

# Metoda povećanja energetske učinkovitosti broda

---

**Percan, Mateo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Polytechnic Pula - College of Applied Sciences / Politehnika Pula - Visoka tehničko-poslovna škola s pravom javnosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:117216>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-23**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



**POLITEHNIKA PULA**  
**VISOKA TEHNIČKO - POSLOVNA ŠKOLA**

**KOLEGIJ: ELEKTROTEHNIKA**

**MATEO PERCAN**

**METODE POVEĆANJA**  
**ENERGETSKE UČINKOVITOSTI BRODA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Pula, 2015.**

**MATEO PERCAN**

**Završni rad**

**METODE POVEĆANJA  
ENERGETSKE UČINKOVITOSTI BRODA**

**Politehnika Pula**

**Mentor: Mr.sc. Radovan Jokić**

**Komentor: Dr.sc. Goran Zgrablić**

**Pula, 2015.**

## SAŽETAK:

Mjerenje energetske učinkovitosti brodova postala je neophodna aktivnost iz mnogobrojnih razloga od kojih je najbitniji smanjenje zagađenje okoline. Budući da naftni derivati u današnje vrijeme gotovo u potpunosti pokreću sve vrste prometa a koji su vrlo štetni za okolinu potrebno je razviti tehnologiju i metode smanjenja potrošnje energije, goriva, emisije štetnih plinova, smanjenje rute plovnog puta, smanjenje otpora broda, kao i povećanje korisnosti propulzije, odabira najefikasnije brzine broda upravo iz razloga što Svijetu slijedi vrhunac naftne proizvodnje gdje će u budućnosti nafte biti sve manje.

Ključne riječi: Mjerenje energetske učinkovitosti broda, alternativni izvori energije za pogon, zagađenje okoline, ispuštanje štetnih plinova u atmosferu, vrhunac naftne proizvodnje, najnovije tehnologije za energetske učinkovitost broda.

Measuring the energy efficiency of ships has become a necessary activity for a number of reasons, of which the most important is reducing environmental pollution. Since oil products that are very harmful to the environment at the present time almost entirely driven by all modes of transport it is necessary to develop technologies and methods to reduce consumption of energy and fuel emissions, shorten waterway routes, reducing the resistance of the ship, as well as an increase in utility propulsion, selecting the most efficient boat speed just for the reason that the world follows the culmination of the oil production in the future where there will be less oil.

Keywords : Measuring the energy efficiency of the ship, alternative sources of energy to operate, pollution, emissions into the atmosphere, the peak of oil production, latest technologies for energy efficiency of the ship.

## SADRŽAJ:

1. UVOD .....	1
1.1. Opis i definicija problema .....	2
1.2. Cilj rada .....	2
1.3. Svrha rada.....	2
1.4. Hipoteza rada.....	2
1.5. Metoda rada.....	2
1.6. Struktura rada .....	2
2. ENERGETSKA EFIKASNOST I VRHUNAC NAFTNE PROIZVODNJE.....	3
2.1. Općenito o energetskej efikasnosti .....	3
2.2. Energetska efikasnost u brodogradnji .....	4
2.3. Utjecaj broda na okoliš.....	7
2.4. Vrhunac naftne proizvodnje.....	10
3. TEHNOLOGIJE I METODE ZA POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI.....	12
3.1. Propulzija broda .....	12
3.2. Materijal .....	14
3.3. Propeler .....	15
3.4. Kavitacija .....	17
3.5. Trup .....	19
3.6. Boje, lakovi .....	22
3.7. Usporedba standardnog i energetski učinkovitog broda.....	25
4. NAJNOVIJE TEHNOLOGIJE ZA ENERGETSKU EFIKASNOST BRODA.....	28
4.1. Zmajevi, padobrani .....	28
4.2. Solarni paneli.....	29
4.2.1. Sustav foto naponskog izvora energije .....	29

4.2.2. Solar Sailor.....	30
4.3. Otpadne topline .....	30
4.4. Najnovije tehnologije za energetska učinkovitost broda.....	31
5. MJERENJE ENERGETSKE UČINKOVITOSTI .....	344
5.1. Učinkovito upravljanje potrošnje goriva na brodu .....	354
5.2. Metode i koncepti smanjenja potrošnje .....	355
5.3. Koeficijent brodske forme.....	366
5.4. Korisnost propulzije .....	376
5.5. Proračun metodom konačnih elemenata .....	398
6. ZAKLJUČAK.....	39
POPIS LITERATURE.....	40
POPIS SLIKA.....	421
POPIS TABLICA .....	432
POPIS GRAFIKONA.....	432

# 1. UVOD

Povijest čitavog svijeta i svih stoljeća dokazuje da je more, a time i brodarstvo, bilo uvijek izvor blagostanja, moći, ugleda, kulture svih pravih pomorskih naroda.

Brod je prešao golem put od razvoja do splavi, primitivnih čamaca, danas modernih preookeanskih brodova do brodova na atomski pogon. Načini gradnje brodova bili su za svaku civilizaciju u tom trenutku razvoja određeni njihovom namjenom. Trebalo je osigurati potreban materijal, alat i radnu snagu. Najprikladniji materijal koji je nudila priroda za gradnju, bilo je drvo.

Egipćani su prvi zašli u srž gradnje broda, zatim Feničani te Grci i napokon, Rimljani. U daljnjem razvoju brodarstva na Mediteranu Mlečani imaju primat. Otkrićem novog kontinenta, brodarstvo seli sa Mediterana na zapadnu i jugozapadnu obalu Europe. Najznačajnije sile toga doba bile su Portugal i Španjolska, zatim Engleska te Nizozemska.

Do otkrića Amerike plovidba se odvijala uglavnom uz obalu i u zatvorenim morima. Za takvu plovidbu bili su dovoljni i prikladni mali i slabije opremljeni brodovi. Poslije otkrića Amerike, nastupila je prava trka po bespućima još neotkrivenih i nedovoljno istraženih oceana i mora. Zaključuje se da je razvoj carstva bio uvjet razvoja pomorskog prometa.

Posebni zamah razvoja brodarstva dao je prijelaz s manufakture na industrijsku proizvodnju. Nastaje potreba za povećanim, do tada neslućenim prometom, koji je postao uvjet ekonomskom, i ne samo njemu,razvoju svijeta,bez kojeg se on ne bi mogao ni zamisliti.

**Slika 1:**Magellanova ruta



Izvor: <http://www.skole.hr> (20.5.2015)

## **1.1. Opis i definicija problema**

Zalihe nafte u svijetu će biti sve manje. Tehnologija nije još dovoljno razvijena da brod pokreće pogon koji nije na fosilna goriva. Glavni problem također je otpuštanje štetnih plinova u atmosferu koji zagađuju okoliš.

## **1.2. Cilj rada**

Cilj ovog završnog rada je proučiti metode i tehnike izgradnje broda za uštedu energije koju brod troši te prikazati usporedbu klasičnog i energetske učinkovitog broda.

## **1.3. Svrha rada**

Svrha rada je upoznati se s novim tehnologijama za energetske efikasnost koje će se u skorije vrijeme početi sve više primjenjivati.

## **1.4. Hipoteza rada**

Prikazanom novom tehnologijom kod energetske učinkovite proizvodnje broda dokazati ćemo velike uštede energije.

## **1.5. Metoda rada**

- Metoda analize,
- Metoda deskripcije,
- Grafička metoda,
- Matematička metoda i
- Metoda kompilacije.

## **1.6. Struktura rada**

U prvom poglavlju završnog rada dan je uvodni dio koji potiče čitatelja na samu temu završnog rada, to jest upoznaje ga s glavnim podtemama rada.

U sljedećem poglavlju opisane su energetske efikasnosti u brodogradnji, štetnost fosilnih goriva na eko sustav, navedene su države s najvećim zalihama nafte te je dana Hubbertova krivulja koja nam prikazuje vrhunac naftne proizvodnje.



Treće poglavlje nam govori o tehnologijama i metoda za povećanje energetske efikasnosti. Opisani su razni elementi broda poput propulzije, materijala, propelera koji služe za smanjenje otpora, to jest potrošnje goriva.

U četvrtom poglavlju navedene su najnovije tehnologije koje se koriste danas za energetske efikasnost broda.

Predzadnje poglavlje predstavlja mjerenje energetske učinkovitosti gdje su dani razni koeficijenti i formule za proračun.

U zadnjem poglavlju dan je zaključak na temu ovog završnog rada, te se nalaze popis literatura, slika, grafikona i tablica.

## **2. ENERGETSKA EFIKASNOST I VRHUNAC NAFTNE PROIZVODNJE**

U ovom poglavlju dan je opis energetske efikasnosti u brodogradnji, opisan je utjecaj broda i pogonskih goriva na okoliš te je prikazan vrhunac naftne proizvodnje.

### **2.1. Općenito o energetskej efikasnosti**

Kada se govori o energetskej učinkovitosti onda prvo treba navesti zakon RH o energetskej učinkovitosti. Tim se zakonom uređuje područje učinkovitog korištenja energije, donošenje planova na lokalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini za poboljšanje energetske učinkovitosti te njihovo provođenje, mjere energetske učinkovitosti, utvrđivanje uštede energije te prava potrošača u primjeni mjera energetske učinkovitosti.

Energetska efikasnost smatra se kao suma isplaniranih i provedenih mjera čiji je cilj korištenje minimalno moguće količine energije tako da razina udobnosti i stopa proizvodnje ostanu očuvane. Ne podrazumijeva se štednja energije kojom bi se narušila proizvodnja, udobnost, sigurnost ili bilo koja izlazna veličina procesa. Energetska učinkovitost ne narušava uvjete rada već povećava omjer dobivenog i uloženog.

Osim što se povećanjem energetske učinkovitosti smanjuju troškovi, jedan od glavnih razloga okretanju povećanju energetske učinkovitosti su ekološki razlozi tj. smanjenje onečišćenja i zagađenja okoliša. Energija se još uvijek uvelike dobiva iz fosilnih goriva kao što su ugljen, nafta i naftni derivati te plin, koji prilikom uporabe imaju lošu stranu, a to je ispuštanje štetnih plinova, tvari i čestica. Naravno osim u brodogradnji, energetska učinkovitost može se provoditi u raznim poslovima, aktivnostima, procesima. Veliki značaj energetske učinkovitosti sve se više posvećuje i zgradarstvo gdje se uvelike smanjuje potrošnja grijanja pomoću novijih vrsta fasada.

Najveći značaj energetske učinkovitosti trebala bi shvatiti industrija, koja je među najvećim zagađivačima prirode današnjice. Zatim energetska učinkovitost u prometu (brodski, kopneni i zračni promet) koji su isto među većim zagađivačima zbog ispuštanja CO<sub>2</sub>. Velike potrošnje električne energije imaju i kućanski aparati kojih se u današnje vrijeme porastom stanovništva i ubrzanom načinom života sve više koriste. Da bi se lakše provodila energetska učinkovitost u svijetu treba educirati stanovništvo počevši od najmanjeg sela, općine, županije, države, kontinenta do globalne razine kako bi svi skupa najlakše zaštitili naš planet a pritom spojili ugodno s korisnim gdje bi potrošnja električne energije i fosilnih goriva znatno smanjila. Drugi način da se smanji potrošnja energije je financiranje u različite studije koji proučavaju energetiku.

## **2.2. Energetska efikasnost u brodogradnji**

Budući da se brodovi općenito koriste za duže relacije kao što su npr. prekooceanske rute, iznos potrošnje goriva je primarna stavka na koju bi se trebalo obratiti pozornost u budućnosti brodogradnje .

Poboljšanjem dijelova broda kao što su propeler, motorni pogon, trup broda, oblik palube, materijal, kao i niz drugih faktora pokušava se smanjiti potrošnja goriva na minimum. Isto tako razvitkom tehnologije omogućit će se lakši plovni put (npr. izbjegavanje jačih morskih struja, vjetera, valova...) jer je i priroda jako bitan faktor u brodogradnji. Npr. u usporedbi sa arhitekturom gdje je osnova statika u brodogradnji je dinamika i razne sile koje djeluju kako u samoj izradi broda tako i na njegovom plovnom putu.

Manji zahtjevi u samoj izradi energetske učinkovitog broda bili bi razne boje lakovi i premazi da bi brod što lakše klizao po morskoj površini, zatim razni filteri za zrak i vodu,

cijevi, ispušni ventili, žice i kablovi koji spajaju kontrolnu točku sa pogonskom stanicom i još podosta sitnijih zahtjeva na svakom dijelu broda.

Gledajući kao pomoć brodu da efikasnije savlada put sve se više proučavaju i kreiraju razni padobrani, zmajevi i jedra koji uz pomoć vjetra daju pogon brodu gdje se isto tako u određenim trenucima motorni pogon broda može ugaziti i tako maksimalno smanjiti potrošnju goriva. Sam brod ima podosta sustava da bi uopće funkcionirao. Jedan od bitnih za energetska učinkovitost bio bi sustav zračnog podmazivanja koji smanjuje otpor kretnji broda. To je inovativnija tehnologija kojom se smanjuje trenje koje nastaje između površine vode i oplata broda gdje se puštanjem mjehurića zraka između vode i broda ubrzava brod. Za to su zaslužni zračni kompresori na pramcu broda koji ispušta mjehuriće zraka pod vodom. Da bi ova tehnologija bila upotrebljiva potreban je adekvatan dizajn oplata broda pogotovo dno broda koje bit trebalo biti što plosnatije. Zamišljeno je da bi se korištenjem ove tehnologije uspjelo smanjiti 10-15% emisije ugljičnog dioksida u atmosferu, te ujedno i uštedjeti gorivo.

Važno je za reći da je kod ove tehnologije bitno da dovod mjehurića mora biti kontinuiran i konstantan. Dizajn broda na krmi od izuzetne je važnosti kako sloj zračnih sloj zračnih mjehurića ne bi ometao rad propelera i kormila te stvarao neželjenu kavitaciju i ostale smetnje koje bi utjecale na energetska učinkovitost broda. Ova tehnologija izvediva je samo za određene vrste brodova kao što su transportni brodovi koji imaju ravno dno. Za brodove koji imaju zakrivljeno dno ova tehnologija je neupotrebljiva.

**Slika 2:** Peklenica-prvo naftno polje u svijetu



Izvor: <http://www.mursko-sredisce.hr>. (25.5.2015)

**Tablica 1: Najveći potrošači nafte**

<b>R.B</b>	<b>Država</b>	<b>Potrošnja (u milijunima barela) - dnevno</b>
1.	Sjedinjene Američke Države	19.7
2.	Japan	5.4
3.	Kina	4.9
4.	Njemačka	2.71
5.	Brazil	2.38
6.	Rusija	2.2
7.	Kanada	2.0
8.	Indija	2.0
9.	Francuska	1.96
10.	Meksiko	1.93
11.	Italija	1.87
12.	Velika Britanija	1.7
13.	Španjolska	1.5
14.	Saudijska Arabija	1.36
15.	Indonezija	1.02

Izvor: <http://www.vizijadanas.com>. (29.5.2015)

**Tablica 2: Zalihe nafte**

<b>R.B.</b>	<b>Države</b>	<b>Zalihe(milijarde barela)</b>
1.	Saudijska Arabija	264.2
2.	Ujedinjeni Arapski Emirati	97.8
3.	Iran	98.7
4.	Rusija	48.6
5.	Libija	29.5
6.	Kina	24
7.	SAD	22.4
8.	Katar	15.2
9.	Norveška	9.4
10.	Alžir	9.2
11.	Brazil	8.4
12.	Oman	5.5
13.	Angola	5.4
14.	Italija	5.4
15.	Kazahstan	5.4

Izvor: <http://www.vizijadanas.com>. (29.5.2015)

## Zanimljivost:

U Venezueli stanovnici vide jeftin benzin kao svoje pravo. Benzin je toliko jeftin da se njegovo krijumčarenje smatra unosnijim poslom od krijumčarenja droge. Obzirom da u susjednoj im Kolumbiji, benzin košta više od 40 puta više, jasno je zašto je krijumčarenje benzina tako unosno.

## 2.3. Utjecaj broda na okoliš

Kod energije utjecaj na okoliš je gotovo uvijek negativan, od direktnih ekoloških katastrofa poput izlivanja nafte, kiselih kiša i radioaktivnog zračenja do indirektnih posljedica poput globalnog zatopljenja. Najopasniji izvori energije trenutno su fosilna goriva, tj. ugljen, nafta i prirodni plin, a potencijalnu opasnost predstavlja i iskorišteno radioaktivno gorivo iz nuklearnih elektrana (visoko radioaktivni otpad). Fosilna goriva su opasna zbog toga jer sagorijevanjem ispuštaju velike količine ugljičnog dioksida, a radioaktivni otpad je opasan jer utječe na strukturu organizama na vrlo bazičnom nivou.

**Slika 3:** Eksplozija na platformi Deepwater Horizon



Izvor: <http://www.britannica.com>. (25.5.2015)

Eksplozija na "Deepwater Horizon" - platformi za podvodno bušenje naftnih izvora u Meksičkom zaljevu, 84km jugoistočno od obale Luizijane (S.A.D.), ubila je 11 zaposlenih.

Izvođač radova, kompanija **Transocean**, pod ugovorom za svjetskog naftnog giganta **British Petroleum**, kaže da nije bilo nikakvog prethodnog znaka upozorenja o opasnosti od eksplozije. Platforma je bušila izvor na dubini od oko 1525 m, pomičući dosadašnje granice tehnologije dubinskog bušenja izvora.

Veliki problem predstavljaju i eventualne havarije tankera prilikom kojih se velike količine nafte izlijevaju u oceane. Postoji više načina kako može doći do izljeva nafte od kvarova na opremi, ratova između država, terorističkih napada te ilegalnog izlijevanja nafte gdje se nastoje uštedjeti troškovi koje uzrokuje dekomponiranje otpada, te prirodnih uzročnika u vidu uragana koji mogu uzrokovati prevrtanje tankera. Izlijevanje nafte ima strašne efekte na čitav ekosistem pogođen izlijevanjem: ptice umiru ukoliko im se perje natope naftom jer se pokušavaju očistiti od nafte te tom prilikom dolazi do trovanja i ugibanja, a isto se događa i sa ostalim životinjama kada im nafta dođe u pluća ili jetra.

Najveće dosad zabilježeno izlijevanje nafte u oceane desilo se 1989 godine, a vezano je uz tanker Exxon Valdez i njegovo ispuštanje u more oko 42 milijuna litara sirove nafte. Ova ekološka katastrofa ostavila je golemog traga usprkos činjenici da je samo kompanija Exxon potrošila više od 2 milijarde dolara kako bi očistila more i obalu od zagađenja. Pokušaji čišćenja su bili loši po procjenama nekih stručnjaka, jer su deterdženti i razne kemikalije dodatno onečistili more. Da bi se čim više smanjio negativan učinak ekoloških katastrofa nastalih izlijevanjem ulja Američki Kongres je 1990. donio takozvani Ocean Pollution Act (OPA) u kojem je između ostalog naglasak na sljedećim stavkama: "svaki vlasnik tankera mora imati plan u slučaju eventualne katastrofe, a taj plan mora biti u pisanom obliku, tankeri moraju imati trup s dvostrukom oplatom, svaki vlasnik odgovara određenim iznosom za svaku tonu nafte koja se izlije, te da obalna straža uvijek mora znati i davati instrukcije tankeru kuda smije voziti kako bi se spriječilo izlijevanje".

No dokle god se inzistira na nafti kao primarnom energentu događat će se i havarije te onečišćenja oceana sa teškim posljedicama, iako spomenute mjere iz OPA programa predstavljaju pozitivne pomake u sprečavanju nastanka havarija tankera i ublažavanju već nastalih havarija.

**Slika 4:** La Coruna-Grčki tanker Prestige s oko 75.000 tona nafte

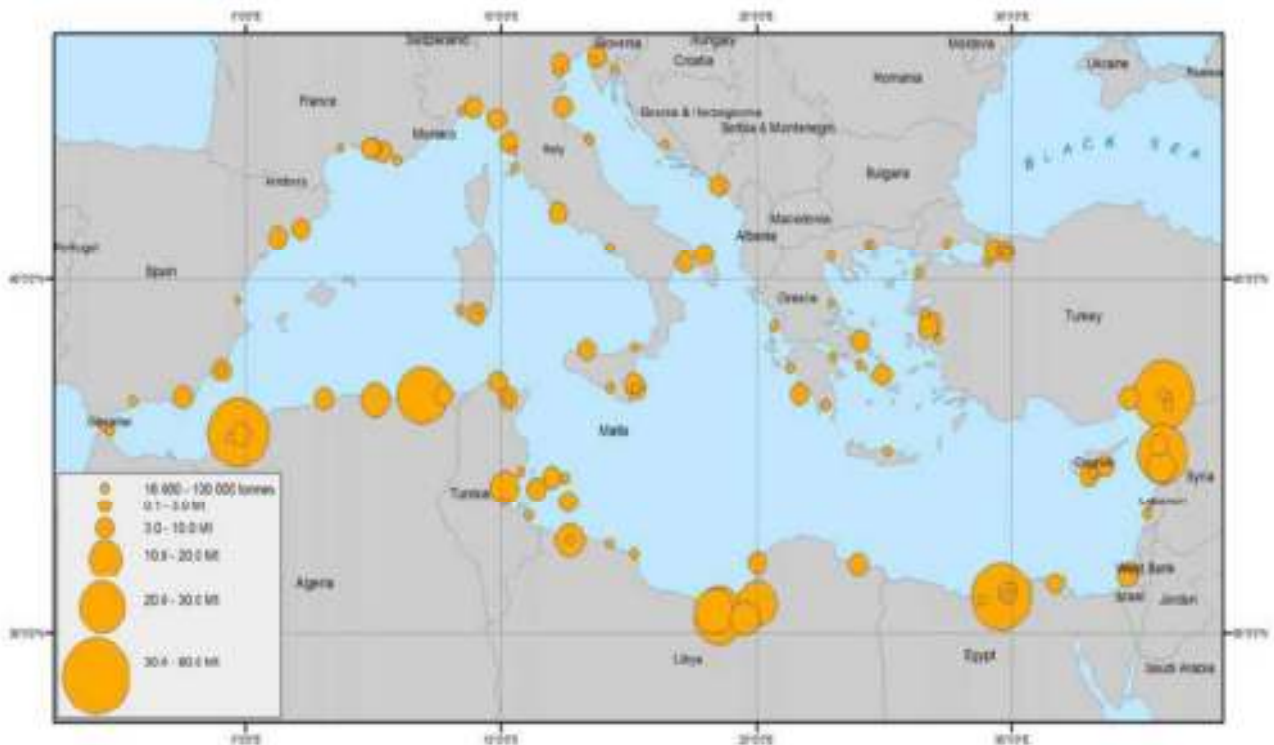


Izvor: <http://www.theguardian.com>. (27.5.2015)

### Balastne vode

Glavna problematika balastnih voda je unos neautohtonih biljnih i ribljih vrsta iz jednog specifičnog ekosustava mora u sasvim drugi na drugom kraju svijeta putem brodskog balasta posljedice se odnose na :morski biljni i riblji svijet (nestanak pojedinih vrsta ili nekontrolirano razmnožavanje drugih vrsta) - trajni poremećaj ravnoteže ekosustava određenog područja - komercijalne ljudske djelatnost uz more i priobalje - kvalitetu življenja uz more i priobalje - do sada još nije pronađeno kvalitetno rješenje za neškodljiv i komercijalno prihvatljiv tretman balastnih voda. Balastna voda može sadržavati tekuće i čvrste nečistoće različitog sastava te žive ili uginule morske organizme. Kako se brod balastira relativno čistom vodom, nečistoće, u pravilu, nisu veći onečišćivači. Međutim, morski organizmi mogu biti izuzetno opasni kada se balastnom vodom prenesu u akvatorij u kojem nisu domicilni.

**Slika 5:** Najčešća mjesta ispuštenih balastnih voda u Mediteranu



Izvor: <http://www.unidu.hr>, (27.5.2015)

## 2.4. Vrhunac naftne proizvodnje

Vrhunac svjetske proizvodnje nafte nakon kojeg slijedi stalan pad do kraja zaliha neizbježan je i dolazi uskoro, upozoravaju naftni geolozi. Nakon toga moguć je krah suvremenog gospodarstva zbog nedostatka energije, ali i predviđanja ekonomista da će visoke cijene nafte jednostavno potaknuti globalno tržište da proizvede jeftinije zamjene. Neki ipak smatraju kako nafte ima dovoljno za globalne potrebe kroz veći dio 21. st. Postavlja se pitanje tko je u pravu. Hubertova krivulja može potvrditi dokaz o stvarnoj zalihi nafte.

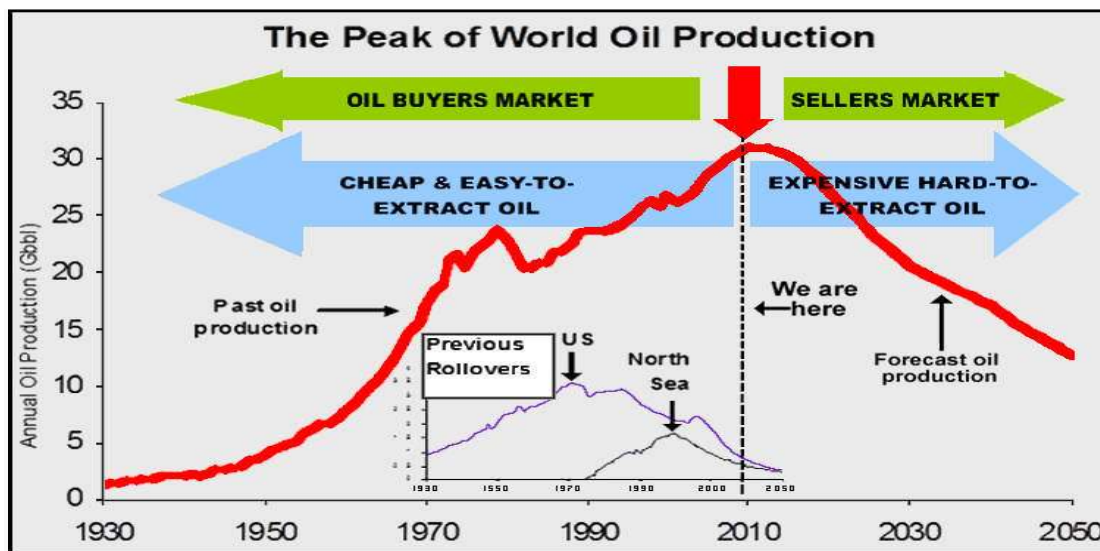
Proizvodnja nafte u regiji - države poput Saudijske Arabije, ili geografskog područja poput Sjevernog mora - kada se grafički prikaže ugrubo slijedi zvonastu krivulju (Hubertova krivulja) - **Hubertova teorija vrhunca** tvrdi da za svako zemljopisno područje, od pojedinog naftnog polja pa do planeta u cjelini, količina proizvedene nafte teži tome da slijedi zvonoliku krivulju. Pri početku krivulje (prije vrhunca), proizvodnja raste zbog ulaganja u infrastrukturu. Na kasnijem dijelu krivulje (nakon vrhunca), proizvodnja opada zbog iscrpljivanja izvora.



Polja koja se s lakoćom pronalaze, najčešće i najveća, idu prva u proizvodnju. Kumulativna proizvodnja se povećava kako raste i broj naftnih polja, i kako one dosežu svoju maksimalnu izdašnost. Kada resursi to dopuštaju, a tržište zahtijeva, također se pronalaze tehnički izazovnija polja uključuju u proizvodnju. S vremenom se sva lako dostupna polja pronalaze, a preostala zahtijeva skupe i složenije metode eksploatacije. Novootkrivenom naftnom polju obično treba više od tri godine, da započne sa slanjem nafte na globalnom tržištu, zakašnjenje na velikim poljima može biti dvostruko duže. Najveća količina nafte potječe i dalje iz klasičnih i bogatih naftnih polja s područja između južnog Urala i Arapskog poluotoka. Tamo gdje bušilice otvaraju nove lako dostupne izvore i čija se nafta jednostavno prerađuje. No stručnjaci računaju da je kod većine tih polja vrhunac njihove iskoristivosti već prijedan.

Nafta još uvijek ima, ali na većim dubinama i morat će se uložiti puno više vremena i novaca da bi se ta nafta uspjela preraditi i izvesti na svjetsko tržište. Dakako da će sav teret snesti krajnji potrošači, tj. cijena nafte će svakog dana sve više rasti i morat će se pronaći drugi i isplativi izvori energije. Dosta smo iskoristavali bogatstva zemlje a ništa joj nismo dali natrag. Morat ćemo postati mobilniji i snaći se u vremenima pred nama.

**Slika 6:** Vrhunac naftne proizvodnje, predviđeno je da će krivulja do 2015 stići do svog vrhunca a zatim slijedi pad



Izvor: <http://peakoilbarrel.com/>, (30.5.2015)

### 3.TEHOLOGIJE I METODE ZA POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI

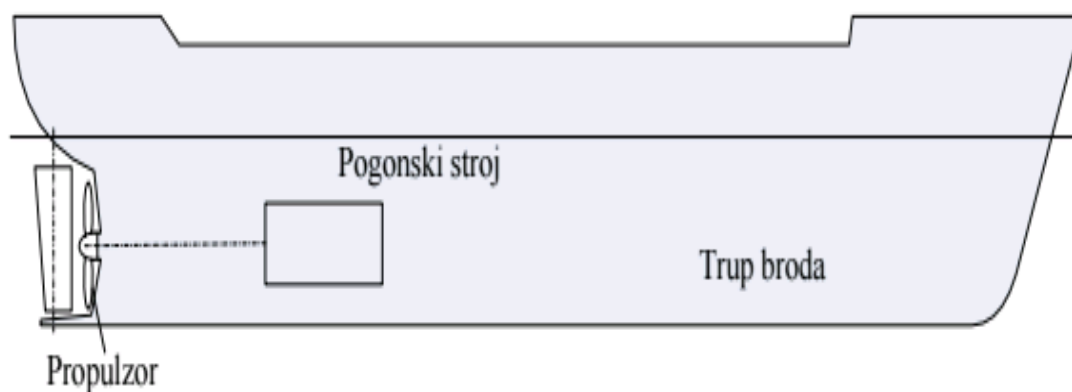
Mjerenje energetske efikasnosti brodova je neophodna aktivnost iz primarnog razloga a to je zagađenje okoline. Razvijanjem novih tehnologija i metoda gradnje broda taj se problem može smanjiti do potpunosti, ali isključivo da brodski pogon ne pokreće dizel. Glavni cilj tih tehnologija je povećanje energetske učinkovitosti u svrhu smanjenja potrošnje goriva brodova tj smanjenja ispuštanja štetnih plinova u atmosferu. Prije odluke za korištenje inovativnih tehnologija energetske učinkovitosti, potrebno je izvršiti ispitivanja kako bi se odredila isplativost ugradnje tih tehnologija. Kako su te tehnologije povezana sa vrstom forme oplata broda kao i sa vrstom propulzije koju će taj brod koristiti rezultati će varirati ne samo o vrsti tehnologija nego i o vrsti i namjeni broda.

#### 3.1.Propulzija broda

Propulzija broda ili svladavanje otpora (što je brod uži i viši manji je otpor) time je i potrošnja goriva manja.

Propulzijski sustav broda osigurava poriv brodu da bi sam brod savladao otpor. Propulzijski sustav sastoji se od: brodskog trupa, propulzora i pogonskog stroja.

**Slika 7:** Propulzor broda



Izvor: Brodosplit – Brodogradilište d.o.o. Split

Cilj propulzijskog sustava je da bude efikasan, to jest energija utrošena na gibanje broda mora biti što je moguće manja. Svaki tip pogona i propulzora imaju neke svoje prednosti i nedostatke, primjene i ograničenja, veličinu, cijenu i efikasnost.

Za ocjenu brodskog propulzijskog sustava zahtjeva znanje o:

- Potrebnog poriva (T) za postizanje brzine (V) i konverzija poriva u potrebnu snagu (P),
- Fizikalnih svojstava (procjena) i efikasnosti raspoloživih pogonskih sustava i
- Raznim tipovima propulzora i vezi propulzora i pogona.

**Tablica 3: Tipovi pogona**

TIPOVI POGONA	PREDNOSTI	NEDOSTACI
PARNI STROJ	<p>dobra kontrola kod raznih opterećenja</p> <p>laka promjena smjera</p> <p>brojevi okretaja odgovaraju broju okretaja propelera</p>	<p>vrlo teški, zauzimaju puno prostora</p> <p>ograničena izlazna snaga po cilindru</p> <p>velika potrošnja</p>
PARNA TURBINA	<p>isporučuju jednoliki okretni moment, dobre performanse za jedinice velike izlazne snage</p> <p>visoka toplinska efikasnost</p>	<p>nije reverzibilna</p> <p>visoki brojevi okretaja – reduktori</p>
DIZEL MOTORI	<p>razne veličine, ugradnja na male brodove i supertankere (manje od 100 hp do preko 30000 hp)</p> <p>visoka toplinska efikasnost</p>	<p>teški u usporedbama s plinskim turbinama</p>
PLINSKE TURBINE	<p>vrlo lagane</p> <p>pružaju kontinuirani pogon i trebaju vrlo kratko vrijeme zagrijavanja</p>	<p>skupi za održavanje</p> <p>trebaju reduktor za smanjenje broja okretaja</p>
NUKLEARNI REAKTORI	<p>ne trebaju lotao, masa goriva je vrlo mala</p> <p>moгу raditi pod punim opterećenjem jako dugo (podmornice)</p>	<p>težina reaktora i zaštitnog štita je velika</p> <p>potencijalni problem za okoliš/zagađenje</p>
ELEKTROMOTOR	<p>trenutna spremnost na pogon, jednostavan prijenos energije, laka pretvorba u druge oblike energije, neznatan utjecaj na okoliš</p>	<p>Opasnost od strujnog udara,</p> <p>Opasnost od izazivanja požara i eksplozije, osjetljivost na vlagu</p>
JEDRA I VESLA	<p>Potrebna samo fizička snaga i snaga vjetra (prirode) nema troškova</p>	<p>Ovisnost o vremenskim uvjetima</p>

Izvor: Brodosplit – Brodogradilište d.o.o. Split

Rad propulzijskog sustava s konstantnim brojem okretaja učinkovitiji je od rada sustava s čestim promjenama broja okretaja radi prilagodbe zahtijevanoj snazi. Prednost

automatiziranom sustavu upravljanja propulzijskim sustavom i elektronski upravljanim dizelskim motorima.

Na brodovima se uvijek susrećemo s dva različita načela rada motora. To su četverotaktni dizel-motori koji mogu biti glavni porivni strojevi i služe za pogon generatora, i dvotaktni dizel-motori koji su u pravilu glavni porivni strojevi.

## **3.2. Materijal**

Pri gradnji brodova danas se upotrebljavaju raznorazni materijali, ali kad govorimo o materijalima najčešće mislimo na čelik, zatim bakar, legure bakra, aluminij, staklene i plastične mase i drvo. Mogli bi kazati da su to osnovni materijali. Radi povećanja energetske efikasnosti potrebno je razmotriti što lakši i aerodinamičniji oblik materijala da bi brod potom postigao veću brzinu i trošio manje goriva.

### **Čelik**

Željezo koje sadrži 0,2-1,7 % ugljika i male količine silicija, mangana, fosfora ili sumpora. Prema količini ugljika i drugih primjesa čelik ima različita svojstva i strukturu. U brodogradnji se najviše upotrebljava meki čelik sastava: 0,17-0,23 % ugljika, 0,1-0,35 % silicija, 0,5-0,7 % mangana, najviše 0,06 fosfora, najviše 0,06 % sumpora. Taj se čelik dobiva po Siemens-Martinovu postupku.

### **Brodograđevni čelik**

To je zavarljivi brodograđevni čelik normalne i povišene čvrstoće pri izradbi toplo valjanih limova, širokih traka, profila i šipki namijenjenih za konstrukciju broskog trupa.

### **Svojstva materijala**

Materijali kojima se grade brodovi izvrnuti su naprezanjima pod utjecajem vanjskih sila, valova i slično. Tim silama oni se odupiru čvrstoćom svoje strukture. Ta struktura ima određena svojstva, koja se mogu podijeliti u mehanička, fizička i kemijska. Mehanička svojstva jesu čvrstoća, elastičnost, žilavost, tvrdoća, kovnost, livljivost i obradivost.

### 3.3. Propeler

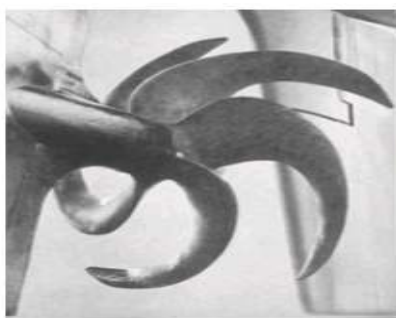
Propeleri dominiraju u propulzijskom sustavu brodova kao porivnici.

- Promjena gaze ne utječe značajno na rad,
- Ne oštećuje se lako,
- Smanjuje širinu broda i
- Dobra efikasnost uz pogon lakših strojeva.

Osnovni operativni parametri su:

- Brzina vrtnje,
- Broj krila: trgovački brodovi (4,5 ili 6), mali brodovi (2,3), ribarski(3), za sprječavanje širenje buke tj specijalni slučaj više od 7) i
- Najčešće se biraju tako da se izbjegnu frekvencije stroja, trupa, te za potrebu kontroliranja kavitacije.

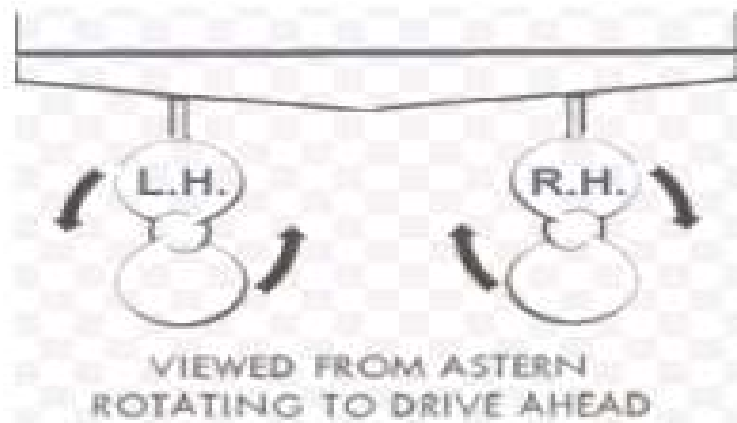
**Slika 8:** Brodski vijak



Izvor: <http://www.propelo.hr/> (15.7.2015)

Kod geometrije i terminologije propelera desnokretni propeler vrti se u smjeru kazaljke kada se gleda u krmu i pokreće brod prema naprijed, a lijevo okretni radi obrnuto tj. pokreće brod prema nazad.

**Slika 9:** Okretaji propelera



Izvor: [www.scam-marine.hr](http://www.scam-marine.hr) (17.7.2015)

### Osnovni pojmovi propelera:

- Tlačna strana krila: stražnja strana krila, kad se propeler giba prema naprijed,
- Usisna strana: strana nasuprot tlačne,
- Vrh krila je točka koja je najudaljenija od osi propelera,
- ulazni brid ili rub krila je onaj dio krila koji prvi „siječe“ vodu kod vožnje kretanja broda prema naprijed,
- Izlazni brid je brid koji je suprotan ulaznom bridu i
- Promjer propelera dvostruka udaljenost od osi do vrha.

### Nove inovacije

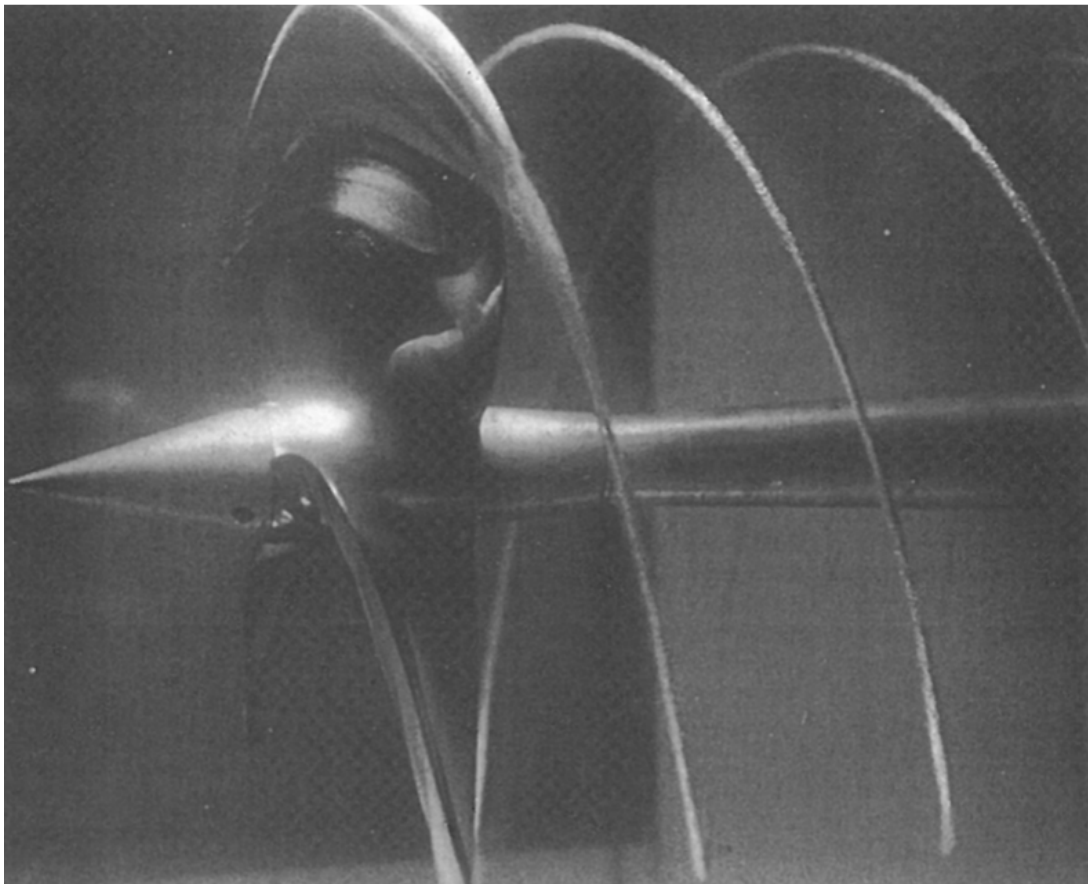
Pingvin-brod - umjesto propelera rabi dvije oscilirajuće lopatice koje se naizmjenično kreću naprijed natrag slično kako to ptice izvode plivajući u vodi – učinkovitost propulzora mu iznosi 87%, u usporedbi s 70% kod klasičnog propelera. Dostiže jednaku brzinu kao i brod tjeran klasičnim propelerom, ali lakše manevrira

### 3.4. Kavitacija

Pojava kod koje dolazi do isparavanja vode zbog utjecaja trenja (npr. kod propelera) koji stvaraju mjehure vodene pare (manja iskorisćenost propelera).

Zračne šupljine koje remete strujanje i smanjuju efikasnost propelera stvaraju se kada se minimalna vrijednost apsolutnog tlaka na propeleru smanji ispod tlaka isparavanja voda koje se često javljaju kod većih brzina propelera. Kavitacija se prvo javlja na samom krilu propelera. Kada zračne šupljine zbog promjenjivog tlaka „puknu“ na samoj površini krila, dolazi do naglog utjecanja vode koja udara u krilo i tako ga oštećuje. Kod uznapredovale kavitacije pri znatnom povećanju snage na osovini osjetno je vrlo malo povećanje poriva, a istovremeno se brzina rotacije povećava, u odnosu na uobičajeni rad kavitacije.

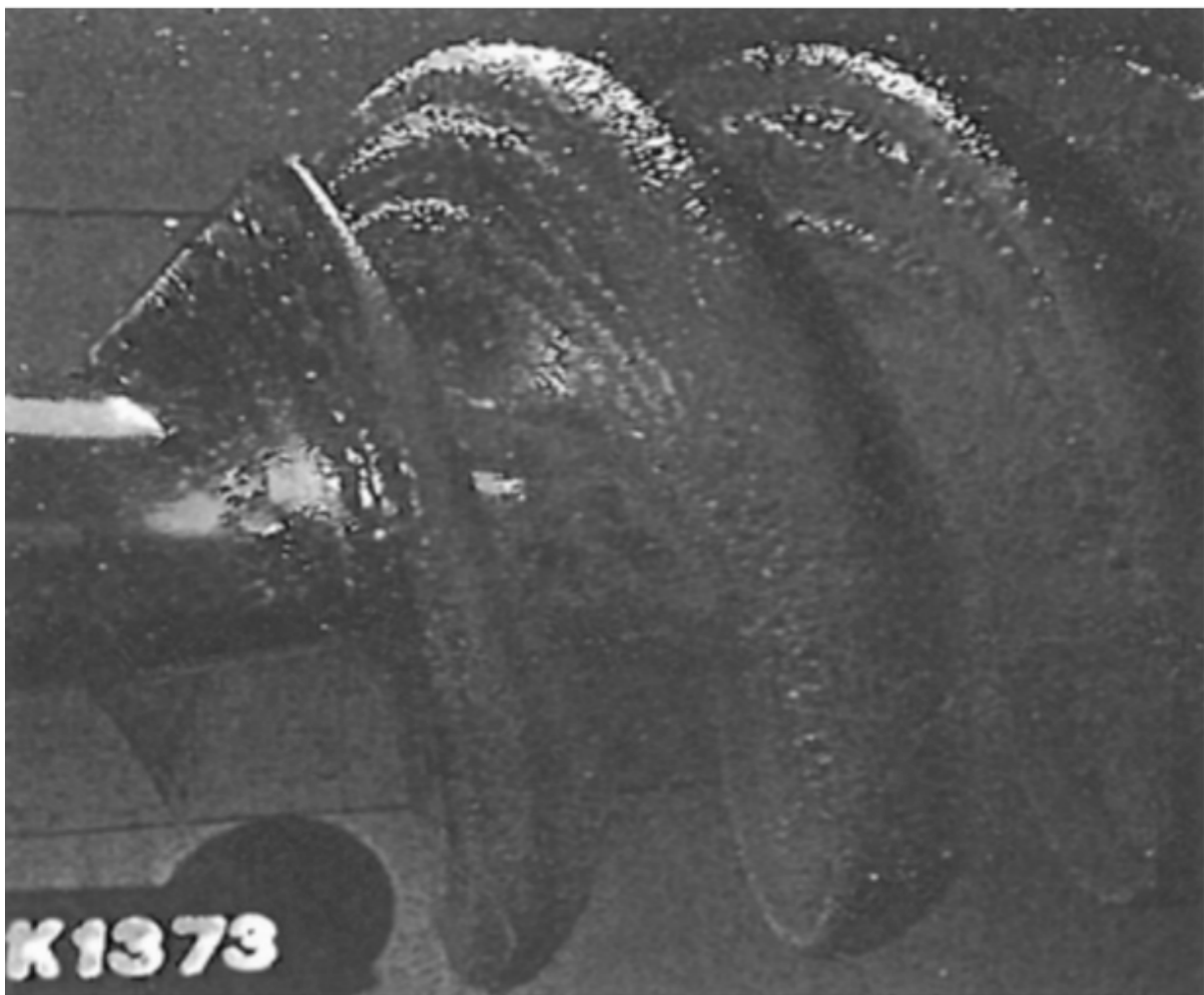
**Slika 10:**Prikaz kavitacije



Izvor: [www.scam-marine.hr](http://www.scam-marine.hr). (20.7.2015)

Kavitirajući propeleri su kod brzina većih rotacija potpuno obuhvaćeni kavitacijom (zračnim mjehurom) efikasniji od onih koji imaju manju izraženu kavitaciju. Objašnjava se tako da se kod potpunog odvajanja strujanja na stražnjem dijelu krila i bez kontakta s vodom, nema daljnjeg smanjenja tlaka ili povećanja efekta kavitacije, na prednjoj strani krila, se tlak nastavlja povećati s povećanjem rpm, pa se na taj način povećava i poriv. U tim superkativirajućim uvjetima također nema erozije krila jer mjehuri zraka imploiraju u polju sustrujanja, a ne na krilu, tu nema ni vibracija uzrokovanim kavitacijom.

**Slika 11:** Propeler pri kavitaciji



Izvor: [www.scam-marine.hr](http://www.scam-marine.hr) (20.7.2015)



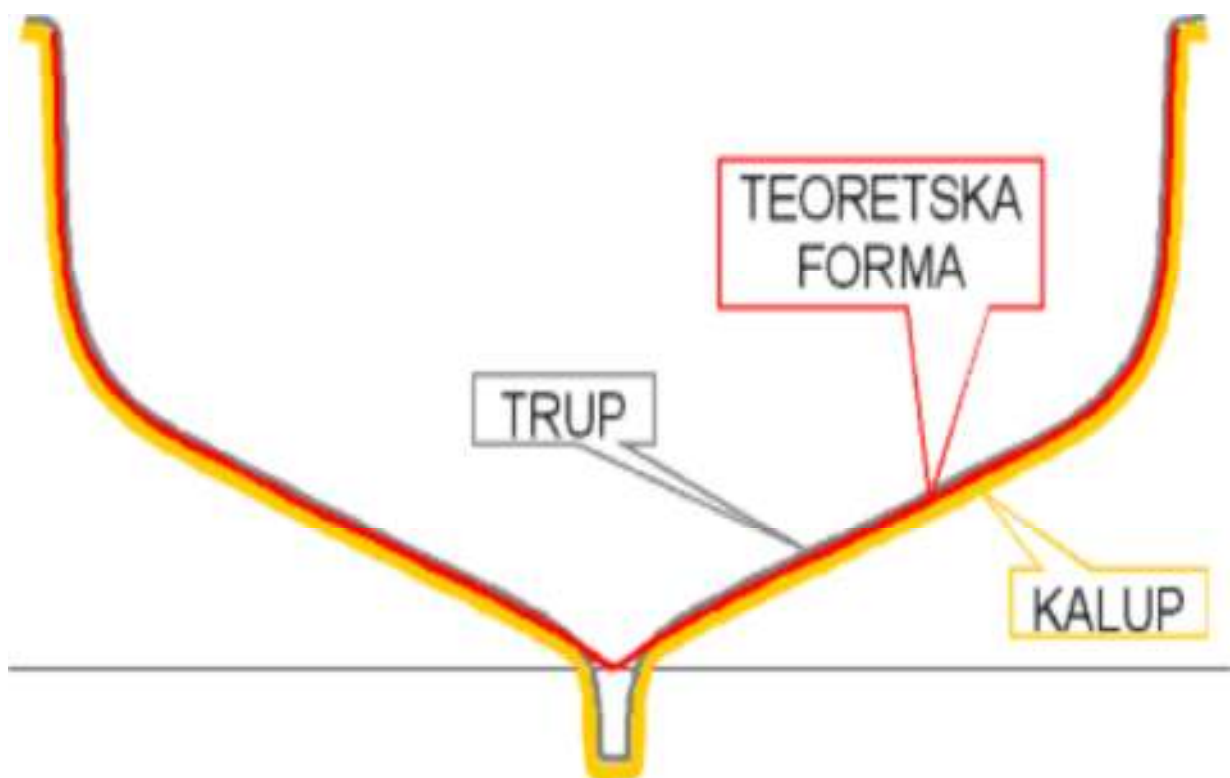
### 3.5. Trup

#### GLAVNI PARAMETRI TRUPA BRODA

Glavni parametri koji karakteriziraju oblik trupa broda su:

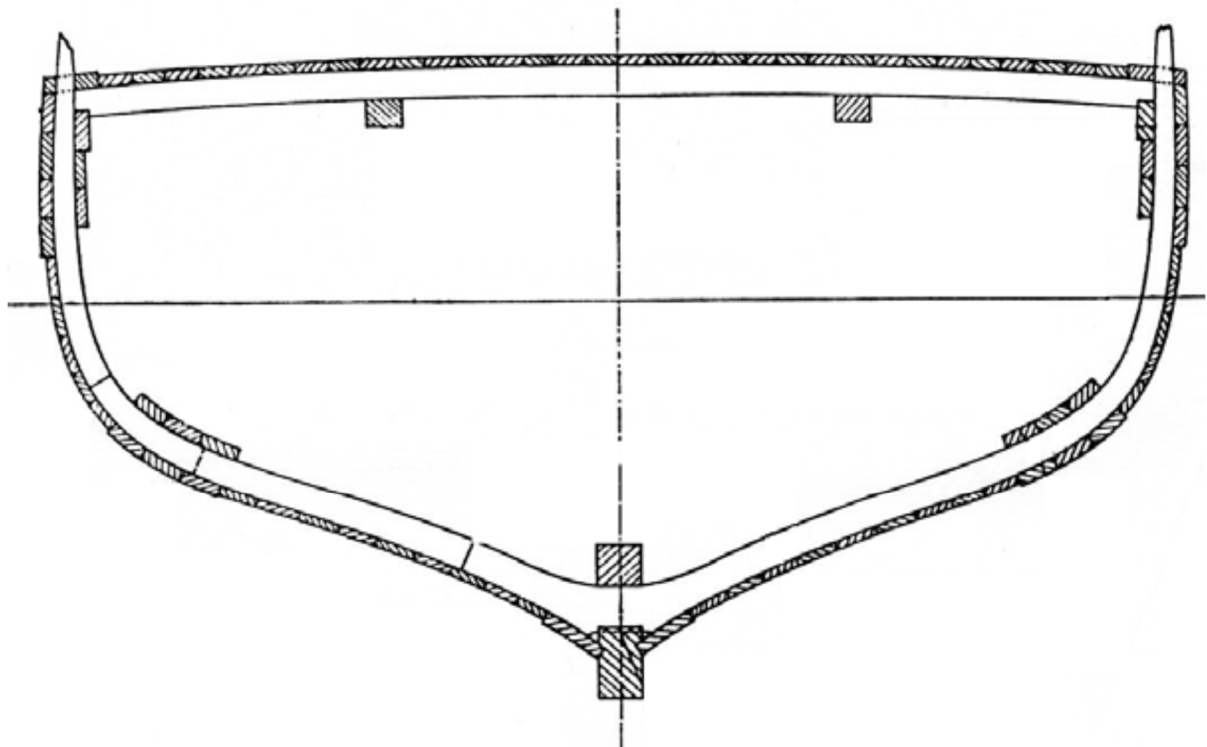
- glavne dimenzije i njihovi međusobni odnosi,
- koeficijenti brodske forme,
- istisnina broda i njezino težište,
- krivulja površine rebara (areala rebara) i
- položaj težišta broda.

**Slika 12:** Teoretska forma kompozitnog broda



Izvor: [www.fsb.hr/geometrija.broda](http://www.fsb.hr/geometrija.broda), (20.7.2015)

**Slika 13:** Glavno rebro drvenog broda



Izvor: [www.fsb.hr/geometrija.broda](http://www.fsb.hr/geometrija.broda), (20.7.2015)

**Glavne dimenzije broda su:**

- dužina,
- širina i
- visina.

**Dužina broda**

Duljina broda  $L$  (eng.: length), osnovna linearna dimenzija broda mjerena u uzdužnom smjeru trupa.

**Dužina između okomica** - perpendikulara ( $LPp$ ) je vodoravni razmak između pramčane i krmene okomice (perpendikulara) na konstrukcijskoj vodnoj liniji koje prolaze kroz vanjski rub pramčane i krmene statve. Ako brod nema krmenu statvu tada okomica prolazi kroz

osovinu kormila. Ta se duljina upotrebljava za računanje istisnine i za određivanje dimenzija broda prema propisima klasifikacijskih društava.

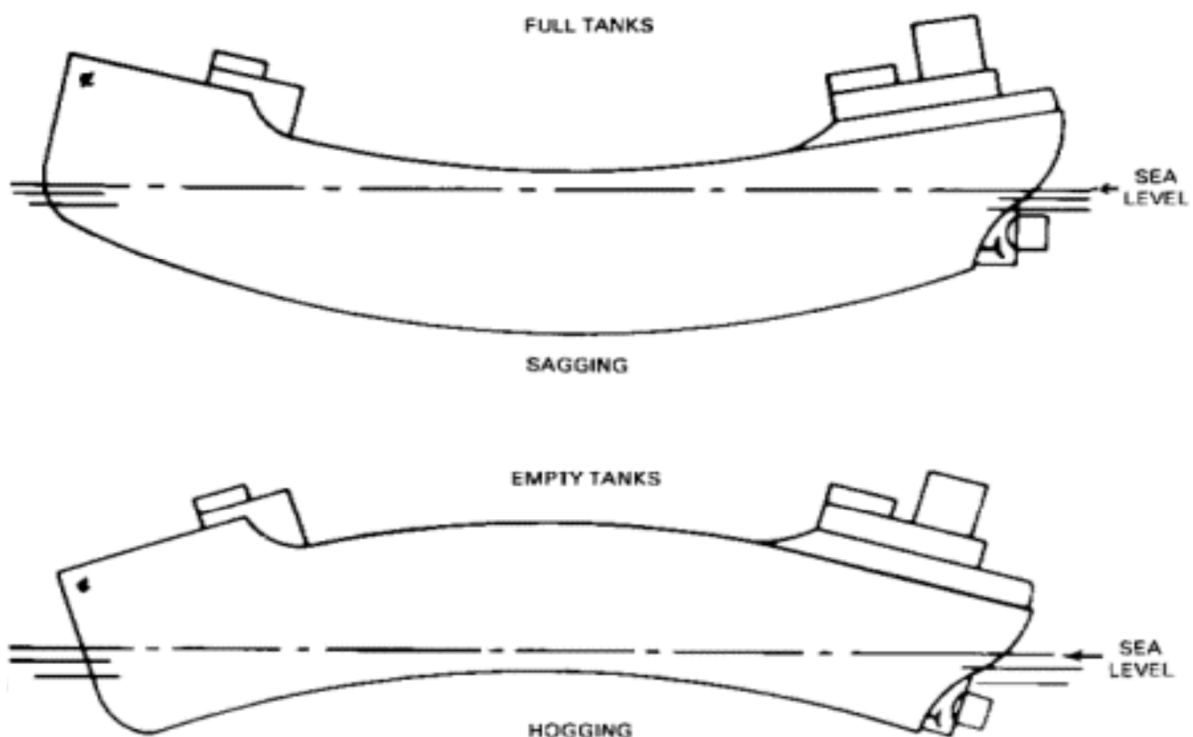
**Dužina konstruktivne vodne linije (LKVL)** je vodoravni razmak između krajnjih točaka KVL. Ta je duljina mjerodavna pri proračunu brodske pretege, prodora vode i proračuna nepotonivosti, nadvođa, te kod proračuna otpora broda.

### Širina broda

Širina broda (B) (eng.:breath) je osnovna linearna dimenzija broda mjerena u horizontalnoj ravnini, okomito na uzdužnu os broda.

Širina preko svega ( $B_{\text{mak}}$ ) je najveća širina broda, mjeri se na najširem mjestu broda preko bokoštitnice ili drugih dijelova koji strše preko brodskih bokova. Ta je širina važna za ulazak u luke, dokove, prijevodnice (ustave) i za prolaz između stupova mosta.

**Slika 14:** Analogija broskog trupa opterećena na savijanja



Izvor: Det Norske Veritas: Strength Analysis of Hull Structures, HØvik, Norway, 2004.

## **Širina na glavnom rebru**

Širina na glavnom rebru (B) mjeri se na vanjskom rubu glavnog rebra, redovito je jednaka proračunskoj širini broda. Proračunska širina je najveća širina podvodnog dijela trupa mjerena do vanjskog ruba rebra na čeličnim brodovima, a do vanjske strane oplata na drvenim brodovima. Upotrebljava se za proračun koeficijenta glavnog rebra.

## **Bočna visina**

Bočna visina (H) je okomit razmak između osnovice (gornja strana kobilice) i gornjeg brida spona najviše neprekinute palube, mjerena na boku broda. Važna je za proračun čvrstoće, nepotonivosti, stabilnosti i za dimenzioniranje elemenata trupa.

## **Zagaznice**

Zagaznice (gaznice), oznake na obim stranama pramčane i krmene statve u blizini perpendikulara, , koje označavaju gaz broda na tim mjestima. Gaz se mjeri od donjeg ruba kobilice do vodene linije.

## **3.6. Boje, lakovi**

Održavanje broda ima svoju cijenu pa će tako biti riječi i o ekonomskoj strani održavanja koja je dosta bitna za vlasnika broda. Najčešći termin na brodu povezan sa održavanjem je korozija. Radovi koji se povezuju sa uklanjanjem korozije na brodu mogu trajati danima i mjesecima ali uvijek postoji mogućnost da se taj posao iznova radi. U morskom okolišu korozija metalnih dijelova broda je neizbježna, a pojavljuje se u obliku procesa koji mijenja izgled metalnim površinama smanjujući čvrstoću strukture broda rezultirajući tako prijevremeno propadanje materijala.

Priprema uključuje odabir alata potrebnog za obavljanje određenog posla te smjestiti alat u blizini mjesta izvođenja radova kako se ne bi gubilo puno vremena tijekom rada. Premazi se mogu vrlo brzo sušiti pa bi gubitak vremena mogao imati estetske ali i fizikalne i kemijske propuste. Vrlo je bitno da je alat čist, kvalitetan i siguran za rad pripreme ne koriste premazi, ova faza je glavna osnova za kvalitetu obavljenog posla.

**Slika 15:** Uklanjanje korozivnih produkata na brodu



Izvor: <http://commons.wikimedia.org> (20.7.2015)

Slika broj 15 prikazuje način uklanjanja korozivnih produkata korištenjem zračnoga igličastoga uređaja za skidanje hrđe.

**Slika 16:** Nanošenje premaza špricanjem u Brodogradilištu Uljanik



Izvor: Juraga, I., Stojanović, I., Noršić, T., Zaštita brodskoga trupa od korozije i obraštanja, Brodogradnja 2007.

Slika broj 16 prikazuje siguran način nanošenja anti-vegetativnog premaza na podvodni dio brodske konstrukcije za vrijeme boravka broda na navozu. Osoba mora biti dobro zaštićena za vrijeme nanošenja premaza špricanjem.

Osnovni premazi su proizvodi koji ostvaruju osnovnu zaštitu podloge, ali iznad svega jamče dobru prionjivost sljedećih premaza i tako sprječavaju ljuštenje narednih premaza.

Nakon temeljnih premaza koriste se međupremazi koji imaju ulogu zaštite. Njihova je zadaća da spriječe prolaz vodi, vlazi, štetnim česticama iz atmosfere do podloge i izazovu oštećenja (koroziju kod metala, truljenje drva, osmozu kod stakloplastike). Za dobru zaštitu važno je postići minimalnu debljinu suhog filma od 300-600 mikrometara za podvodne dijelove, a 250-300 mikrometara za nadvodni dio (1 mikrometar je tisućiti dio 1 milimetra. Dakle 1000 mikrometara je 1 milimetar).

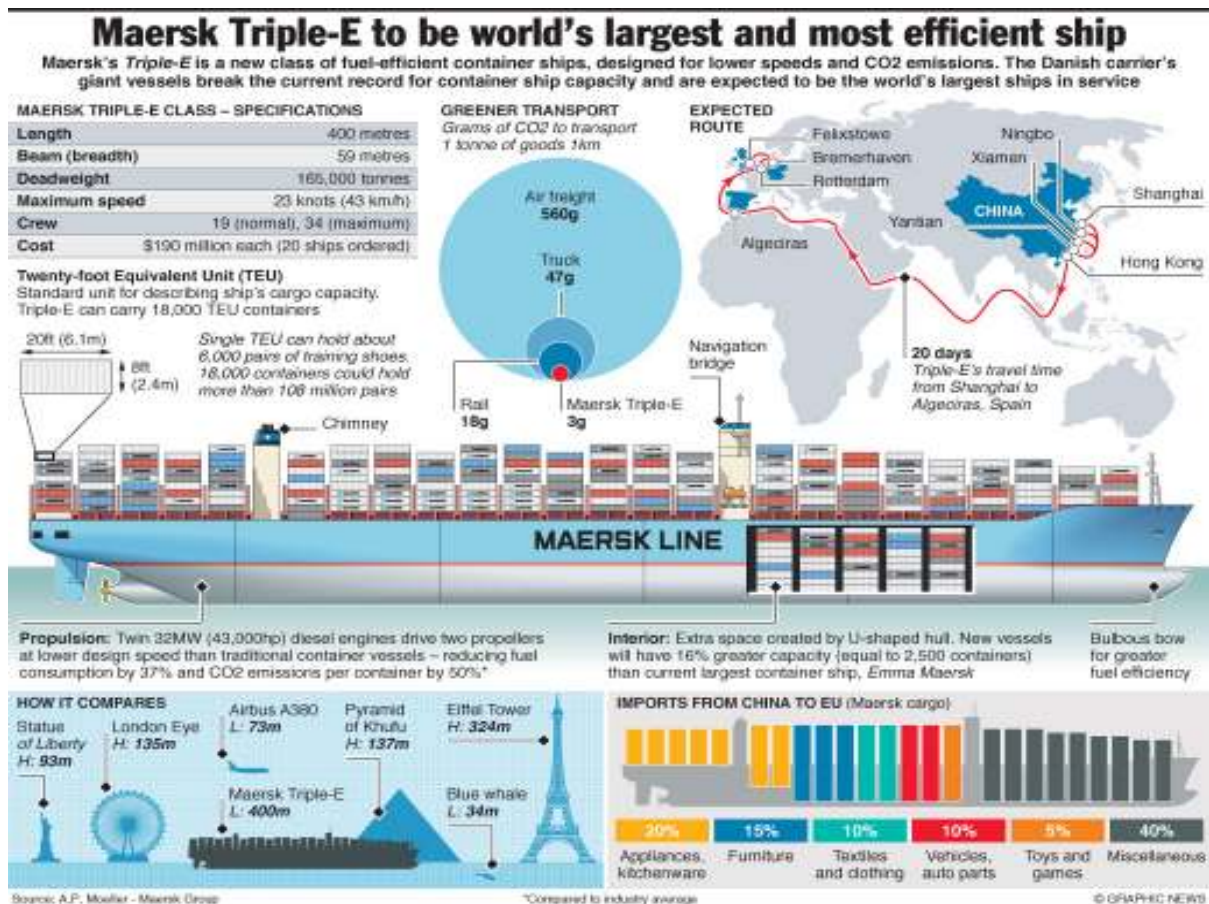
Zadnja faza bojenja su završni premazi. Izvodi se materijalima koji imaju ulogu da poboljšaju estetske osobine (boju, sjaj, izgled) ili posebna zaštitna svojstva (antivegetativne boje za podvodne dijelove). Završni se premazi moraju redovno obnavljati, kako bi brod kroz duži period zadržalo kvalitetnu zaštitu. Da bi se završnim premazima dobila jednolična glatka površina može se pojaviti potreba za radovima kitanja, radi popunjavanja neravnina. Za dobar izgled završnih lakova važno je nanijeti jedan od međupremaza, koji osim zaštitnog sloja daje homogenost, otklanja mikroporoznost i tragove kitanja, formirajući jednoličnu i glatku površinu.

#### **Nove inovacije:**

**Sharkskin** – specijalni tip boje koja imitira hrapavu strukturu kože morskog psa, poznato je da morski psi nemaju problema s prljanjem algi na njihova tijela, a time se sprečava porast otpora trenja trupa zbog obraštanja.

### 3.7. Usporedba standardnog i energetski učinkovitog broda

Slika 17: Maersk Triple-E



Izvor: <http://www.maersk.com>

Jedna od glavnih značajki dizajna ove klase su njegova dva diesel motora snage 32-megavata (43.000 KS) s izrazito dugim hodom, radi s dva propelera te postiže brzinu od 19 čvorova (35 km/h, 22 mph). Sporije od svojih prethodnika, no ova klasa koristi strategiju poznat kao sporo parenje, čime se očekuje smanjenje potrošnje goriva za 37%, a emisija ugljičnog dioksida po kontejneru za 50%.

Ime "Triple E" je izvedena iz tri načela dizajna: "ekonomije veličine, energetske učinkovitosti i ekološkog poboljšanja". Od ovog broda se očekuje da bude ne samo svjetski najduži brod u službi nego i najučinkovitiji kontejnerski brod po dvadeset stopa ekvivalentne jedinice (TEU) tereta.



Brod je dugačak 400 metara (1.312 ft) i 59 metara (194 ft) širok., Triple-E brodovi su u stanju nositi više 2.500 kontejnera. Sa širinom od 59 metara (194 stopa), on je preširok za Panamski kanal, ali može preći tranzitni Sueski kanal kad se plovi između Europe i Azije.

### Poriv

Za razliku od konvencionalnih kontejnerskih brodova, nova klasa brodova ima twin-skeg dizajn; on ima dva diesel motora, svaki ima svoj zaseban propeler. Obično, jedan motor je učinkovitiji ali koristeći dva propelera omogućuje bolju raspodjelu pritiska, povećava učinkovitost propelera više nego na štetu pomoću dva motora

Twin-skeg načelo također znači da su motori mogu biti niže i dalje unatrag prema krmu, čime ima više prostora za teret. Maersk zahtijeva iznimno dugi udar dvotaktnih motora s brzinom od 80 okretaja u minuti (u odnosu na 90 okretaja u E klasi) ali to zahtijeva više propelera za isti učinak, a takva kombinacija je moguća samo s dva propelera zbog plitke dubine vode željene rute.

**Slika 18:** Klasični teretni brod (MSC Washington 1984)



Izvor: <http://www.marinetraffic.com>

Opće značajke

Pogon: Tipično dizel od 1990. [2]

Brzina: Obično 21-25 čvorova (38,9-46,3 km / h) [2]

Kapacitet: do 19.224 TEU



Tablica 4: Usporedba klasičnog i energetski učinkovitog broda

		MSC Washington (1984.)	Maersk Triple-E (2011.- 2015.)
1	<b>Konstrukcija trupa - hidrodinamička svojstva</b>	Klasičan oblik trupa	Forma trupa niskog otpora
2	<b>Propulzija</b>	Pogonski motor na mazut	Twin MAN engines, 32 MW svaki,mazut.
		brodski vijak	Jedan propeler po motoru, ukupno 2 propelera
3	<b>Pomoćni motori</b>	Diesel motor	Diesel motor
4	<b>DWT</b>	53 325 T	165 000 T

## 4. NAJNOVIJE TEHNOLOGIJE ZA ENERGETSKU EFIKASNOST BRODA

U ovom poglavlju opisane su najnovije tehnologije za energetska efikasnost broda. Opisani su zmajevi, padobrani, solarni paneli koji se koriste za uštedu električne energije, te su opisane otpadne topline koje se iskorištavaju za dobivanje novo nastale energije.

### 4.1. Zmajevi, padobrani

SkySails - veliko pomoćno jedro u obliku zmaja ili paraglajdera, površine od 160 m<sup>2</sup> do 500 m<sup>2</sup>. Najveća jedra daju vučnu silu jednaku stroju od 6800 KS. Jedro je vučnim užetom vezano uz pramčanu palubu, odakle se podiže u zrak na visinu od 100 – 300 m pred brodom te ga vuče silom vjetra. Jedro se koristi skupa s brodskim motorom. Rezultati pokazuju da se može postići ušteda od 10 do 35% na potrošnji goriva.

**Slika 19:** Prikaz broda u trenutku korištenja skysailsa



Izvor: Brodosplit – Brodogradilište d.o.o. Split

## 4.2. Solarni paneli

Kada govorimo o napajanju pomoću sunčeve energije onda postoje dvije vrste napajanja, a to su sunčani toplinski sustavi koji se koriste za zagrijavanje potrošne tople vode te kao podrška grijanja prostora, koji naravno može biti i na brodu. Osim sunčanih kolektora, sunčani se toplinski sustavi sastoje od cijelog niza elemenata: spremnika potrošne tople vode, kotla, crpke te popratne opreme poput sustava regulacije, sigurnosnih ventila itd.

Sekundarno napajanje bili bi foto naponski sustavi koji koriste energiju sunčevog zračenja za proizvodnju električne energije, koja je u brodskom sistemu prijeko potrebna i time se može doći do većih energetske ušteda. Osnovna zadaća mrežno vezanih foto naponskih sustava je predaja proizvedene električne energije u električnu mrežu.

Iskoristivost solarnog sustava, ovisi o nizu faktora. Kada se od ukupnog 100% sunčevog zračenja odbiju optički gubici od 20% dobije se apsorbirano Sunčevo zračenje u solarnom kolektoru od 80%. Toplinski su gubici kolektora ok 25% pa je iskoristivost kolektora oko 55%. Međutim zbog toplinskih gubitaka solarnog kruga od 5% i toplinskih gubitaka kruga tople vode od 5% konačna je iskoristivost solarnog sustava oko 35%.

### 4.2.1. Sustav foto naponskog izvora energije

Sustav foto naponskog izvora energije stvara električnu energiju iz sunčeve energije, koja se može upotrijebiti za sve sustave na brodu pa i za propulziju broda.

Ovaj sustav sastoji se od foto naponskih modula koji pretvaraju sunčevu energiju u električnu te od ostalih elektroničkih komponenti koje su potrebne za optimalan rad sustava. Foto naponski moduli sastoje se od više solarnih ćelija koje mogu biti napravljene na temelju tehnologije kristalnog silicija, tehnologije tankog filma i ostalih nekoliko tehnologija.

Princip rada ovog sustava je da sunčeva svjetlost udara u foto naponske module koji ju pretvaraju u električnu energiju tj. U istosmjerni napon koji preko razvodne kutije se vodi u pretvarač istosmjerne u izmjeničnu struju. Prolazi kroz trafostanicu te preko ulazne ploče se provodi na glavnu električnu centralu, čija je svrha usmjeravanje i upravljanje električnom

Solarnom energijom: Alternativni izvor koji može smanjiti emisiju štetnih plinova. Može se koristiti kao izvor energije za bilo koje sustave na brodu.

#### 4.2.2. Solar Sailor

Solar Sailor – koncept koji se već primjenjuje na lučkim trajektima. Ti brodovi imaju sustav kombiniranog električnog poriva nazvanog HMP (Hybrid Marine Power) - sustav koristi klasične motore na razna fosilna ili alternativna goriva u kombinaciji s električnom energijom dobivenom preko solarnih ćelija koje se nalaze na jedinstveno konstruiranim solidnim i profiliranim zakretnim jedrima nazvanim „Solar Wing“, a putem tih jedara koristi se i energija vjetra. Kad se jedra koriste samostalno, tada trajekt kapaciteta 600 putnika postiže brzinu od 10 – 12 čvorova.

**Slika 20:** Solar Sailor



Izvor: <http://www.nasa.gov/mission> (1.6.2015)

#### 4.3. Otpadne topline

Inovativne energetske učinkovite tehnologije Primjena inovativne energetske učinkovite tehnologije koja korištenjem “toplinskog otpada” iz sustava ispušnih plinova motora i rashladnog sustava motora proizvodi električnu energiju. Proizvedena električna energija koristi se za pogon vratilnog propulzijskog motora.

Sustav za proizvodnju električne energije korištenjem otpadnih topline kao izvor.

Sustav koji spada pod sustave inovativne električne energije koja pretvara otpadne topline koje gorivo prilikom sagorijevanja goriva unutar motora u električnu energiju koja može služiti za napajanje bilo kojeg sustava na brodu. Prilikom sagorijevanja goriva, stvara se toplota koja se širi na otpusne cijevi, a i na vodu koja služi za hlađenje motora. Od tuda se na

specifičan način toplina skuplja te konvertira u električnu energiju. Ovaj sustav ima ogroman potencijal za upotrebu, prvenstveno iz razloga što i danas iskoristivost goriva je tek oko 50% tj. pola energetske sadržaja goriva se izgubi u toplini, trenju i ostalim neželjenim komponentama. Korištenjem navedenog sustava moguće je reciklirati dio te topline koja se najviše stvara na otpusnim cijevima te je pretvoriti u električnu energiju, istovremeno moguće je smanjiti ispuštanje ugljičnog dioksida u atmosferu upravo zbog povećane energetske učinkovitosti korištenja goriva za pogon broda

Postoje dvije metode recikliranja otpadnih topline tj. konverzije otpadnih topline u električnu energiju:

- a) korištenje izmjenjivača topline koje će uzimati toplinu sa otpusnih cijevi i/ili vode za hlađenje te time pokretati termički motor na koji je spojen električni generator i
- b) direktno pokretanje električnih generatora preko turbine. Postoje i sustavi koji kombiniraju navedene metode .

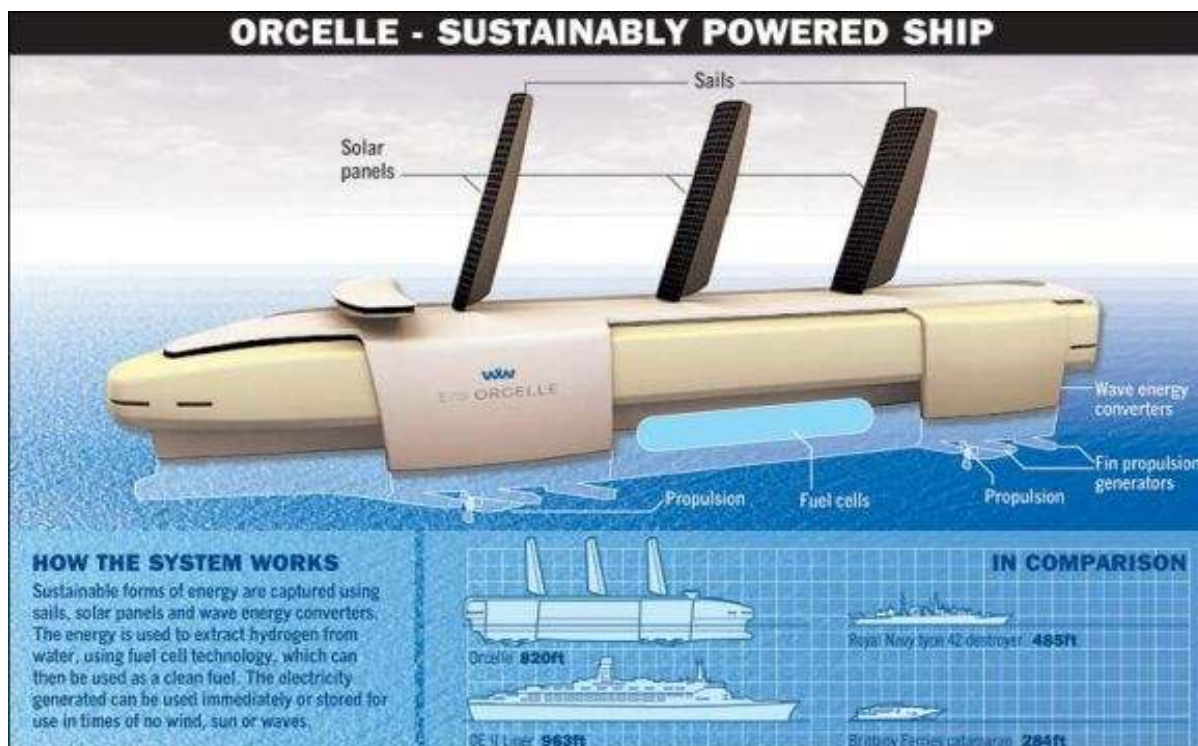
Zašto rekuperacija otpadne topline?

- povećanje toplinskog stupnja iskoristivosti cijelog pogonskog sklopa,
- ušteda energije i novca,
- zarada broda i kompanije i
- pretvorba toplinske energije u mehanički rad – "rashladni spremnik".

#### **4.4. Najnovije tehnologije za energetske učinkovitost broda**

**Orcelle** – koncept broda koji bi trošio vrlo malo goriva i ne bi trebao uzimati vodeni balast – služio bi za prijevoz 10 000 automobila. Zamišljen je kao pentamaran na koji bi preko tri solidna i profilirana krilna jedra pokrivena foto naponskim ćelijama i preko 12 peraja koje proizvode snagu na pomoću valova, te uz gorive ćelije, generirao dovoljno snage za poriv broda brzinom od 15-ak čvorova.

Slika 21: Orcelle



Izvor: <http://www.2wglobal.com> (15.6.2015)

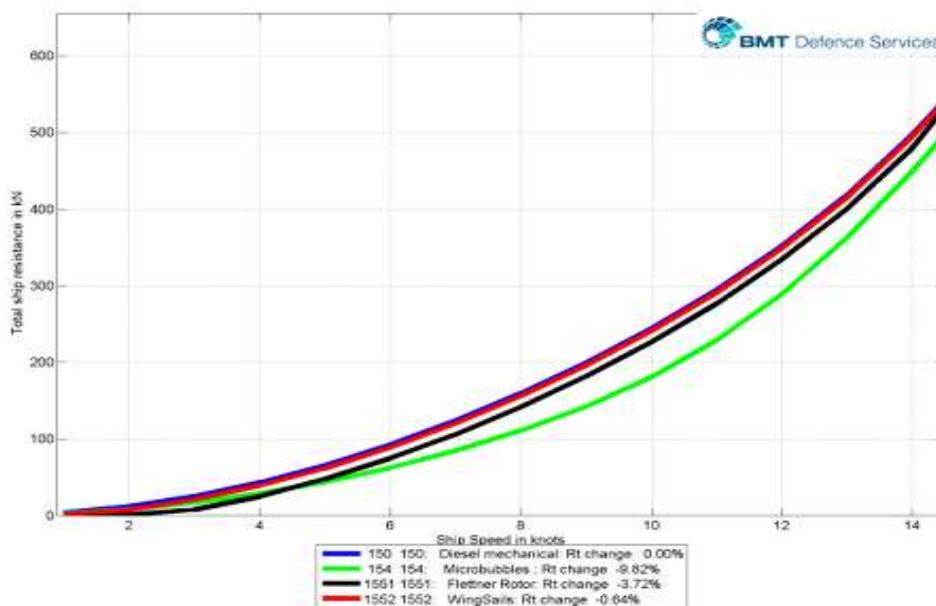
**Stena Airmax** – testni model pravog broda tipa Panamax, bulkera od 65000 t dwt, pripadajući koncept se bazira na redukciji „mokre površine“ podvodnog dijela trupa pomoću udubljenja na ravnom dijelu dna broda koje se proteže skoro čitavom širinom i skoro polovinom duljine dna broda. U tako formirano udubljenje upumpava se zrak stvarajući svojevrsni zračni jastuk, tako da morska voda koja struji dnom broda na tom dijelu nema kontakta s oplatom dna već samo sa zrakom. Model je opremljen i najnovijim patentiranim tipom bulboznog oblika pramca, dok je bulb smješten dosta visoko, širok je i spljošten po visini. Ovako izveden pramac pomaže povoljnijem dotoku vode pod trup broda. Model je opremljen ventilatorima za upumpavanje zraka u zračno udubljenje, a punjenje zrakom se kontrolira tako da zrak bude u ravnini s dnom trupa. Očekivana ušteda energije se kreće od čak 20 do 30%.

Slika 22: Stena Airmax



Izvor: <http://www.stenabulk.com>. (15.6.2015)

**Grafikon 1:** Usporedba ukupnog otpora broda izraženog u kN sa brzinom broda izraženom u čvorovima



Izvor:

<http://www.naval-technology.com> (30.6.2015)

Smanjenje otpora određenim metodama

- bitno je obratiti pozornost i na stopu povećanja otpora ovisno o brzini

Smanjenje brzine plovidbe i korištenje većih brodova – popularna i široko potencirana metoda smanjenja potrošnje goriva temeljena na činjenici da se smanjenjem brzine plovidbe progresivno i drastično reducira hidro dinamički otpor trupa sa specifičnom formom. Ova se metoda često koristi zajedno sa trendom povećanja veličine i nosivosti broda, jer je veći brod tipično racionalniji pri potrošnji tereta po količini transportiranog tereta nego manji brod.

## 5. MJERENJE ENERGETSKE UČINKOVITOSTI

**Troškovi goriva**, od vremena naftne krize troškovi goriva su u središtu zanimanja brodogradilišta, proizvođača strojeva i brodara. Troškovi goriva i maziva čine znatan dio ukupnih troškova, oko 30%. Pokazalo se da dotjerivanjem forme trupa broda, redukcijom broja okretaja i ugradnjom sporo okretnih porivnih motora uspješno uštedjeti i do 30% tih troškova u odnosu na brod istog trupa.

Stanje hrapavosti broskog trupa i vijaka osjetno utječe na troškove goriva. Povećanje hrapavosti vijka može se spriječiti povremenim poliranjem krila, a povećanje hrapavosti trupa broda povremenim čišćenjem u doku i obnovom podvodnog dijela premazom.



## 5.1. Učinkovito upravljanje potrošnje goriva na brodu

Mjere koje neposredno utječu na učinkovitost korištenja ( potrošnje) goriva:

- unapređenje planiranja plovidbene rute.
- planiranje plovidbene rute prema vremenskim (atmosferskim) prilikama.
- Vrlo učinkovita na pojedinim specifičnim plovidbenim rutama.
- Planiranje režima plovidbe prema kriteriju „dolazak na vrijeme“ („just in time“)

Koeficijent EEDI je jedan od najvažnijih tehničkih mjera usmjerena na povećanju energetske učinkovitosti tj, manjim koeficijentom zagađenja. Koeficijent EEDI zahtjeva minimalni nivo energetske učinkovitosti po kapacitivnoj milji specifične za različite vrste brodova i njihovoj veličini sa minimalnom nosivošću tereta od 400 bruto tona.

EEDI koeficijent je osmišljen tako daje specifičan iznos za svaki pojedinačni brod koji se izražava u gramima ugljičnog dioksida po kapacitivnoj milji broda, a izračunava se po formuli koja je bazirana na tehničkim parametrima broda. Nivo redukcije ugljičnog dioksida po kapacitivnoj milji za prvu fazu postavljen je na 10% te će biti povećavan svakih pet godina. Nivoi redukcije osmišljeni su da imaju 3 faze sve do perioda do 2025 godine u kojoj će biti postavljena obavezna redukcija od 30% u odnosu na referentnu liniju koja reprezentira energetska učinkovitost brodova. EEDI koeficijent osmišljen je za najveći segment svjetske trgovačke flote koja obuhvaća 72% emisije plinova novih brodova, a koji su: tankeri za prijevoz sirove nafte, tankeri za prijevoz rasutog tereta, tankeri za opći teret, tankeri za prijevoz spremnika, tankeri za smrznuti teret, te tankeri za kombinirani teret.

## 5.2. Metode i koncepti smanjenja potrošnje

Pred brodovlasnicima stoji neposredni zadatak da u tom smislu potpuno preispitaju sve aspekte svojih operacija kako bi uštedjeli novac i smanjili emisije. Velike brodarske tvrtke su tako počele koristiti software za energetska optimizaciju u svojim sustavima.

Mogućnost poboljšanja efikasnosti pogona: faktori koji utječu na istraživanja u cilju poboljšanja ukupne korisnosti propulzije broda su ekonomski (cijena izrade broda, cijena odlaganja nakon rashoda, brzina broda, cijena goriva) i zaštita okoliša (emisije plinova, zagađenje, buka).

**Metode** smanjenja potrošnje goriva se većinom baziraju na slijedećim generalnim principima:

- povećanju učinkovitosti glavnog porivnog stroja i pomoćnih brodskih strojeva
- korištenju adekvatnijih odnosno učinkovitijih vrsta goriva u funkciji redukcije potrošnje
- smanjenju ukupnog otpora trupa plovila
- povećanju učinkovitosti rada propulzora broda
- optimizaciji brzine plovidbe po kriteriju uštede goriva, to se odnosi na smanjenje brzine
- korištenju alternativnih izvora energije kod generiranja električne energije na brodu kao alternativni diesel agregatima
- racionalnim inženjerskim solucijama kod svih toplinskih sustava broda također u cilju maksimizacije njihove učinkovitosti

### **5.3. Koeficijent brodske forme**

Koeficijenti brodske forme su omjeri između površina brodskih presjeka ili volumena trupa prema površinama i volumenima geometrijskih likova i tijela. Koeficijenti forme su, dakle, bez dimenzionalni brojevi, koji su toliko veći koliko je forma trupa punija i obrnuto.

Karakteriziraju oblik broskog trupa, raspored istisnine po duljini i visini broda i isti su ili slični za slične brodove.

Koeficijenti brodske forme su:

1. Koeficijent vodne linije  $\alpha$ ,
2. Koeficijent punoće glavnog rebra  $\beta$ ,
3. Koeficijent istisnine  $\delta$ ,
4. Koeficijent uzdužne finoće broda  $\varphi$ ,

5. Koeficijent vertikalne finoće broda  $\psi$ .

#### 5.4. Korisnost propulzije

Vjetrom potpomognuta propulzija se uzima u obzir koeficijentom iskoristivosti propulzije:

$$\eta_T = \eta_H \cdot \eta_B \cdot \eta_S \cdot \eta_M$$

Gdje je:

$\eta_T$  ili  $\eta$  je koef. iskoristivosti propulzije, propulzivni koef. ili ukupan stupanj propulzije.

$\eta_H$  - je koeficijent utjecaja trupa (hull efficiency) – definira se kao omjer snage potrebne za svladavanje ukupnog otpora broda  $R_T$  koji se kreće brzinom  $V$  i snage potrebne za poriv vijka  $T$  koji napreduje brzinom  $V_A$

$$\eta_H = \frac{P_E}{P_T} = \frac{R_T \cdot V}{T \cdot V_A} = \frac{R_T / T}{V_A / V} = \frac{1-t}{1-w}$$

$t$  - koeficijent upijanja-smanjenja poriva (thrust deduction fraction)

$$t = 1 - \frac{R_T}{T}$$

Efektivna snaga (snaga tegljenja) **PE** (effective power)

Snaga poriva **PT** (propeller thrust)

$w$  - koeficijent strujanja (wake fraction)

$$w = 1 - \frac{V_A}{V}$$

$\eta_S$ - stupanj korisnosti osovinskog voda (shaft efficiency)

$$\eta_S = \frac{P_D}{P_B} \quad \eta_S = \frac{P_D}{P_S}$$

Snaga predana propeleru (vijku) **PD** (delivered power)

Snaga na osovini **PS**

**Kočena snaga stroja PB**

$\eta_M$  - stupanj mehaničke korisnosti

$$\eta_M = \frac{P_B}{P_I}$$

$\eta_B$  -koeficijent iskoristivosti vijka  $\eta_B$  pri radu iza krme broda (behind) definira se:

$$\eta_B = \eta_0 \cdot \eta_R = \frac{T \cdot V_A}{2\pi \cdot n \cdot Q}$$

Gdje je:

$\eta_0$  -koeficijent iskoristivosti vijka u slobodnoj vožnji (bez trupa broda), kada vijak radi u homogenom polju dostrujavanja tekućine vijku (open water coefficient)

$$\eta_0 = \frac{T \cdot V_A}{2\pi \cdot n \cdot Q_0} = \frac{T \cdot V_A}{\omega \cdot Q_0} = \frac{K_T}{K_Q} \cdot \frac{J}{2 \cdot \pi}$$

$\eta_R$  -koeficijent iskoristivosti relativne rotacije vijka - koeficijent prijelaza (relative rotative efficiency)

$$\eta_R = \frac{\eta_B}{\eta_0} = \frac{Q_0}{Q}$$

## **Kategorije:**

- a) Dizajn broda (brod koji je lakši ima veći kapacitet a da pritom na utječe na sigurnost putnika i plovidbe)
- b) Optimizacija (poboljšavanje oplata broda povećava se energetska učinkovitost)
- c) Optimizacija aerodinamičkih svojstava (modifikacija superstrukture broda)
- d) Optimizacija propulzije (bazira se na optimizaciji polja valova oko broda i time na različite načine utječu na brzinu broda)
- e) Optimizacija polja valova (smanjenje visine vala).

**Tehnologija:** postavlja se pitanje kako za istu snagu potrošiti manje goriva.

Odabir pogonskog motora za redukciju brzine. Motor manje snage zahtjeva manji propeler koji ima manju energetska učinkovitost od većeg propelera, a ujedno i veće gubitke snage, veću kavitaciju, a samim time više održavanja i veću frekvenciju kvarova. Motor manjih snaga ima veći koeficijent potrošnje goriva, radi na većem broju okretaja od motora veće snage)

**Gorivo:** upotreba goriva s nižim udjelom ugljika

## **5.5. Proračun metodom konačnih elemenata**

Iz registra se dobiju dokumenti sa debljinama i materijalom limova i profila za svaki prostor broda pojedinačno (krma, dvodno, teretni prostor, pramac, nadgrađe) te debljine mogu biti i manje od zahtijevanih ako je proračun zadovoljen kako bi se uštedjelo na materijalu, težini broda, i povećava se nosivost tereta. Osnovnim elementima (poprečnjaci, uzdužnjaci, rebra i limovi paluba i oplata) mogu se mijenjati samo debljina i kvaliteta materijala a ne može se mijenjati dužina i širina. (zbog smanjenja metraže broda). Dok se sekundarnim elementima (koljena, zakrpe) po potrebi im se mogu mijenjati sve dimenzije (debljina, dužina i visina). Proračunom se dolazi do izračuna opterećenja na elemente sve dok ne dobiju minimalne dimenzije koje zadovoljavaju dopuštenu granicu opterećenja. Taj proračun se računa tako da se izrađuju modeli elemenata i cijelog broda u određenom mjerilu da bi proračun bio točan, modeli elemenata se opterećuju silama da bi se dobio točan proračun. A model broda se opterećuje u umjetnom bazenu u Zagrebu (gdje imaju umjetne valove i

umjetne struje) promatra se kako brod reagira dok je na valnom brijegu ili valnom dolu, kad je na valnom brijegu na brod djeluje savijanje i vlačna sila, dok je u valnom dolu isto djeluje savijanje ali je sila tlačna.

## 6. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme naftni derivati gotovo u potpunosti pokreću gospodarstvo, industriju zatim ekonomsku i geografsku politiku a time i većinu svjetskih odnosa od kojih su najvažniji transport i prijevoz ljudi može se reći da je nafta uistinu vrijedno otkriće. Prateći Hubbertovu teoriju po kojoj zvonolika krivulja svoj vrhunac dostiže u 2015. godini potrebno će biti što više ulaganja u prirodne i obnovljive izvore energije što se prikazuje kao cilj u budućnosti Svijeta.

Brodski prijevoz je najvažniji, budući da može prevesti najveću količinu tereta u odnosu na utrošenu energiju Povezuju se svi kontinenti i brojne luke na moru. Razvijanje tehnologije koju pokreće ideja o prirodnim i obnovljivim izvorima energije kao što su Sunce i Vjetar naša je budućnost. Osnovni energetske „strojevi budućnosti“ mogli bi biti jedra, vjetrenjače, padobrani, zrcala, solarni paneli koji bi radili na principu transformacije prirodne u električnu energiju koja je ekonomski i ekološki osviještena.

Već danas grade se brodovi koji smanjuju otpor pomoću zračnih mjehurića smanjujući trenje između broda i morske površine, brodovi sa solarnim sistemom i padobranima da bi se uštedjelo na potrošnji energije.

Poboljšanjem dijelova broda kao što su propeler, motorni pogon, trup broda, oblik palube, materijal, kao i niz drugih faktora pokušava se što više smanjiti potrošnja goriva.

Energy efficiency design indeks (EEDI) je jedna od projektnih mjera povećanja energetske učinkovitosti, a time i ekološke prihvatljivosti brodova koja zasigurno ima značajni potencijal, koji se primjenom operativnih i tržišnih mjera može i još povećati.

Povećanjem energetske učinkovitosti smanjuju se troškovi.

## **7.POPIS LITERATURE**

### **7.1.Knjige :**

1. Walter Turnušek, „Brodogradnja za amatere“ Naprijed,1984.
2. Frane Mitrović, „Ekonomika brodarstva“ Split,2007.
3. Batelić,Mitrović, „Financiranje u pomorstvu“,Split,2010.
- 4 Mitrović,Kesić,Jugović, „Menadžment u brodarstvu i lukama“,Split ,2010.
5. Frane Mitrović, „Pomorstvo i brodogradnja“,Split 2008.
6. Igor Belamarić, „Teorija i praksa brodogradnje“,Split,2010.

### **7.2.Ostali izvori:**

- 1.Basic Ship Theory-K.J Rawson and E.C Tupper,2001.
- 2.IMO-international maritime organization,October 11.2012.
- 3.Implementing the Energy Efficiency Design Indeks (EEDI), November 15,2011.
- 4 Det Norske Veritas: Strength Analysis of Hull Structures,HØvik, Norway, 2004..

### **7.3.Internet izvori:**

1. <http://www.vizijadanas.com> (29.5.2015),
2. <http://www.britannica.com> (25.5.2015),
3. <http://www.theguardian.com> (27.5.2015),
4. <http://www.unidu.hr> (27.5.2015),

5. <http://peakoilbarrel.com> (30.5.2015),
6. <http://www.propelo.hr/> (15.7.2015),
7. [www.fsb.hr/geometrija.broda](http://www.fsb.hr/geometrija.broda) (15.7.2015),
8. <http://www.maersk.com> (10.8.2015),
9. <http://www.marinetraffic.com> (12.8.2015.),
10. <http://www.nasa.gov> (1.6.2015.),
11. <http://www.stenabulk.com> (15.6.1015 )

## **8.POPIS SLIKA,TABLICA,GRAFIKONA**

### **8.1.POPIS SLIKA**

Slika 1:Magellanova ruta .....	1
Slika 2: Peklenica-prvo naftno polje u svijetu .....	5
Slika 3: Eksplozija na platformi Deepwater Horizon.....	7
Slika 4: La Coruna-Grčki tanker Prestige s oko 75.000 tona nafte.....	9
Slika 5: Najčešća mjesta ispuštenih balastnih voda u Mediteranu.....	10
Slika 6: Vrhunac naftne proizvodnje,predviđeno je da će krivulja do 2015 stići do svog vrhunca a zatim slijedi pad.....	11
Slika 7: Propulzor broda.....	12
Slika 8: Brodski vijak.....	15
Slika 9: Okretaji propelera .....	16
Slika 10:Prikaz kavitacije.....	17
Slika 11: Propeler pri kavitaciji.....	18
Slika 12: Teoretska forma kompozitnog broda .....	19
Slika 13: Glavno rebro drvenog broda .....	20
Slika 14: Analogija broskog trupa opterećena na savijanja .....	21



Slika 15: Uklanjanje korozivnih produkata na brodu.....	23
Slika 16: Nanošenje premaza špricanjem u Brodogradilištu Uljanik .....	23
Slika 17: Maersk Triple-E .....	25
Slika 18: Klasični teretni brod (MSC Washington 1984) .....	26
Slika 19: Prikaz broda u trenutku korištenja skysailsa.....	28
Slika 20: Solar Sailor.....	30
Slika 21: Orcelle.....	32
Slika 22: Stena Airmax .....	33

## **8.2.POPIS TABLICA**

Tablica 1: Najveći potrošači nafte.....	6
Tablica 2: Zalihe nafte.....	6
Tablica 3: Tipovi pogona .....	13
Tablica 4: Usporedba klasičnog i energetski učinkovitog broda.....	27

## **8.3.POPIS GRAFIKONA**

Grafikon 1: Usporedba ukupnog otpora broda izraženog u kN sa brzinom broda izraženom u čvorovima.....	33
---	----