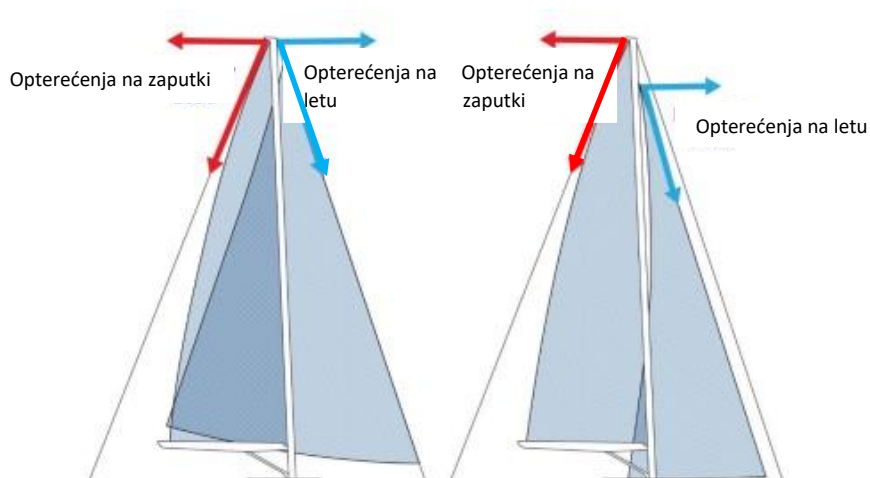
$$M_{el}=W_{el} \times \frac{L}{2} \times K_{el}$$



Slika 19: Opterećenje elektroničkih uređaja i montera (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

3.6.16. Opterećenja na zaputki

Opterećenje na zaputki (slika 20) treba izračunati uzimajući u obzir stražnji upor u suprotnosti sa svakim uporištem s najopterećenijim jedrom za svaki razmatrani slučaj opterećenja. Računanjem, ravnotežni trenuci o bazi jarbola moraju biti zadovoljeni. Ako dođe do zamaha križeva, također je moguće razmotriti doprinos krajnika križeva.



Slika 20: Opterećenje na pomičnoj i stajaćoj oputi (izvor: ABS, Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts 2023.)

3.6.17. Opterećenja na Pomičnu zaputku, pritegu zaputke i malo leto

Opterećenja na pomičnu zaputku mogu se procijeniti gledanjem prema privjetrinskoj strani pomične zaputke suprostavljajući se prednjem unutrašnjem letu s opterećenim jedrom u slučajevima opterećenja gdje se to namjerava koristiti. U ovom slučaju, ravnotežni momenti oko baze jarbola moraju biti zadovoljeni u proračunu. Ako nema srednjeg leta opterećen jedrima, pomična zaputka se koristi samo za stabilizaciju jarbola (često zajedno s malim letom) ili omogućuje jarbolu željeno zakrivljenje. U ovom slučaju, projektant i posada odlučuju koliko dodatno treba opteretiti pomičnu zaputku i/ili malo leto. Maksimalno opterećenje pomične zaputke i malog leta često se dobiva tijekom plovidbe u teškim uvjetima zbog kutnog ubrzanja izazvana na oputi kretanjem broda.

3.6.18. Opterećenje stajaće opute

Opterećenja na stojećoj oputi mora procijeniti projektant, uključujući uzdužne elemente (zaputka, pomična zaputka, pritega zaputke i malo leto) i popratni izračuni treba podnijeti na pregled. Potrebno je uzeti u obzir opterećenja prednaprezanja za svaki element opute.

4. Trimanje jarbola

Oblik jarbola na brodu je jako bitan. Današnji jarboli su najčešće napravljeni od aluminijski, lakog metala koji podnosi napore i naprezanja. Zbog toga je potrebno trimanje jarbola tj. dobivanje pravilnog oblika. Ovim postupkom je jako bitno trimanje napraviti pravilno, jer može doći do nepoželjnog iskrivljenja tokom jedrenja, ali i pucanja samog jarbola. Kod trimanja se gleda napetost opute jarbola, koja je bitna da bi se spriječilo savijanje i lomljenje jarbola. Prvi korak kod trimanja je promatranje izdaleka. Tako će se vidjeti kako jarbol stoji u odnosu na trup (Delić, 2008.). Drugi korak je gledanje kroz vodilicu jedra. Osoba će stati uz jarbol i kroz vodilicu promotriti jarbol od dna prema vrhu. Tada će odmah zaključiti je li jarbol okomit ili iskrivljen i na koju je stranu više nagnut. Međutim, da bi točno i pravilno ispravili jarbol, potrebno je mjerenje. Alat koji se koristi je metar, uteg i tenziometri. Kod pravilno natrimanog jarbola, smanjuju se napori jedrilice i posade, a mogućnosti kormilara se povećavaju. Plovidba je sigurnija, raste vrijednost jedrilice, a oštećenja na jarbolu, jedrima i oputi su rjeđa.

4.1. Trimanje jarbola s vršnom oputom

Nakon promatranja jarbola, kreće mjerenje na jarbolu. Prvo se izmjeri nagnutost jarbola. To se radi na način da na podizač jedra se objesi uteg. Tada će uteg na podizaču biti kao visak i pokazati će nam koliko i na koju stranu je jarbol nagnut (Delić, 2008.). Nakon ovog koraka, potrebno je izmjeriti nagnutost jarbola u odnosu na bokove. Otpusti se podizač glavnog jedra da nam posluži kao mjerena duljina i prinesemo ga na jednu stranu. Time ćemo utvrditi gdje mu je dodirna točka na boku broda kod hvatišta pripone i označiti ga ljepljivom trakom. Jedriličari vertikalne pripone označavaju sa slovom „V“, a dijagonalne pripone sa slovom „D“. Da bi se donje pripone mogle namjestiti, na njih se ugrađuju navojni završetci na koje se stavljaju stezalice. Bez stezalica, trimanje nije moguće, jer uz pomoć tih stezalica namještamo napetost samog čelik-čela odnosno opute. Natezanjem tih pripone, kod jarbola s vršnom oputom, dobiti ćemo u sredini krivulju prema nazad. Zatim ćemo zategnuti potkrižna čelik-čela koji su uhvaćeni prema pramcu broda. Pravilna krivulja se još može postići zatezanjem manjeg leta. Da bi bili što precizniji kod zatezanja, potrebno je za svaku stranu po jedna osoba. Te osobe će zatezati stezalice na svakoj strani i ravnomjerno brojati okrete na stezalici. Kad se to napravi, zaputka se zateže tek na kraju.

4.2. Trimanje Jarbola s dijeljenom oputom

Kod ovakvih jarbola, oputa je podijeljena u više dijelova. Zbog toga je trimanje jarbola zahtjevnije i potrebno je više vremena. Kako, kod jarbola s vršnom oputom, donje pripone imaju stezalice, tako kod ovog jarbola svaka oputa ima svoju stezalicu. Zbog toga je potrebno da se čovjek popne na jarbol (Slika 21) i zategne svaku stezalicu koje koso dolaze ispod gornjih križeva. Kod ovakvog jarbola, potrebno je „opustiti“ zaputku, pa onda dotezati, nekoliko puta, križne pripone na krajnicima.



Slika 21: Trimanje gornje opute jarbola (izvor: autor)

4.3. Napetost pripona i provjera

Tijekom trimanja potrebno je pratiti napetost čelik-čela, da bi izbjegli puknuća samih pripona ili dodatno iskrivljenje jarbola. Napetost pripona se određuje opipom ili uređajima. Iskusna osoba može opipom namjestiti pravilnu napetost. Međutim, kako je jarbol sklopljeni dio broda, lijeva i desna strana nisu jednake i napetosti mogu biti različite. Iako su gotovo neuočljive, provode se preciznija mjerenja uz pomoć tenziometra (Slika 22). Kada postavimo tenziometar na jednu od pripona, on nam pokazuje koliko posto prekidne čvrstoće i kolika sila djeluje na samu priponu. Uz mjerenje napetosti pripona, još se odvija provjera za cijeli jarbol. To se radi na način da jedna osoba snažno zatrese leto, dok druga osoba promatra ponašanje pripona kod tih vibracija. Te vibracije simuliraju vjetar od 30 čvorova. Ako jedna od pripona i križnih priponica dulje vibrira, to je znak da su neravnomjerno zategnute.



Slika 22: Tenziometar (izvor: autor)

4.4. Završni koraci trimanja

Nakon svih mjerenja i zatezanja na priponama, letu i zaputki, potrebno je razviti jedra i onda vidjeti kako će se brod ponašati na moru. Najbolji uvjeti za završnu provjeru je vjetar od 15 čvorova kad more neće biti previše valovito. Kod ove provjere, kormilar će u ovim uvjetima osjetiti tendenciju trupa broda. Kormilar će osjetiti vuče li pramac broda u privjetrinu ili zavjetrinu. Kod ove provjere, moguća su dva slučaja. Prvi slučaj je pretežan jarbol na brodu. Brod sa takvim jarbolom vući će pramac u privjetrinu. Drugi slučaj je zatežan jarbol na brodu, te takav jarbol vući će pramac u zavjetrinu.

4.5. Iskrivljeni i puknuti jarboli

Današnji jarboli na jedrilicama i katamaranima su napravljeni od aluminijskih legura. Kod preopterećenja može puknuti ili se deformirati (Slika 23). Prvi slučaj je najčešći kod neodržavanja jarbola, pogotovo njegovog nejednakog opterećenja na čelik-čelima. Ovo povećava dinamičke sile na jarboli i tada dolazi do zamora materijala, istrošenih čelik-čela odnosno pripona i nastavaka za hvatište tih pripona. Poželjno je pregledati jarbol barem jednom godišnje i to od vrha do dna.

Bez obzira na provjere, to nije dovoljno da jarbol bude siguran i pregledan kako treba, pa je poželjno da barem jedan put u pet godina, pregled bude obavljen od strane stručne osobe. Ključno je, kod pregleda, pregledati i provjeriti sve spojeve i hvatišta jer su to mjesta gdje materijal najčešće popušta i može doći do pucanja. Poželjno je, također, da se jarbol nakon nekog vremena skine s broda, zbog detaljne kontrole i servisa. To je najbolji način za utvrđivanje pravog stanja jarbola i prilika da se zamijeni sav potrošan materijal i dotrajale dijelove. Drugi slučaj je nedovoljno znanje i iskustvo u jedrenju i slabo natriman jarbol. Često se može vidjeti, posebice kroz sezone ljeti, da ljudi nemaju iskustva i dovoljno znanja u jedrenju, te se zbog toga događaju lomovi, ali i padovi jarbola. Naravno ne mora to biti slučaj, jer se isti takav slučaj može dogoditi kod sudara brodova ili udara broda u neki nepomični objekt (npr. most). Kod jedrenja, jarbol može puknuti ako se optereti s previše jedrilja. Zbog toga brod može nekontrolirano zbog naglog naginjanja napraviti prelet (Delić, 2008.). Primjer može biti jedro na letu. Ako se to jedro napuše sa suprotne strane, doći će do pritiska na jarbol preko pripona, što može rezultirati puknućem ako ga se ne oslobodi. Slabo natriman jarbol može isto biti opasnost da dođe do puknuća. Na jarbolu sa dijeljenom oputom, ako se zategnu previše priponice ispod križeva, jarbol će u tom slučaju biti previše ravan. Tada će se sve sile prenijeti na dijagonalne priponice, koje su upola tanje od glavnih nosivih pripona, što može rezultirati puknućem (Delić, 2008.). Treći slučaj je jarbol s tehničkom greškom izrade. Ovaj slučaj je rjeđi nego dva prethodna.



Slika 23: Iskrivljen (lijevo) i puknut jarbol (desno) (izvor: autor)

5. Oprema broda oko jarbola

5.1. Konopi

Konopi na jarbolu su jedna od najvažnijih dijelova koja su potrebna za jedrenje. Ovisno o veličini jarbola, jedara, ali i broda, uz njegovu namjenu, određuje se količina, odnosno duljina konopa sve ukupno i debljinu, jer je jako bitno koliko konopi trpe napetosti i koliko tona vjetra u jedrima podržavaju. Na jedrilici koja je duljine 12 metara, sa jarbolom višim od 16 metara, ima više od 600 metara konopa (Tablica 1). Međutim, svi ti konopi nisu iste debljine, jer neki podnose veće sile dok drugi manje. Na jedrilici, konopi služe kao podizači odnosno za dizanje jedara, konopi u deblenjaku ili lantini (za bazu jedra i konop za kraćenje jedra ili kratovi), škote ili konopi za natezanje jedra na bazi, zatege i podveze.

Tablica 1: Ukupna dužina konopa (jedrilica od 12metara)

Podigači jedara i konopi u bumu	250 m
Škote	130 m
Zatege i podveze	60 m
Sidreni konopi	80 m
Vezovni konopi	50 m
Rezervni konopi	30 m
UKUPNO	600 m

Izvor: Delić S. Oprema krstaša, 2008.

Uz ove konope koji imaju veze s jarbolom, na brodu se još mogu pronaći sidreni i privezni konopi i rezervni. Rezervni konopi mogu poslužiti kao zamjena za jedan od navedenih konopa. To se radi najčešće kad konop, upravo zbog ranije navedenih sila pukne. Mjesto gdje je konop pukao, može se napraviti upletka, odnosno uplitanje rezervnog konopa. Alat koji je potreban za uplitanje konopa je: igla, tanki konopčić, nadlanjak (zaštita za dlan od igle pri šivanju ili uplitanju), kliješta, turpijica, nož, škarice (Simović, 2004).

Iako je upletka kad se izvede dosta čvrsta, zbog sigurnosti, bolje je taj konop zamijeniti sa novim. Pri zamjeni za novi konop, potrebno je vidjeti materijal od kojeg je konop napravljen. Naime, postoje različiti materijali od kojih se rade konopi. Na brodovima se koriste konopi od sintetičkih vlakana:

- Poliamidni (najlon, julon, supralon, grilon)
- Poliesterski (terilen, terivira)
- Polipropilenski (meraklon, gripolen)
- Polietilenski (meraklin)

Sintetički konopi imaju dobru prekidnu čvrstoću i zbog svoje elastičnosti mogu podnijeti trzaje. Trajnija su i jača nego biljni konopi, ali su zbog toga i skupi. Ne upijaju vlagu i zbog svojih svojstva ne mogu se ni smrznuti. Konopi koji su napravljeni od polietilenskog i poliamidnog materijala imaju manju gustoću od vode, pa ti konopi mogu i plutati. Na jedrilicama se još koriste polietilenski materijali kao što su dyneema, dynaone, vectran itd. Ovi konopi imaju veliku nosivost i malu rastezljivost pa imaju široku primjenu (Tablica 2).

Tablica 2: Nosivost modernih konopa

Presjek	Vectran	Dynaone	Dyneema	Spectra	Kevlar	Polyester
8 mm	2250 kg	5000 kg	3000 kg	2800 kg	2800 kg	1400 kg
10 mm	3900 kg	8500 kg	5100 kg	4000 kg	4500 kg	2300 kg
12 mm	6000 kg	11500 kg	7500 kg	5300 kg	6500 kg	3000 kg

Izvor: Delić S. Oprema krstaša, 2008.

5.2. Tračnice na brodu

Tračnice na brodu postoje iz više razloga. Kad govorimo o samom jarbolu, postoje jarboli s klasičnim jedrom i jarboli s roll sustavom. Jarboli s roll sustavom je jarbol koji ima mogućnost spremanja jedra tako što se „zarola“ unutar samog jarbola. Prednje jedro isto koristi ovaj način za otvaranje i zatvaranje pomoću posebnog bubnja koji se nalazi malo iznad hvatišta leta na palubi. Kako se bubanj okreće tako otvaramo ili zatvaramo prednje jedro. Za otvaranje prednjeg jedra, koriste se škote tog jedra, a otpušta se konop na bubnju. Za zatvaranje jedra, postupak se radi obrnuto. Dvije su vrste ovakvog sustava, a to su zupčasti sustav i sustav sa pužnim vijkom.

Međutim ovakav jarbol ne koristi tračnice, dok jarbol s klasičnim jedrom koristi. Klasična jedra se dižu na način da su spojeni na klizače koji idu po jarbolnoj tračnici. Klizači su prije bili problem jer bi se istrošili pa bi zapeli. Taj se problem riješio s kuglicama koje su napravljene od tvrdog plastičnog materijala torlona. U ovakva jedra postavljaju se letve koje se protežu od prednjeg do zadnjeg poruba. Takvo će jedro sasvim lagano kliziti prilikom podizanja, a i lakše će se slagati u vreću postavljenu na deblenjaku (lazy bag) koja je razapeta uz pomoć tankih konopa. Druga vrsta tračnica je za genou odnosno jedro postavljeno na segmentima kroz koje prolazi leto. Tračnice su postavljene na svakom boku na palubi, a njihov položaj ovisi o križevima na jarbolu. Regatne jedrilice imaju kratke križeve pa će tračnice biti bliže uzdužnici što omogućava uvlačenje „genoe“ i bolji kut prihvaćanja u vjetar. Brodovi koji imaju duže križeve imaju tračnice sasvim na boku. Klizači na ovim tračnicama moraju biti izdržljivi jer na njih djeluje velika sila. Rijetko se dogodi da puknu. Treća vrsta tračnica se nalazi na jarbolu je za olujno jedro ili flok i tangun (bum za spinaer). Flok je uvijek manji od genoe. Zbog ovog jedra, na jarbolu je postavljena još jedna tračnica, ali bočno od glavne jarbolne tračnice. Na prednjem dijelu jarbola se još nalazi tračnica za bum spinaera ili tangun. Spinaer je vrsta dodatnog jedra koja se postavlja ispred samog broda. Brod sa spinaerom najbolje hvata vjetar kad mu puše u krmu. Danas se više ove tračnice ne postavljaju i spinaer se sve manje koristi. Tračnica glavnog jedra na regatnim jedrilicama je postavljena cijelom dužinom od boka do boka. Može biti postavljena u kokpitu ili na samoj krmu. Duljina ove tračnice je važna, jer će kod naglog vjetra propustiti klizač na bok, te ćemo tako izbjeći naglo nagnjanje. Ova tračnica, na brodovima u čarteru će biti manja i biti će postavljena iznad ulaza u sam brod (Slika 24). Mala im je iskoristivost, odnosno jedina svrha je pomicanje deblenjaka bočno. Klizač na toj tračnici može doći do krajnjeg boka, ali se deblenjaka može još otkloniti više bočno tako što se može otpustiti konop. Postoji opasnost kod preleta što može izazvati pucanje klizača, ali i konopa.



Slika 24: Tračnica glavnog jedra na brodovima u čarteru (izvor: autor)

5.3. Vitla i kočnice za konope

Još u antičko vrijeme, ljudi su koristila vitla za podizanje stvari. Bila su drvena u obliku bubnja, a najviše su se koristila za podizanje sidra. Danas na brodovima se mogu pronaći i sidrena vitla, ali i vitla koja su postavljena za druge potrebe. Zadržali su oblik bubnja, a danas služe i za natezanje konopa na jedrilicama. Prije su se konopi natezali rukama, a otpuštali pomoću koloturnika. Sila u škotama jedrilica može biti od 200 do 2500 kilograma. Toliko sam čovjek ne može nategnuti pa mu je vitlo od velike pomoći. Ali kako ćemo znati je li vitlo ima dovoljno snage za vjetar? Uz pomoć izraza je moguće izračunati odnos snage (engl. power ratio):

$$\text{odnos snage} = \frac{2 \times \text{duljina ručke} \times \text{prijenosni odnos}}{\text{promjer bubnja}}$$

Prijenosni odnos je onaj između zupčanika koji prenose silu na nazubljeni ubod bubnja koji se tako vrti. Dobiti ćemo ga praćenjem koliko puta treba okrenuti ručku vitla, da bubanj napravi jedan krug. Ako na primjer imamo ručku duljine 200 mm, koju ćemo okrenuti 8,5 puta da bi bubanj promjera 85 mm napravio jedan krug, dobiti ćemo:

$$\frac{2 \times 200 \times 8.5}{85} = 40$$

U tom slučaju odnos snage iznosi 40:1. Kada se izračuna odnos snage, tada se može izračunati kojom snagom je potrebno okretati vitlo. U ovom slučaju, ako je sila u škoti 1500 kg, onda je potrebno okretati vitlo silom od 38 kg.

Vitlo na današnjim jedrilicama je okov za povlačenje škota i podizača jedara. Vitla se tako mogu razlikovati prema brzini povlačenja tih konopa. Tako postoje, jednobrzinska, dvobrzinska i trobrzinska vitla. Jednobrzinska vitla su vitla koja se koriste najčešće na malim jedrilicama i nemaju prijenos, nego se vitlo vrti kako se i ručka okreće (omjer 1:1). Dvobrzinska vitla imaju mogućnost vrtnje u obje strane (omjer 2:1), što predstavlja dvije vrste brzine vrtnje. U jednu stranu će vitlo natezati konop jače i brže, dok će na drugu slabije i sporije. Ovakva se vitla danas najčešće mogu pronaći na jedrilicama za krstarenja. Trobrzinska vitla ima mogućnost vrtnje s čak tri brzine. Prednost im je ta što kod prve brzine imaju mali prijenos, što omogućuje brzo skupljanje škota, dok još sila u jedrima nije velika. Mana kod trobrzinskih vitala je ta što imaju jako puno dijelova i dosta su komplicirana.

Kada brod jedri, konop od jedra se ne ostavlja sa svom silom na vitlu. Zato na jedrilicama postoji kočnica za konope (Slika 25), na koju se može prenijeti dio sile s vitla. Ove kočnice se još nazivaju i stoperi, jer imaju zadaću osigurati određeni konop. Stoperi osiguravaju konop na način da ga pritišću odozgo nazubljenim valjkom. Što je jača sila na konopu, to će stoper jače pritiskati. Postavljeni su najčešće ispred vitla, jer se vitlom konop nateže, a onda se još dodatno osigurava stoperom. Postoje danas i bolje izvedbe ovih stopera napravljenih od zupčastih poluga i opruge. Opruga pritišće unutarnji dio prema dolje, pa kada se sila na konopima promijeni, ona automatski blokira konop. Stoperi su danas napravljeni na način da im je unutrašnji dio napravljen od metala, jer taj dio najviše trpi sile, a vanjski dio od plastike. Što je stoper veći, veća će biti i količina metala u odnosu na plastiku. Kad govorimo o održavanju, ne trebaju se održavati posebno, nego je bitnije paziti konop koji prolazi kroz stoper. Prilikom korištenja i pritiskanja stopera, košuljica konopa može puknuti. Tada se na taj dio, gdje je košuljica pukla može staviti dodatna zaštita. To je privremeno rješenje, jer se time povećava debljina konopa, te će tada konop teže prolaziti kroz stoper. Najčešće se mijenja konop i postavlja se novi.



Slika 25: Kočnice za konop ili stoperi (lijevo) i vitlo (desno) (izvor: autor)

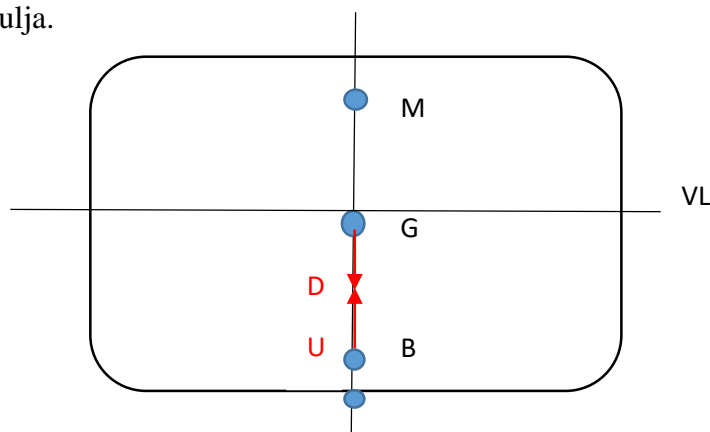
6. Stabilnost broda

Kad na velike brodove, primjerice kontejnerski brod, djeluje vjetar, tada je brod teško upravljiv, jer vjetar djeluje na veliku površinu. Isti takav problem imaju i svi brodovi s velikom nadvodnom površinom. Stoga se za djelovanje vjetra može reći da djeluje na brod kao na jedro. Kod jedrilice je važna stabilnost tijekom jedrenja, jer se može prevrnuti. Uz silu vjetra, tu se još može dodati i sila mora, odnosno valova. Ako je jedrilica u neprirodnom nagibu i naleti na val, može doći do prevrtanja. Tada može biti opasno za sam brod, ali i posadu koja upravlja jedrilicom. To su rijetki slučajevi, jer danas jedrilice imaju posebne kobilice, koje dodatno stabiliziraju brod, dok su oceanske jedrilice opremljene s balastnim tankovima, te mogu podnijeti puno više vjetra i imaju veću stabilnost.

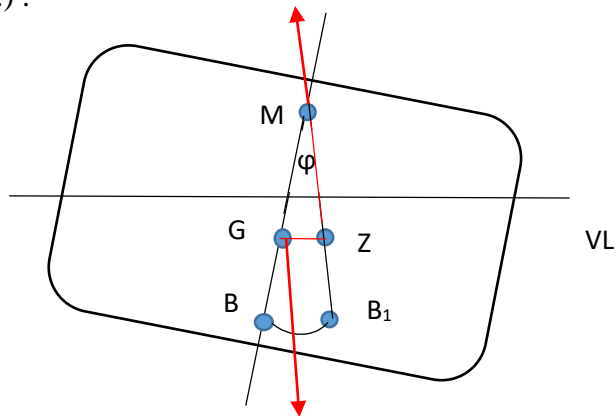
6.1. Općenito o stabilnosti broda

Stabilnost broda je svojstvo broda da se opire djelovanju sila koje ga nastoje nagnuti, odnosno pomaknuti iz uravnoteženog položaja (Marnika 1999.). U pogledu stabilnosti brod se može gibati oko uzdužne i poprečne osi. Djelovanjem vanjskih sila, kao što su vjetar i valovi, dolazi do izražaja dinamička stabilnost broda. Kod jedrilice, upravo zbog jarbola i velike površine jedara, to je posebno izraženo. Prije svega, da bi brod bio stabilan i plovao, mora ispunjavati tri uvjeta (Slika 26):

- Prvi uvjet: Ukupna težina broda D mora biti jednaka uzgonu U , koji je jednak težini istisnute tekućine u kojoj brod pliva.
- Drugi uvjet: Težište sile težina G i težište sile uzgona B moraju biti okomito jedno na drugo, a spojnica ova dva težišta, mora biti okomita na vodenu liniju.
- Treći uvjet: Težište sile težina G mora se nalaziti ispod točke metacentra M . Položaj točke metacentra određuje brodogradilište, a vrijednost u metrima je izražena u obliku tablica ili krivulja.



Uslijed djelovanja vanjske sile, brod će se nagnuti za neki kut, te će mu se tada promijeniti oblik i volumen podvodnog dijela (Slika 27). Nagibom broda nastaje spreg sila koji daje moment koji se protivi nagibu broda. Tada će vratiti brod u uspravan položaj nakon prestanka djelovanja vanjskih sila. Težište sile B će preći u položaj točke B₁, te će sila istisnine djelovati iz te točke. Moment je umnožak sile i kraka, te će nastati poluga uspravljanja broda. Moment vanjske sile nazivamo prekretni moment, a moment sprega sila, težina broda i uzgona se suprotstavlja nagibu broda i nazivamo ga moment statičke stabilnosti (Mst). Mjeri se u metar tonama (mt) (Marnika, 1999.) .



Slika 27: Položaj točaka prilikom nagnuća broda (izvor: autor)

Kod malih kutova nagiba (do 12°) moment statičke stabilnosti ovisi o početnoj metacentarskoj visini GM. Kod male početne metacentarske visine, brod se sporo vraća u uspravan položaj, dok kod velike početne metacentarske visine, brod se brzo vraća u uspravan položaj. Na slici se može vidjeti da smo dobili trokut GZM (Marnika, 1999.). Iz trokuta možemo izračunati vrijednost poluge uspravljanja broda (GZ) pomoću metacentarske visine i kuta nagiba:

$$GZ = GM \times \sin \varphi$$

Početni moment statičke stabilnosti ćemo dobiti ako dobivenu vrijednost poluge uspravljanja broda (GZ) pomnožimo sa deplasmanom broda (D):

$$Mst = D \times GZ$$

Konačna formula za moment statičke stabilnosti će onda biti: **Mst = D × GM sin φ**

1. Primjer zadatak: Brod deplasmana 20000 t, nagne se 9 stupnjeva. Početna metacentarska visina iznosi 0.5 m. Potrebno je izračunati moment statičke stabilnosti.

$$M_{st} = D \times GM \sin \varphi \longrightarrow M_{st} = 20000 \times 0.5 \sin 9^\circ \longrightarrow M_{st} = 1564 \text{ mt}$$

2. Primjer zadatak: Brod deplasmana 3000 t ima KG 4.5m i KM 5.0 m, te se nagnuo 5 stupnjeva. Potrebno je izračunati moment statičke stabilnosti broda.

-u zadatku nije zadan GM, ali se može izvaditi sa slike. Dobiti ćemo formulu: $GM = KM - KG$

$$GM = KM - KG$$

$$M_{st} = D \times GM \sin \varphi$$

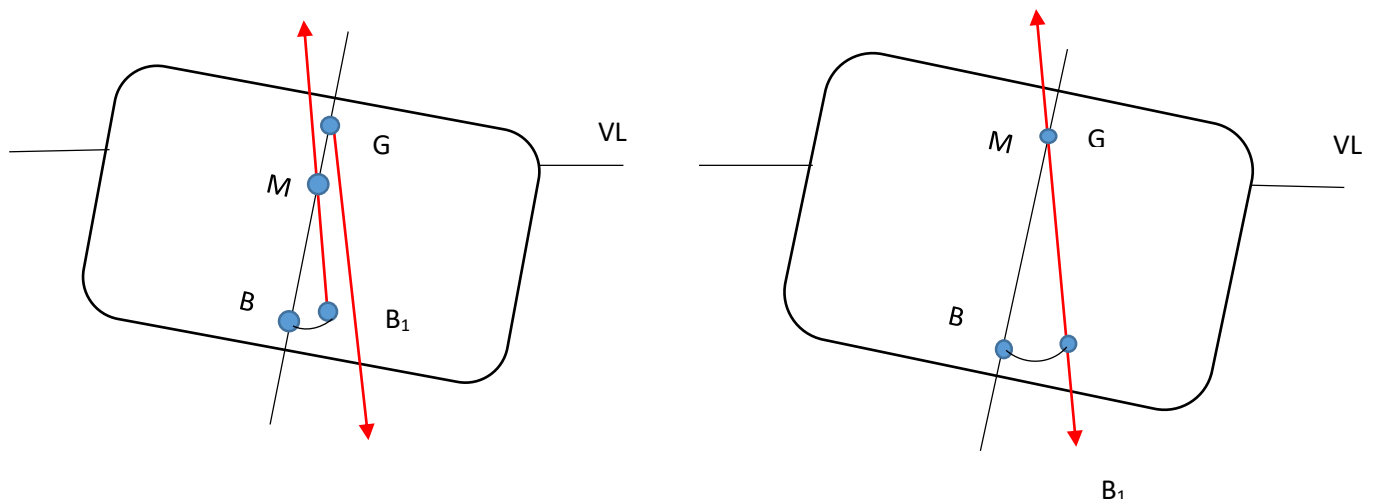
$$GM = 5.0 - 4.5$$

$$M_{st} = 3000 \times 0.5 \sin 5^\circ$$

$$GM = 0.5 \text{ m}$$

$$M_{st} = 130.7 \text{ mt}$$

Postoje još dva stanja broda. Promjena položaja točaka B, G i M utječe na stabilnost broda, pa tako brod može biti, uz stabilan brod, nestabilan i indiferentan ili neutralan (Slika 28). Promjenom položaja točke težišta broda G iznad točke metacentra M, tada se radi o nestabilnom ili labilnom brodu. Početna metacentarska visina će biti negativna, nagibanje odnosno uronuće broda je veće i može doći do prevrtanja ili potapanja broda. Indiferentan ili neutralan brod je brod kojemu je točka težišta G je na istoj visini s točkom metacentra M. Poluge uspravljanja nema, tako nema ni momenta statičke stabilnosti to jest, GM je 0. brod će tada ostati nagnut na kutu nagiba na koji ga je dovela vanjska sila (Marnika, 1999.).



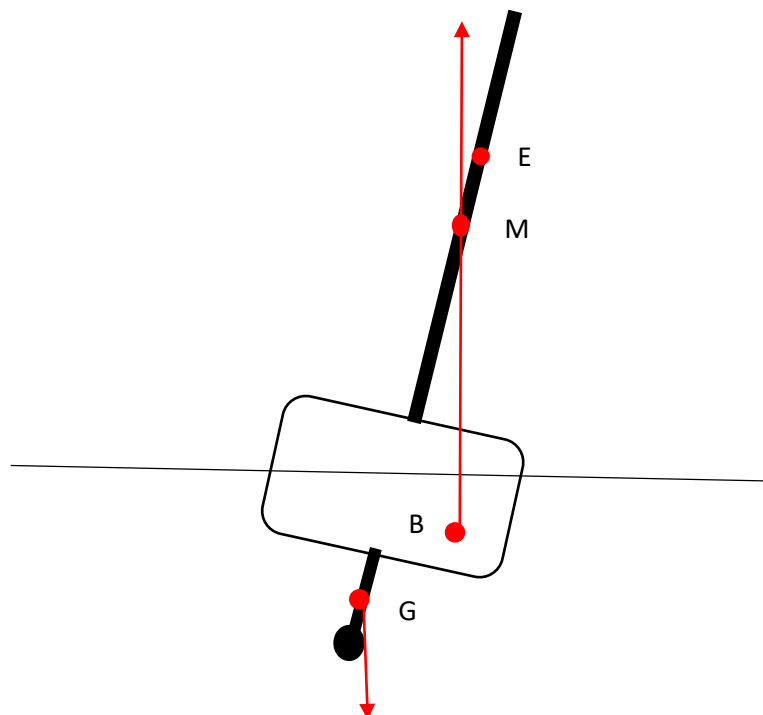
Slika 28: Položaj točaka kod nestabilnog (lijevo) i indiferentnog (desno) broda

6.2. Stabilnost broda kod velikih kutova nagiba

Do sad navedeni izračuni su se odnosili na male kutove nagiba (do 12°). Međutim, što se događa sa brodom kad ima kut nagiba veći od 12° ? Točka metacentra će slijediti svaku promjenu, te će mijenjati svoj položaj iznad kobilice i počinje izlaziti iz uzdužnice broda. Tada će se kretati po metacentarskoj krivulji i vrijednost metacentarske visine GM će se mijenjati. Zbog toga će se mijenjati i kut nagiba φ . Zbog ovih promjena vrijednosti GM, stabilnost broda se kod velikih kutova nagiba se prikazuje posebnim krivuljama (Marnika, 1999.). Međutim, postavlja se pitanje, kakve veze imaju veliki kutovi nagiba sa jedrilicom? Jedrilica kad jedri može imati kutove nagiba i veće od 12° (Slika 29). Za razliku od drugih brodova, na tako velike kutove, jedrilica se neće prevrnuti, upravo zbog drukčije forme trupa i dodatnih elemenata postavljenih na sam trup, ali i unutar trupa.

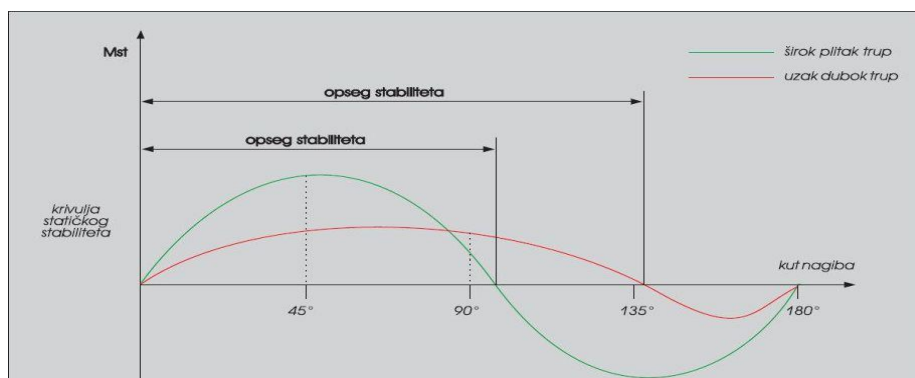
6.3. Stabilnost jedrilice

Na jedrilicu djeluju dvije vertikalne i dvije horizontalne sile. Dvije vertikalne sile su gravitacijska sila i sila uzgona. Gravitacijska sila djeluje na cijeli brod, ali će se težine koncentrirati u jednu točku koju nazivamo točka težišta broda (G). Druga vertikalna sila, koja se i ujedno suprotstavlja gravitacijskoj sili, je sila uzgona. Ta sila djeluje na cijeli podvodni uronjeni dio broda, te se na isti način kao i kod gravitacijske sile, koncentrira u jednoj točki koja se naziva težište uzgona ili istisnine (B). Ove dvije sile djeluju na sve brodove, dok na jedrilicu djeluju još i dvije horizontalne sile. Jedna od njih je bočna sila, koja djeluje na sve dijelove jedra, ali se na isti način, kao i kod vertikalnih sila, ima svoj centar, odnosno točku težišta jedara (E). S obzirom da jedro nije pravilnog oblika, ta točka će biti malo pomaknuta od središta na jedru. Druga horizontalna sila je ona koja djeluje na kobilicu. Kobilica na jedrilici ima uteg velike mase, koji se još naziva i kolomba. Jedrilici koja napreduje uz vjetar, kolomba ne dopušta da otkliže bočno, te uvelike pomaže u stabilnosti same jedrilice i ne dopušta da vanjske sile je ne prevrnu. Izrađena je od olova što daje težinu jedrilici i spušta težište broda. Kolika je težina u kobilici, ovisi o deplasmanu jedrilice. Najčešće je težina u kolombi $1/3$ deplasmana. Jedrilice za krstarenja u glavnom imaju oko 12 tona deplasmana, pa će u kolombi biti 4 tone olova. Jedrilica bez kolombe, se ponaša kao i običan brod. Postavljanje kolumbe doprinijelo je podizanju više jedara. Kad govorimo u smislu stabilnosti, točka sustavnog težišta broda (G) prati težinu, pa će se točka postaviti upravo u kolombi.



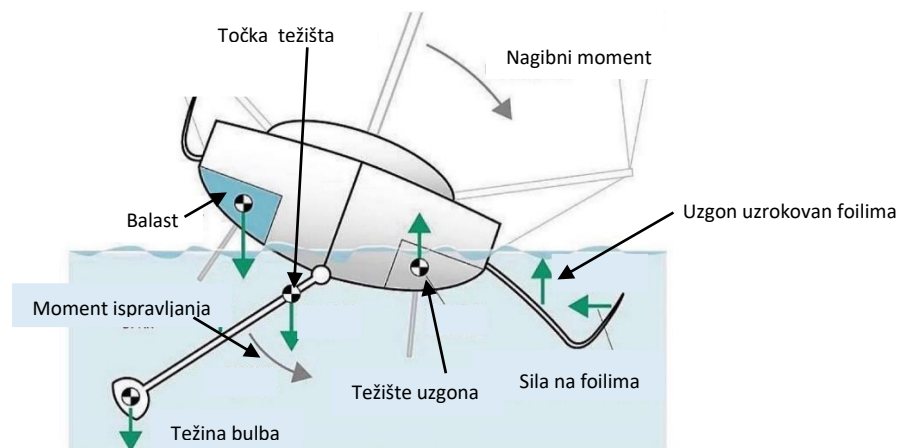
Slika 29: Položaj točaka kod jedrilice pri nagibu većem od 12° (izvor: autor)

Prilikom jedrenja također je dobro pratiti brzinu ali i dubinu. Kolomba povećava gaz broda, pa može doći do nasukavanja. Ako se nasukavanje dogodi u brzini pod punim jedrima, može doći do pucanja ili padanja jarbola. Kad govorimo o metacentru, njegov položaj će isključivo ovisiti o formi trupa jedrilice. Kako je točka težišta težina G blizu kobilice broda, forma trupa mora biti takva, da kod nagiba metacentar mora biti što više. Tada će jedrilica biti stabilna, bez obzira na velike kutove nagiba. Trup jedrilice, prema svojoj formi može biti širok i plitak, dok također može biti uzak i dubok. Jedrilice sa širokim i plitkim trupom imaju veći početni stabilitet koji se kasnije smanjuje prilikom nagiba. Jedrilice koje imaju uzak i dubok trup mogu puno dulje zadržati pozitivnu stabilnost, dok im je negativna stabilnost relativno mala (Vitaljić, 2019.) (Slika 30).



Slika 30: Stabilnost jedrilice kod različitih formi trupa (izvor: internetska stranica regate.com)

Drugim riječima, jedrilica se može vratiti u stabilni položaj, iako je njezin kut nagiba preko 90° . Što je veće nagnuće, manje vjetra djeluje na jedro, a težina kolombe će držati jedrilicu u stabilnom položaju. Jedrilice sa uskim i dubokim trupom, mogu se uspraviti i kod nagiba koji može biti veći od 120° . Međutim, to mogu jedrilice sa fiksnom kolombom. Kad se dogodi takav nagib, jedra se prazne od vjetra i nemaju silu na sebi, te će se jedrilica sama vratiti u uspravan položaj. Pošto je jarbol postavljen ispred kolombe prilikom vraćanja u uspravni položaj, čini to tako da se jedrilica postavlja u vjetar, što daje posadi vremena da reagira i popuste sile u jedrima popuštanjem škota i na kraju kraćenjem jedara. Kod jedrilica s podiznom kolombom ovo nije slučaj. Jedrilice koje su napravljene za ocean, opremljene su balastnim tankovima i pomičnom kolombom (Slika 31). Razlog tome je što mogu balastnim tankovima, dodati težine na brod (Yachtingworld, 2016.). Tada će se točka sustavnog težišta broda G postaviti što niže, te će jedrilica moći podnijeti daleko više vjetra u jedrima, te će moći podnijeti veće kutove nagiba. Problem kod ovih pomoćnih kolombi je taj što je sustav osjetljiv, te se može dogoditi otpadanje kolombe. Otpadanjem kolombe točka sustavnog težišta G se postavlja jako blizu metacentra, te će uvijek završiti prevrtanjem broda.

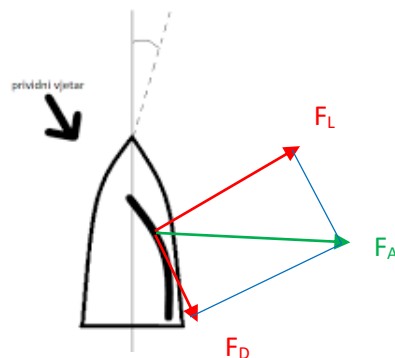


Slika 31: Jedrilice s pomičnom kolombom (izvor: internetska stranica yachtingworld.com)

6.4. Sile na jedru

Jedro je površina koja je najviše izložena bočnim silama, koje djeluju na sve dijelove jedra, ali se, kao što je već rečeno, sve te sile koncentriraju u jednu točku, to jest točku težišta jedara (E). Zato jedro može se nazvati i kao aerodinamična površina. Jedro se otvara i zatvara kad na njega najmanje djeluju vanjske sile, a to je kad se plovi u vjetar. Vanjske sile će više djelovati na jedro kad se jedri pod nekim kutom od vjetra.

Međutim, potrebno je razlikovati pravi vjetar od prividnog vjetra. Pravi vjetar je onaj vjetar koji se događa u statičkom sustavu. Prividni vjetar je vjetar koji je kombinacija pravog vjetra, te vjetra brzine i smjera nastalog kretanjem jedrilice. Pretpostavimo da imamo pravi vjetar jačine 8 čvorova u pramac broda, a mi se krećemo brzinom od 6 čvorova, prividni vjetar će nam biti 14 čvorova. U tom slučaju nije moguće ploviti direktno u vjetar s jedrima. Ako imamo isti vjetar, a puše nam u krmu i krećemo se istom brzinom, prividni vjetar će biti 2 čvora. Razlog tomu je taj što putujemo s vjetrom (Ell, 2004.). Prilikom jedrenja pod nekim kutom od vjetra, čestice zraka struje na privjetrinskoj i zavjetrinskoj strani jedra. Na privjetrinskoj strani čestice zraka će putovati sporije, dok na zavjetrinskoj strani će se kretati brže. Zbog toga nastaje razlika u visini tlaka. Zbog toga će na privjetrinskoj strani biti visok tlak, a na zavjetrinskoj nizak tlak. Zbog ove razlike u tlakovima, nastaje aerodinamička sila uzgona (F_L). Zbog kretanja jedrilice i zbog razlike u tlakovima na privjetrinskoj i zavjetrinskoj strani, nastaje sila aerodinamičkog otpora (F_D). Ova sila će biti okomita na aerodinamičku silu uzgona (F_L), te će imati smjer prividnog vjetra. Zbrajanjem ove dvije komponente, dobiti ćemo ukupnu aerodinamičku silu (F_A) (Zelić, 2019.) (Slika 32).



Slika 32: Aerodinamična sila (izvor: Zelić, A., Fizika jedrenja 2019.)

6.5. Oblik jedra

Kod jedrenja, oblik jedra je jako bitan, da bi dobili aerodinamičan oblik. Kad se ovi svi elementi uključe, jedro neće biti oblika trokuta, već će biti eliptičnog oblika. Jedra takvog oblika su učinkovitija jer smanjuju strujanje čestica zraka u gornjem dijelu jedra, zbog same težine tog dijela jedra. Međutim, ova jedra imaju kraći vijek trajanja, jer su napravljena od materijala koji se brzo troši pod utjecajem vremenskih prilika (sunce i vjetar). Jedra oblika trokuta nisu najučinkovitija zbog strujanja čestica zraka u gornjem dijelu, ali imaju duži vijek trajanja. Takva jedra su danas najviše u upotrebi. Napravljena su od materijala koji mogu zadovoljavati ove uvjete, te su mekani i savitljivi. To su najčešće dacron, mylar i kevlar (Vitaljić, 2019.).

7. Jarboli na trgovačkim brodovima

Jarboli su u prošlosti bili najvažniji dio opreme jer bez njih, brod ne bi mogao ploviti. Nosili su jedra, te su prenosili silu vjetra na brod. Prolaskom vremena, razvitkom tehnologije i industrije, jedra su zamijenjena pogonskim motorima. Međutim zbog porasta troškova goriva koji je potreban za pogon, ali i da se sačuva okoliš i zrak, jedra i jarboli se ipak vraćaju kao rezervno rješenje.

7.1. Jarboli na suvremenim brodovima

Na suvremenim brodovima, jarboli danas najčešće služe kao dio teretnog uređaja. Pričvršćeni na palubi, služe za dizalice, postavljanje navigacijskih svjetla, te postavljanje antena elektroničkih uređaja. Iako su klasični jarboli iš čezli, na brodu je zadržan glavni jarbol koji je postavljen iznad zapovjedničkog mosta, ali i prednji jarbol koji se nalazi na pramcu, točnije na kaštelu. Oba ova jarbola imaju važnu zadaću, kad je u pitanju noćna navigacija, jer su na njih postavljena bijela jarbolna svjetla koja svijetle u luku obzorja od 225°. Također, ovi jarboli služe za postavljanje zastavica, te su na njih postavljene antene elektroničkih uređaja, palubna rasvjeta, sustav komunikacije itd.

7.2. Nova tehnologija

Kao što se već moglo zaključiti, danas su jarboli i jedra u nekim područjima pomorstva prošlost, a u nekima su postavljeni kao rezervni pogon. Naravno, koristeći vjetar kao pogon nije uvijek „plodonošno“, jer vjetar ne puše uvijek. Glavni razlog zašto su jarboli ponovno postavljeni na brodove je trošak i zaštita okoliša. Danas su zastupljeni na brodovima najviše dizelski motori. Međutim porastom cijene goriva i zbog negativnog utjecaja na okoliš, brodari, ali i ostali svijet pomorstva traže jeftinije rješenje koje će im pomoći kod uštede. Tako su našli rješenje koristeći vjetar:

Jarboli: Potražnja za jarbolima, upravo zbog razloga koji je gore naveden. Prema „Mitsubishi corporations“ ovi jarboli smanjuju potrošnju goriva, ali pomažu u zaštiti morskog okoliša. Točnije rečeno, s ovim jarbolima, emisije i zagađanje zraka s CO₂ (ugljičkov dioksid) je nemoguće. Prvi brod s ovim jarbolima je „Pyxis ocean“ kompanije Cargill (Slika 33).

Na brod, koji je dug 229 m, širok 32.26 m i s gazom od 8.6 m, postavljena su dva čelična jarbola visoka 37,5 m (123 stope), a na njih su postavljena dva dodatna krila, odnosno površine od stakloplastike. Kako je vjetar „besplatno gorivo“, te kad se koriste ovi jarboli, procjenjuje se smanjenje potrošnje goriva za 30%, to jest može se uštedjeti 1.5 tona goriva po jarbolu za jedan dan. Točnije rečeno, pošto su dva jarbola na brodu, uštedjeti će se 3 tona goriva po danu. Velika još prednost kod ovih jarbola je ta što se mogu namjestiti, ovisno o vjetru (projectchek, 2023.).



Slika 33: Brod Pyxis Ocean (izvor: internetska stranica projectchek.eu)

Razvojem kompozitnih materijala, karbona i kevlar, te razvijanjem jarbola i njihova jedra, svjedoci smo zapanjujućih rezultata na prestižnim svjetskim regatama. Današnje jedrilice su brže od vjetra i razvijaju veće brzine od samog vjetra iako plove niz vjetar. Svojom brzinom stvaraju prividni vjetar koji uvijek dolazi iz čeonih smjerova, te ne koriste jedra za jedrenje niz vjetar. Maksimalne brzine ovakvih jedrilica dosežu nevjerojatnih 50 čvorova. Istina, one nemaju podvodni dio pri takvim brzinama jer glisiraju na tkz. „foilima“ i praktično nemaju istisninu, ali svejedno teško je zamisliti da se krećeš na vjetar, upravljajući svojim kursom brzinom od skoro 100 km na sat, a brzina vjetra pri tom doseže 50 km/h (Yachtingworld, 2016.). Razvijajući se postupno, ovakvi jarboli s jedrima neće biti sklopivi već će koristiti energiju prividnog vjetra i kad stvarnog vjetra nema ili je u suprotnom smjeru od kretanja broda. Koristeći kretanje broda dobivenog pogonskim motorom i promjenjivom geometrijom oblika jarbola i jedara, slično kao kod avionskog krila, tehnologija koja je korištena na Americans cup-u 2015. i 2017. Ova će tehnologija tražiti minimalne promjene kursa i da će tu doći do velikog preokreta u navigaciji, koja više neće ići najkraćim putem već koristiti najpovoljniji kurs u odnosu na vjetar. Razvojem današnje meteorologije i elektronske navigacije, vjerojatno će se, u bliskoj budućnosti, dolaziti i brže i jeftinije i ekološki prihvatljivije do cilja ne ploveći ortodromom, već stalnim mijenjanjem kurseva.

-čelični stupovi: Druga tehnologija koja uvelike također pomaže kod smanjenja potrošnje goriva i zagađenja donosi kompanija „Norsepower“. Postavljanjem 2 vertikalna stupa na brodove (Slika 34), koji se zbog vjetra okreću, potrošnja goriva i zagađenje se smanjuje za 5-20%, te koriste minimalnu količinu struje, uz vjetar, za vrtnju. Danas ovi stupovi mogu biti postavljeni na bilo koji brod bez obzira na njihov teret koji prevoze. Do sad se moglo vidjeti ovakvih stupova na tankerima, brodovima za prijevoz rasutog tereta, kruzerima odnosno putničkim brodovima, RO-RO brodovima, trajektima itd. Primjer za smanjivanje potrošnje prema simulatoru „Norsepower kompanije: Ako brod s ovim jedrima modela 18x3, putuje brzinom od 12 čvorova od New Yorka Nizozemske i natrag, može uštedjeti 98.93 tone goriva, 94.77 kW struje i može smanjiti zagađenje zraka s CO₂ za 308.08 tona (Nefco, 2022.).



Slika 34: Cilindrični vertikalni stupovi na brodu (izvor: internetska stranica Nefco)

-Kite sail: Kompanija „Beluga projects“ osmišljava jedro u obliku padobrana koji je uhvaćen za jarbol na pramcu, te se na taj način brod može pogoniti uz pomoć vjetra (Slika 35). Brzina vjetra je veća na većim nadmorskim visinama gdje je i efektivnija. Zbog toga, ovaj „padobran“ je povezan sa 700 metara kabela, upravo zbog toga da uhvati vjetar na većim nadmorskim visinama. Putem ovog kabela moguće je također dobiti podatke o vjetru (Wired, 2008.). Let ovog „padobrana“ kontrolira sustav autopilota koji je postavljen na palubi, a potrošnja goriva i zagađenje zraka se smanjuje za 20%. Koristeći ovu tehnologiju 8 sati dnevno, s vjetrom jačine 5 prema beaufortovoj ljestvici, brod može uštedjeti 2.5 tone goriva. „Padobrani veličine 600m², mogu uštedjeti i do 30 %, ali veličina će ovisiti o brodu (Shiptechnology, 2008.).



Slika 35: Jedro u obliku padobrana postavljen na pramčanom jarboli (izvor: internetska stranica Wired)

8. Zaključak

Jarbol je sklopljen „sustav“, koji sa svojom oputom i jedrima, podnosi velike vanjske sile. Vanjske sile su vjetar, valovi i morske struje. Pravilan oblik jarbola može podnijeti veliku jačinu i bilo koji smjer vjetra, te njegove nagle promjene. Nepravilan oblik jarbola je izuzetno opasna stvar. Neodržavanjem jarbola i ne uzimajući u obzir njegov nepravilan oblik, dolazi do pucanja opute, pa onda i pad ili puknuće jarbola.

Jedriličar, uz oblik jarbola, mora znati sile koje djeluju na jedro, te će tako izvući maksimalno od jedara i samog broda. Svaka jedrilica je drukčija. Svaki trup jedrilice je drukčiji, što može utjecati na stabilnost i uspravljanje, ali princip jedrenja je isti.

Također je bitno održavanje opreme na brodu. Ta oprema je dio sustava za jedrenje, pa bez toga jedrenje nije moguće. Redovan servis vitla, mijenjanje istrošenog konopa, provjera kočnica i tračnica potrebno je provjeravati da ne dođe do pucanja.

Na velikim trgovačkim brodovima, jarboli su dio teretnog uređaja. Na njih su postavljene samarice za ukrcaj, iskrcaj i premještanje tereta, a također su još postavljena navigacijska svjetla i antene raznih uređaja. Vidjeli smo da je kompanijama danas velik problem cijena goriva. Naime, porastom cijene goriva, tražilo se neko rezervno rješenje, koje će brodovi koristiti na otvorenom moru. Tako se našlo rješenje ponovno u jarbolima, visokim cilindrima i jedro u obliku padobrana koji se postavlja visoko ispred broda. S ovim rješenjima se smanjila potrošnja goriva za 20-30%, ali i zagađenje zraka.

Kao što su jedrenjaci bili vrlo brzo istisnuti sa svjetskih mora motornim brodovima, tako je i za očekivati i da će motorni brodovi ustupiti mjesto brodovima koji će imati „hibridni pogon“. Ovdje se ne misli samo na motorni pogon i vjetar već i na elektromotore čije baterije mogu biti punjene vjetrom i Suncem. Interes čovječanstva je bitan, a dolazeći do nove tehnologije, dolazimo i do najboljih rješenja. Bitno je da nova tehnologija omogući brzu, sigurnu, ekološki prihvatljivu i ekonomski prihvatljivu plovidbu, jer ploviti se mora...

9. Literatura

Simović, A.T. (2004.) Mornarske vještine. Školska knjiga, Zagreb.

Marnika, F. (1999.) Stabilnost broda. Znanje d.d., Zagreb.

Ell, S. (2004.) Sportsko jedrenje, hrvatsko izdanje. Znanje d.d., Zagreb.

Delić, S. (2008.) Oprema krstaša, Biblioteka More, Zagreb.

Selden (2007.) Hints and advice in rigging and tuning of your Selden mast. Selden Mast AB, Sweden.

Zelić, A. (2019.): Fizika jedrenja.

<https://zir.nsk.hr/islandora/object/pmfst:821/datastream/PDF/view>, (pristupljeno: 23. 04. 2024.)

Vitaljić, S. (2019.): Stabilitet. <https://regate.com.hr/index.php/strucna-literatura/bit-brzi/37-1-zasto-se-jedrilica-krece-prema-naprijed/593-1-4-stabilitet>, (pristupljeno: 23.04. 2024.)

Kozličić, M. (2017.): Brodovi na vesla i jedra. <https://tehnika.lzmk.hr/brodovi-na-vesla-i-jedra/>, (pristupljeno: 25.04. 2024.)

Cargill (2024.): first wind-power ocean vessel's maiden voyage.

<https://www.cargill.com/2024/first-wind-powered-ocean-vessel-maiden-voyage>, (pristupljeno: 02. 05. 2024.)

Norsepower (2012.): Norsepower rotor sails. <https://www.norsepower.com/homepage/>, (pristupljeno: 02. 05. 2024.)

Ship technology (2008.): MS Beluga SkySails-Cargo Ship. <https://www.ship-technology.com/projects/msbelugaskysails/?cf-view>, (pristupljeno: 02. 05. 2024.)

Portal Cruisemapper: https://www.cruisemapper.com/ships/Royal-Clipper-808#google_vignette (pristupljeno: 09. 05. 2024.)

Portal yachtingworld.com: <https://www.yachtingworld.com/features/what-will-foiling-do-for-you-70244> (2016.)(pristupljeno: 09. 05. 2024.)

Portal projectchek.eu: <https://www.projectchek.eu/blog-posts/pyxis-ocean-sets-sail> (2023.)(pristupljeno: 09. 05. 2024.)

Portal Nefco: <https://www.nefco.int/news/norsepower-receives-financing-from-nefco/> (2022.)
(pristupljeno 09. 05. 2024.)

Portal Wired: <https://www.wired.com/2008/01/kite-powered-fr/> (2008.)(pristupljeno 09. 05.
2024.)

ABS (2023.): Masts and Rigging Arrangements on Sailing Yachts

Sažetak:

Pomorstvo mijenjalo kroz vrijeme, a mijenja se i danas. Od debla za koje je čovjek shvatio da pluta, pa do danas kad postoje brodovi koji prevoze velike količine tereta. Tako se kroz vrijeme mijenjao i pogon broda. Danas se brodovi kreću u velikoj većini uz pomoć pogonskih motora, ali se također eksperimentalno koristi vjetar kao rezervno ekološko rješenje. Jarboli su danas zastupljeni na jedrilicama za krstarenja, regatnim jedrilicama, jedrenjacima i na mnogim drugim sličnim tipovima brodova. Jarbol je sklopljen sustav, napravljen najčešće od aluminija zbog naprezanja i djelovanja sila, te koji stoji uspravno uz pomoć opute. Postoje razne vrste i izvedbe jarbola, ali je kod svih jarbola bitan oblik. Uz pomoć te opute moguće je namjestiti njegov oblik, što je važno prilikom jedrenja. Zanemarivanjem oblika jarbola ili zbog ljudske nepažnje i greške, može doći do pada i loma jarbola. Također, uz jarbol su postavljeni mnogi elementi koji uvelike olakšavaju upravljanje prilikom jedrenja. Konopi koji idu kroz jarbol, tračnice, kočnice, te dolaze na vitlo samo su neki od elemenata koji mogu biti postavljeni uz jarbol. Jarbol također može utjecati na stabilnost broda, ali za razliku od broda bez jarbola, prilikom djelovanja vanjskih sila i nagnuća većim od 12° , jedrilica će ostati stabilna. Razlog tomu je oblik trupa i kobilice. Na velikim brodovima jarboli postoje i danas, ali nisu postavljeni kao pogon, nego su dio teretnog uređaja te su na njih najčešće postavljene dizalice. Uz dizalice, mogu biti postavljena navigacijska svjetla, te antene raznih uređaja. Danas se jarboli vraćaju na velike brodove, ali i kao rezervni pogon. Porastom cijena goriva, brodske kompanije su pronašle rješenje upravo u jarbolima, pomoću kojih brodovi mogu ploviti određeni dio putovanja bez korištenja pogonskih motora, te tako smanjiti potrošnju goriva i zagađenje zraka.

Ključne riječi: brod, jarbol, stabilnost, oputa, oprema, vanjske sile, nove tehnologije

Title: Ship masts

Abstract:

Through the history, seamanship has been changing, and it is changing today. From the trunk that a man realized that is floating, to this day, where ships are transporting a huge amount of cargo. Today, ships are sailing with engines, but the wind is also used as a backup solution. Masts are mostly present on chartered sailing boats, racing sailing boats, sailing ship and on many others. Mast is assembled system, made generally from aluminium due to strain forces, and which stands upright because of rigging. There are many types of the masts, but for all types, form of the mast is very important. Because of the rigging, it is possible to adjust the form of the mast, which is important for sailing. Ignoring this form or because of human carelessness and error, mast may fall or break. Also, around the mast, are some elements, which make sailing easier for sailor. Ropes inside the mast, „rail“ for tacking, stopers and winch are just some of those elements which can be installed by the mast. Mast can also affect the stability of the ship, but unlike the ship without the mast, during action of the forces and above 12° listing angle, sailing boat will remain stable. Due to its form of the hull and keel. On big ships, mast are still in use. They are part of cargo equipment and usually cranes are placed on them. Also, navigation lights and ships devices antennas are also placed on the mast. Today, masts are back on big ship as a backup propulsion. Because of fuel prices, masts are backup solution for shipping companies. Because of these masts, ships can sail a certain part without using engine. Because of that, fuel consumption and air pollution decreases.

Key words: ship, mast, stability, rigging, deck equipment, external forces, new technologies