

# Konstruktivska obilježja tankera

---

**Balić, Stjepan Ante**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:650123>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-27**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -  
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for  
permanent storage and preservation of digital  
resources of the institution](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**STJEPAN ANTE BALIĆ**

**KONSTRUKCIJSKA OBILJEŽJA  
TANKERA**

**ZAVRŠNI RAD**

**SPLIT, 2020.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**STUDIJ: BRODOSTROJARSTVO**

**KONSTRUKCIJSKA OBILJEŽJA  
TANKERA**

**ZAVRŠNI RAD**

**MENTOR:**

**Prof. dr. sc. Joško Dvornik**

**STUDENT:**

**Stjepan Ante Balić  
(MB:0171269042)**

**SPLIT, 2020.**

## SAŽETAK

Tankeri su brodovi za prijevoz tekućeg tereta unutar sustava skladištenja zvanih tankovi. Dizajn i izgradnja tankera dugotrajan je proces sastavljen od brojnih izazova. Uvid u konstrukciju tankera ukazuje na znatnu složenost sustava kojim se omogućuje siguran rad tankera. Brodske konstrukcije tako rastavljamo na veći broj manjih podsustava kako bi se lakše proučile značajne karakteristike tankera. Tankeri su danas prisutni na svim morima, njihova uporaba poprima i različite tipove, stoga je potrebno osigurati što veću efikasnost kod izrade. Brojni su vanjski čimbenici koji negativno utječu na plovidbu tankera. Međunarodno su postavljene norme i kriteriji po kojima se treba voditi pri konstrukciji tankera, kako bi se spriječio nastanak nesreće i nepoželjnih posljedica. U radu su navedena neke od bitnih odredbi tih normi i kriterija. Osim toga navedeni su i pojedini dijelovi, podsustavi, koji sačinjavaju složeni sustav tankera, te su dane najbitnije informacije o njima samima. Kao primjer obrađen je najveći izrađen tanker Seawise Giant.

**Ključne riječi:** *brod, tanker, klasifikacijska društva, konstrukcijska obilježja*

## ABSTRACT

Tankers are ships used for liquid cargo transport inside of specialized storage spaces called tanks. A design and production of tankers is a long-lasting process made up of many obstacles. Insight into the construction of the tanker shows huge system complexity which enable tanker's safe running. Therefore, ship's constructions are separated on variety of smaller sub-systems, in order to explain different tanker's characteristics more easily. Nowadays, they are present throughout all the parts of the world, their usage acquires variety of forms, hence it is necessary to maximize the efficiency of these systems throughout the production. Plenty of external factors, negatively affect the ship's voyage. International rules and criteria have been set to follow up on when developing tankers, in order to prevent accidents and undesirable consequences. In the thesis, different sub-systems, parts, of which the complex tanker's system is consisted off, are being cited, as well as the most important information about those sub-systems. Thesis ends with an example of tanker Seawise Giant, internationally recognized as the largest tanker ever produced.

**Keywords:** *ship, tanker, classification societies, constructional characteristics*

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OPĆENITO O TANKERIMA .....</b>	<b>2</b>
2.1. PODJELA TANKERA .....	4
2.2. TANKERI U HRVATSKOJ .....	7
<b>3. MATERIJALI I OPTEREĆENJA ZA KONSTRUKCIJU BRODA.....</b>	<b>9</b>
3.1. KLASIFIKACIJSKA DRUŠTVA .....	9
3.2. MATERIJALI .....	10
3.2.1. Čelik.....	10
3.2.2. Aluminijske legure.....	11
3.2.3. Ispitivanje materijala .....	12
3.3. OPTEREĆENJE KONSTRUKCIJE BRODA.....	13
3.3.1. Uzdužna opterećenja .....	14
3.3.2. Dijagonalno opterećenje.....	15
3.3.3. Lokalno opterećenje .....	16
3.4. PRAVILA KLASIFIKACIJSKIH DRUŠTAVA.....	16
<b>4. KONSTRUKCIJSKA OBILJEŽJA TANKERA .....</b>	<b>19</b>
4.1. KONSTRUKCIJA STRUKTURE TRUPA BRODA.....	24
4.2. KONSTRUKCIJE U PROSTORU TANKA .....	27
4.3. JEDNOSTRUKO DNO.....	31
4.4. DVOSTRUKO DNO .....	32
4.5. PREGRADE .....	34
4.6. GROTLA .....	36
4.7. PALUBA .....	38
4.8. PRAMČANI I KRMENI PIK .....	39
4.9. STRUKTURA TANKOVA .....	40
<b>5. SEAWISE GIANT .....</b>	<b>42</b>
<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>44</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>45</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>46</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>47</b>
<b>POPIS KRATICA .....</b>	<b>48</b>

# 1. UVOD

Predmet ovog rada su konstrukcijska obilježja tankera. Tanker je teretni brod za prijevoz tekućih tereta kojemu je čitav prostor za teret podijeljen uzdužnim i poprečnim pregradama na nepropusna odijeljena, koja se nazivaju tankovima, najčešće u službi prijevoza nafte i naftnih prerađevina. Konstrukcijskim obilježjima smatramo zasebne jedinice, dijelove tankera, čijom izgradnjom i zajedničkim djelovanjem se osigurava pravilan i siguran rad tankera. Rad se sastoji od uvoda, četiri poglavlja razrade i zaključka.

Cilj rada jest upoznati se s karakterističnim problemima pri konstrukciji tankera, rješenjima kojima se odgovara na te probleme i konkretnim primjerima kako su ta rješenja u konačnici standardizirana.

U prvom poglavlju rada dan je uvid u pojmove svijeta tankera, općenito o tehnologiji i povijesnom razvoju, te tankerskoj industriji u Hrvatskoj. Industrija tankera se počinje razvijati krajem 19. stoljeća, te brzo dobiva na zamahu, zahvaljujući ranom prepoznavanju ogromnog potencijala kojim se i danas ova industrija još uvijek smatra. Svjetsko potraživanje, tehnološka i materijalna rješenja dovela su do evolucijskog napretka u ovoj industriji, koji su znatno promijenili i preoblikovali izgled svjetske trgovine.

Drugo poglavlje navodi probleme s kojima se konstrukcija broda susreće te razvoj klasifikacijskih pravila kojima se odgovara na te probleme. Kako bi se osigurao pravilan rad tankera, osnivaju se Klasifikacijska društva pojedinih država, utjecajno najistaknutijih u svjetskom pomorstvu. Propisuju se standardi i norme po kojima se osigurava zaštita tankera od vanjskih utjecaja, kao i okoline od utjecaja tankerskih nesreća. Tako se značajno povećava sigurnost od nasukavanja i potonuća, sigurnost po ljudske živote te zaštita od izlivanja nafte u more, kojima je dolazilo do značajnih negativnih posljedica u vidu naftnih mrlja.

Treće poglavlje glavnog dijela rada bavi se konstrukcijskim obilježjima tankera. U vidu konstrukcijskih obilježja, opisana su obilježja, vrste i neke specifičnosti podsustava poput strukture trupa broda, strukture tanka, dvostrukog dna, nepropusnih i kolizijskih pregrada.

Konačno, posljednjem, četvrtom poglavlju naveden je i primjer tankera. Za primjer je odabran tanker Seawise Giant. Ovaj tanker je izgrađen u Japanu, a odabran je radi svoje specifičnosti. Prihvaćen je i poznat kao najveći po nosivosti i najduži tanker na svijetu ikada izgrađen.

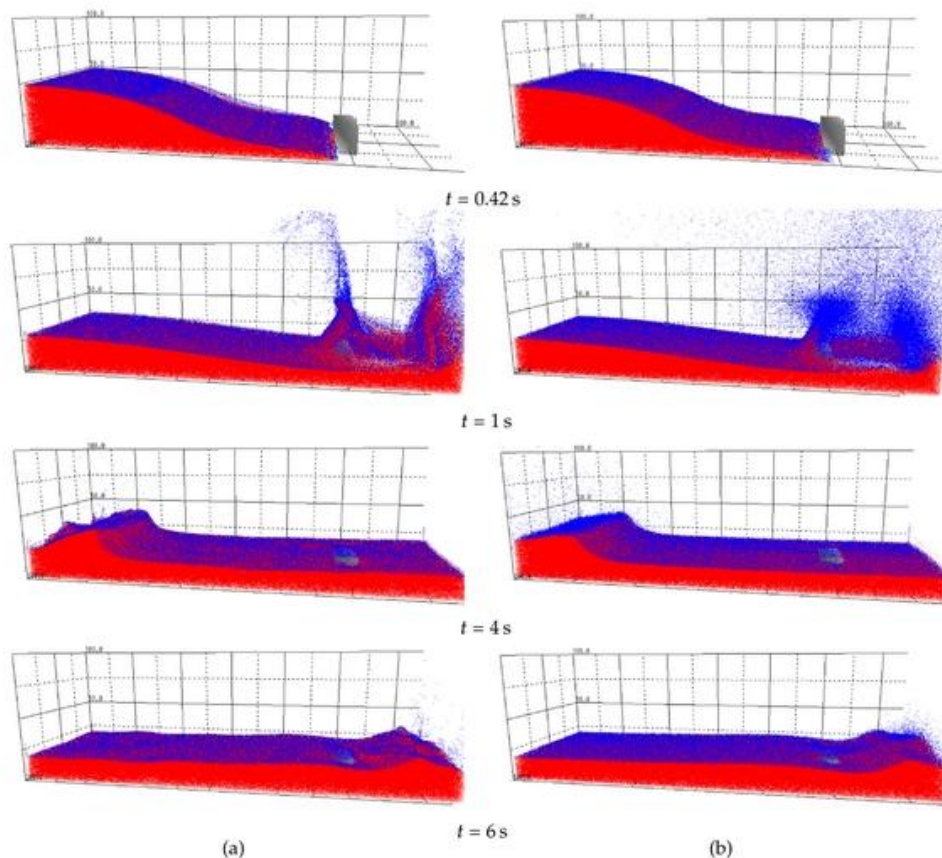
## 2. OPĆENITO O TANKERIMA

Brod jest plovni objekt namijenjen za plovidbu more, čija je duljina trupa veća od 15 m, ili je ovlašten prevoziti više od 12 putnika. Brod može biti putnički, teretni, tehnički plovni objekt, ribarski, javni ili znanstvenoistraživački. Teretni brod jest brod namijenjen za prijevoz tereta s mehaničkim porivom ili bez njega[1].

Tanker je teretni brod za prijevoz tekućih tereta kojemu je čitav prostor za teret podijeljen uzdužnim i poprečnim pregradama na nepropusna odijeljena, koja se nazivaju tankovima[2]. Tankeri su najčešće namijenjeni prijevozu sirove nafte i naftnih prerađevina, kemikalija, asfalta i bitumena. U širem smislu tankerima smatramo i kombinirane brodove za prijevoz rudače, rasutog tereta, ukapljenog plina, pitke vode itd. Tankeri za prijevoz nafte i naftnih prerađevina optimizirani su prema tipu nafte koja se prevozi, području plovidbe i drugo.

Tankeri su relativno nov koncept, prvi tankeri pojavili su se krajem 19. stoljeća i prevozili su naftu iz Meksičkog zaljeva u Englesku. Prethodno ovome, nisu postojala konkretna tehnološka dostignuća koja bi zadovoljila prijevoz većih količina rasutih tekućina. Tekućine su se tako najčešće prevozile u burama. Ovakav način prijevoza predstavljao je nekoliko problema: spremnici nisu bili dovoljno otporni i zaštićeni za prijevoz po nepoželjnim uvjetima, te bi dolazilo do kvarenja ili propuštanja. Razvoj čeličnih i željeznih zapremnina je riješio ovaj problem. Drugi problem bilo je punjenje i pražnjenje većih zapremnina tekućina. Razvoj brojnih efikasnih pumpi je uspio zadovoljiti potrebe za budući razvoj industrije tankera. Posljednji problem bio je efekt slobodne površine, slika 1. Velike količine tekućina unutar broda prouzrokovale su nestabilnosti broda. Nagle promjene u spremnicima, uzrokovane kretanjem broda, stvarale su znatno probleme pri prijevozu. Ovaj problem uspješno je riješen razdvajanjem spremnika na manje podjedinice.

Prvi tanker za prijevoz nafte bio je njemački *Gluckauf* (1886.). U eksploataciji ovog broda posebno dostignuće bila je brzina manipulacije teretom. Teret se tako mogao iskrcati za samo nekoliko sati, u odnosu na prethodno potrebnih nekoliko dana za pretovar istih količina nafte iz drvenih bačvi ili metalnih spremnika. U to doba, u Velikoj Britaniji, kao najrazvijenijoj zemlji svijeta tada, osnivaju se petrolejske kompanije za uvoz nafte iz SAD-a i Crnog mora.



**Slika 1. Efekt slobodne površine; prema [2]**

Istovremeno dolazi i do izuma i širenja primjene motora s unutarnjim izgaranjem, kod kojih zbog niza prednosti tekućih goriva u odnosu na kruta, dolazi do značajno veće potražnje za sirovom naftom, odnosno naftnim derivatima, što konačno dovodi do povećane potražnje za tankerima i povećanom tankerskom tonažom. U godini pred sam početak Drugog svjetskog rata, svjetska tankerska tonaža iznosila je oko 17 milijuna t nosivosti, čiji su vlasnici većinom bili naftne kompanije. U poslijeratnom razdoblju nastavlja se ogroman porast potražnje i potrošnje nafte, a fokus u tankerskoj industriji prelazi na tankere znatno veće tonaže. Već sredinom 60-ih godina ukupan prekomorski promet nafte iznosi oko 850 milijuna t godišnje. Počinju se graditi supertankeri, tzv. VLCC radi svoje profitabilnosti u odnosu na tankere manjih tonaža. 1967. godine zatvaranjem Sueskog kanala, naglo se povećava potražnja za tankerskim prijevozom, što dovodi do prosječne godišnje stope rasta tankerske tonaže od 17%. Tankersko tržište doživljava vrhunac 1973. godine kada se postižu astronomske cijene vozarine, zaljevi su prepuni supertankera, te se tonaža razvija do neslučenih razmjera. Otvaranjem Sueskog kanala dolazi do nepovoljne situacije za brojne tankere.



Veliki broj tadašnjih tankera završava u rezalištima ili služe kao skladišta za sirovu naftu. Danas je najraširenija upotreba tankera srednje tonaže do oko 140 000 t nosivosti.

## 2.1. PODJELA TANKERA

Znatna raširenost tankera u današnjici dovela je i do brojnih podjela tankera, od kojih su najčešće one po veličini i vrsti tereta koji prevoze.

Tako tankere po vrsti tekućeg tereta dijelimo na:

- Tankere za prijevoz sirove nafte,
- Tankere za prijevoz naftnih derivata,
- Tankere za prijevoz ukapljenog prirodnog plina,
- Tankere za prijevoz raznih kemikalija,
- Tankere za prijevoz pitke vode,
- Tankere za prijevoz posebnih tereta.

Tanker se namjenski grade za prijevoz određene vrste tereta, najčešće sirove nafte ili njezinih derivata. Postoje i tankeri za druge vrste tekućih tereta, koja tada iziskuju preinake u konstrukciji i opremi, ali tipičnim tankerom smatra se onaj što prevozi sirovu naftu, koji i po tonaži i po broju brodova nadmašuje sve ostale vrste tankera.

Druga podjela je znatno raširenija podjela tankera i dijeli ih prema nosivosti tankera. Tonaža ili nosivost (*DWT*) je mjera koliko težine brod može nositi. *DWT* je zbroj težina svih tereta, goriva, putnika, posade, itd. na brodu. 1954. godine Shell oil kompanija razvila je *AFRA* sustav klasificiranja tankera prema nosivosti. Kako bi sustav klasificiranja učinili nezavisnim standardom, Shell se konzultirao s Udrugom trgovaca tankerima u Londonu.

Za početak brodovi su bili podijeljeni tek u tri klase: tankeri opće namjene, tankeri srednje kategorije i tankeri za velike udaljenosti. Tankeri opće namjene bili su tankeri jako niske tonaže u rangu 70 000 do 150 000 barela nafte te su služili prijevoz na manje udaljenosti i u principu imali pristup svim lukama. Tankeri srednje kategorije imali su tonažu 190 000 do 345 000 barela nafte. Dok su najveći tankeri u to vrijeme, tonaže do 615 000 barela, služili za trgovine na velike udaljenosti.

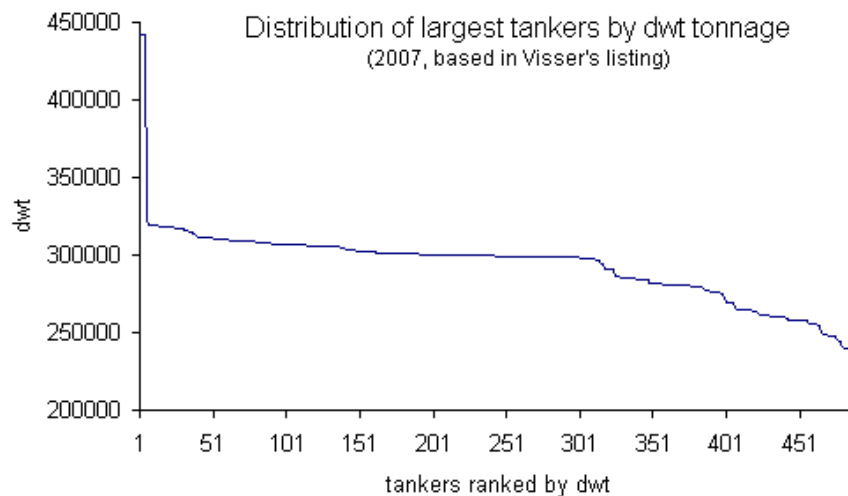
Ovaj sustav klasificiranja služio je radi oporezivanja od strane vlade. Prije 1983. bilo je teško odrediti točnu cijenu nafte, koja se mogla mijenjati svakim kontaktom.

Danas je taj sustav većinski napušten, te se prešlo na sustav promjenjivog tržišta, od tu slijedi tržišna skala prikazana tablicom 1.

**Tablica 1. Podjela tankera prema nosivosti**

AFRA skala		Tržišna skala			
Klasa	Veličina u DWT	Klasa	Veličina u DWT	Nova cijena	Polovna cijena
<i>Tanker opće namjene</i>	10,000 – 24,999	<i>Tanker produkta</i>	10,000– 60,000	\$43M	\$42.5M
<i>Tankeri srednjeg raspona</i>	25,000– 44,999	<i>Panamax</i>	60,000– 80,000		
<i>LR1</i>	45,000– 79,999	<i>Aftamax</i>	80,000– 120,000		
<i>LR2</i>	80,000– 159,999	<i>Suezmax</i>	120,000– 200,000	\$60.7M	\$58M
<i>VLCC</i>	160,000– 319,999	<i>VLCC</i>	200,000– 320,000		
<i>ULCC</i>	320,000– 549,999	<i>ULCC</i>	320,000– 550,000	\$120M	\$116M

Dalje iz slike 2. može se primjetiti da je, s oko 360 plovila, kategorija nosivosti od 280,000 dwt do 320,000 dwt, najpopularnija kategorija za izradu tankera jest VLCC kategorija. Tek sedam plovila je veće od toga[2].

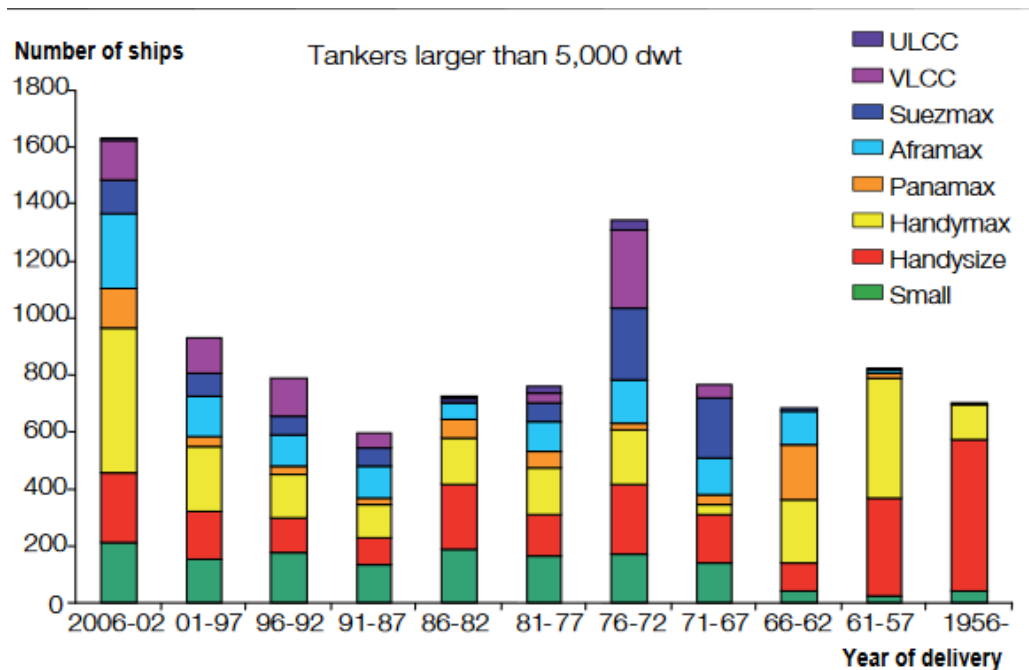


**Slika 2. Distribucija tankera po DWT tonaži; prema[2]**

Tankeri dolaze u različitim veličinama i tipovima ovisno o tržišnoj potražnji. Klasifikacija brodova prema nosivosti i dimenzijama donosi slijedeće kategorije tankera:

- Tankeri produkta su najmanji tankeri u klasifikaciji, korišteni za priobalni prijevoz specifičnih tereta na kratkim udaljenostima, nosivosti do 60 000 dwt,
- Panamax je kategorija brodova osmišljena za prolaz kroz panamski kanal. Kako bi zadovoljio kriterije prolaska, ne smije biti duži od 294,13 m niti širi od 32,13 m. U prosjeku ovi tankeri imaju oko 65 000 dwt i primarno se koriste za prijevoz ugljena i sirove nafte,
- Aframax su srednje veliki naftni tankeri tonaže od 80 000 dwt do 120 000 dwt. Najčešće korišteni za kraću i srednju dugu trgovinu, u regijama s manjom proizvodnjom sirovina ili s manjim lukama bez mogućnosti prihvata većih tankera,
- Suzemax tankeri nazvani su po Sueskom kanalu, nosivošću između 120 000 dwt i 200 000 dwt spadaju u srednju kategoriju tankera. Konstruirani su za prolaz kroz većinu svjetskih luka, trenutne maksimalne vrijednosti za ove tankere su širina od 50 m uz gaz 20.1 m ili 12.2 m gaz uz širinu 77.5 m,
- *VLCC* (eng. Very large crude carriers) nosivošću spadaju između 180 000 dwt i 320 000 dwt. S obzirom na mogućnost prolaska kroz Sueski kanal i mogućnost prihvata u većinu današnjih luka, danas su najrašireniji tip tankera u izgradnji. Cijena ovih tankera na današnjem tržištu je od 100 milijuna dolara do 120 milijuna dolara,
- *ULCC* (eng. Ultra large crude carriers) imaju najveću nosivost, iznad 320 000 dwt. Nazivaju se i super-tankeri. Koriste se za duge trgovine sirove nafte na relacijama Srednji Istok – Europa/Azija/Sjeverna Amerika. Danas je tek nekoliko ovih plovila u uporabi, s obzirom na posebne zahtjeve uzrokovane njihovom veličinom, koje luka mora osigurati za njihov prihvat.

Distribucija tržišta tankerskih klasa 2007. godine, nosivosti preko 5000 dwt, sadržavala je ukupno oko 5300 tankera. Oko 65% tih brodova na tržištu, imalo je nosivost do 55 000 dwt, dok su kategorije tankera Aframax do *ULCC*-ova, brojale tek oko 29% tržište te Panamax tankeri sa 6%. Sa slike 3. vidimo broj tankera isporučenih nakon 1920. godine. Oko 31% tadašnjih tankera isporučeno je u posljednjih pet godina, a 12% tankera u tom trenutku je bilo starije od 25 godina. Prosječna starost tadašnjih tankera bila je nešto manja od 25 godina.



**Slika 3. Godišnje raspodjele brodova po kategorijama nosivosti; prema[2]**

Zaključujemo dakle, da se tankeri općenito dijele na dvije vrste, tankeri za prijevoz prerađene nafte i tankere za prijevoz sirove nafte. Tankeri za prijevoz prerađene nafte dizajnirani za prijevoz nafte i naftnih prerađevina, od industrijskog postrojenja do tržišta za prodaju. Ovi tankeri su općenito manji i kompaktniji u usporedbi sa tankerima za prijevoz sirove nafte. Tankeri za prijevoz sirove nafte su masivni i velike nosivosti, s ciljem sadržavanja većeg broja tankova, odnosno veće nosivosti i kapaciteta prijevoza sirove nafte. Važno je i naglasiti 6 glavnih klasa ovih vrsta tankera:

- Tankeri općeg raspona (General range tankers),
- Tankeri srednjeg raspona (Medium range tankers),
- Tankeri velikog raspona (Large range tankers),
- Veoma veliki tankeri – VLCC (Very large crude carriers),
- Ultra veliki tankeri – ULCC (Ultra large crude carriers).

Shell oil kompanija je prva dizajnirala tonažni sistem kategorizacije tankova i zaslužna je za uvođenje nove terminologije VLCC i ULCC tankera.

## 2.2. TANKERI U HRVATSKOJ

Prvi i jedini tanker Austro-Ugarske monarhije *Etelka*, uplovio je u Rijeku 1892. godine, donoseći 3500 t nafte iz crnomorske luke Batumi. U vrijeme Kraljevine Jugoslavije nije bilo tankerskih brodova, a jedini tanker nosivosti 5000 t bio je u vlasništvu

ratne mornarice. Tek 1950-ih godina domaća brodogradilišta počinju s izradom tankera za zadarskog broдача, a od 60-ih godina počinju i s izradom za inozemne brođare. Uskoro je hrvatska brođogradnja postala prepoznatljiva u svijetu po gradnji tankera.

Mnogi od njih su prema izboru prestižnih svjetskih stručnih časopisa, zbog inovativnosti projektnih rješenja i kvalitete izradbe, proglašeni brođovima godine[3]. U riječkom brođogradilištu 3. maj je 1957. izrađen mali obalni tanker *Golio* nosivosti 570 t, a već 1960. je izgrađen *Petar Zoranić* nosivosti 25 000 t, jedan od prvih velikih tankera u domaćoj brođogradnji. U brođogradilištu je 1957–2015. izgrađeno 86 tankera za naftu, za naftne preradevine, za kemikalije i za asfalt/bitumen. Pulsko brođogradilište Uljanik je 1959. započelo s gradnjom tankera, izgradivši tanker *Ostrava*, nosivosti 20 195 t, namijenjen izvozu u Čehoslovačku. U periodu od 1959. do 2013. Uljanik je izgradio 99 tankera za razne primjene. Uljanik je izgradio i najveći brod u povijesti hrvatske brođogradnje, tanker *Kanchenjunga*, nosivosti 277 120 t i duljine 335 m. U Brodosplitu prvi tanker je izgrađen 1958. godine za Jugotanker, nosivosti 500 t. Već slijedeće godine izrađuje se tanker *Iž* nosivost 20 000 t. Od 1958. do 2011. u splitskom brođogradilištu izgrađena su 134 tankera za razne primjene, što Brodosplit čini vodećim domaćim brođogradilištem po broju isporučenih tankera. Od 2004. do 2007. godine u Splitu su izgrađeni tankeri *Alan Veliki*, *Hrvatska* i *Donat*, slika 4., nosivosti 166 000 t i duljine 281,20 m, najveći tankeri na svijetu izgrađeni u jednome dijelu.



**Slika 4. Tanker Donat; prema [4]**

### **3. MATERIJALI I OPTEREĆENJA ZA KONSTRUKCIJU BRODA**

#### **3.1. KLASIFIKACIJSKA DRUŠTVA**

Zahtjevi brodovlasnika i vlasnika tereta koji se prevoze brodom doveli su prije dvjestotinjak godina do utemeljenja klasifikacijskih društava[5]. Tokom ovog perioda osnovane su pouzdane organizacije za prvotnu i trajnu inspekciju brodova kako bi klasifikacije mogle biti procijenjene i održavane. Sve važnije pomorske države imaju svoja klasifikacijska društva za propis normi. Neka od najvažnijih su[6]:

- Great Britain - Lloyd's Register of Shipping,
- France - Bureau Veritas,
- Germany - Germanischer Lloyd,
- Norway - Det Norske Veritas,
- Italy - Registro Italiano Navale,
- United States of America - American Bureau of Shipping,
- Russia - Russian Register of Shipping,
- Japan - Nippon Kaiji Kyokai,
- Hrvatska – Hrvatski registar brodova.

Klasifikacijska društva izdaju pravila i regulative koja se odnose na čvrstoću broda, opremljenost s adekvatnom opremom i sposobnost rada strojeva.

Najstarije osiguranje je Lloyd Register of Shipping, osnovano u Velikoj Britaniji 1760. godine. Brodovi se mogu izgraditi u skladu s bilo kojim normama, neovisno o klasifikacijskom društvu države u kojoj se izgrađuje. Klasifikacija broda nije obavezna, ali brodovlasnik neklasificiranog broda će morati proći druge testove regulatornih tijela neke države vezane uz sigurnost izrade.

Za zadržavanje određene klase plovilo mora biti pregledano od strane klasifikacijskog društva u redovitim vremenskim periodima. Primjerice ispitivanja se mogu vršiti na godišnjoj razini, zatim ispitivanja u pristaništu, ispitivanja pod vodom, posebna ispitivanja provedena svako 5 godina i zamjenska ispitivanja koja se vrše kao skupno ispitivanje posebnih i godišnjih ispitivanja. Također, da bi brod zadržao klasu pri popravcima i izmjenama, nužno je ispitivanje tokom ili neposredno nakon dovršetka istih radova.

## 3.2. MATERIJALI

### 3.2.1. Čelik

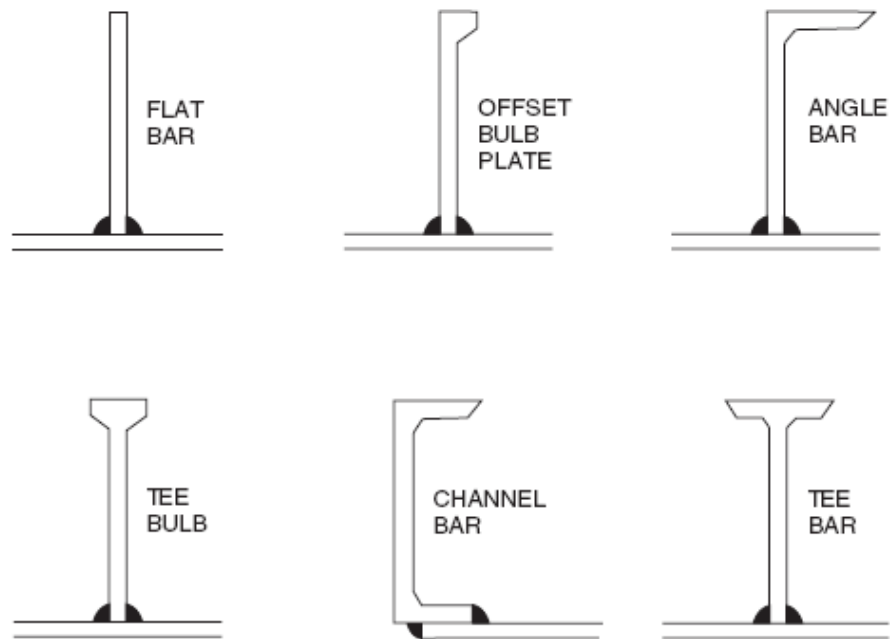
Proizvodnja čelika za brodograđevne potrebe započinje taljenjem željezne rude čime dobivamo sirovo željezo. Takvo sirovo željezo nakon pročišćenja obično sadrži od 92% do 97% željeza. Čelik se generalno smatra legurom željeza i ugljika, gdje iznos ugljika u postotcima iznosi od 0.1% za meki čelik, do 1.8% za jače čelike. Zavisno o daljnjem miješanju čelika s drugim oplemenjivačima možemo dobiti i neke druge vrste čelika poput lijevanog čelika, lijevanog željeza, kovanog čelika i čelika koji ne rđa. Lijevani čelik služi pri izradi masivnih komada, statvenih cijevi, dijelova kormila, itd. Kovani čelik služi za glavne osovine, osovinu kormila i masivne dijelove koji se spajaju zavarivanjem. Nehrdajući čelik služi za izradu brodske opreme, opreme kuhinje i drugo. Nehrdajući čelik je najskuplja vrsta čelika, te je iz tog razloga njegova upotreba na teretnim brodovima ograničena.

Brodograđevni čelik korišten za izradu trupa broda najčešće je meki čelik koji sadrži od 0.15% do 0.23% ugljika i relativno visok sadržaj mangana. Primjese sumpora i fosfora se drže na minimalnim razinama, ispod 0.05%. Brodograđevni čelici moraju proći nekoliko ispitivanja i testova kako bi zadovoljili norme klasifikacijskih društava. Materijali su izvrnuti raznim naprezanjima pod utjecajem vanjskih sila, valova i slično. Mehanička svojstva materijala koja se testiraju su:

- Čvrstoća – sila kohezije kojom se tijelo odupire utjecaju vanjskih sila,
- Elastičnost – osobina tijela da se vrati u svoj prvobitni oblik nakon prestanka djelovanja sile koja je dovela do promjene,
- Žilavost – svojstvo materijala da podnese trajne i nagle promjene oblika, a da se pritom ne deformira,
- Tvrdća – osobina materijala da se odupre prodiranju drugog tijela u njega.

Osim ovih mehaničkih svojstava materijala važna su fizička svojstva materijala (toplinska vodljivost, magnetske i električne osobine, talište, itd.) i kemijska svojstva materijala (otpornost na kiseline, lužine i slično).

Širok je raspon raznovrsnih profila i limova čelika koje se proizvode. Najčešći oblici prikazani su na slici 5. Poželjno je pri izradi koristiti već postojeće oblike, standardne uzorke, u suprotnome bi se morale vršiti brojne prilagodbe pri proizvodnji koje su neekonomične.

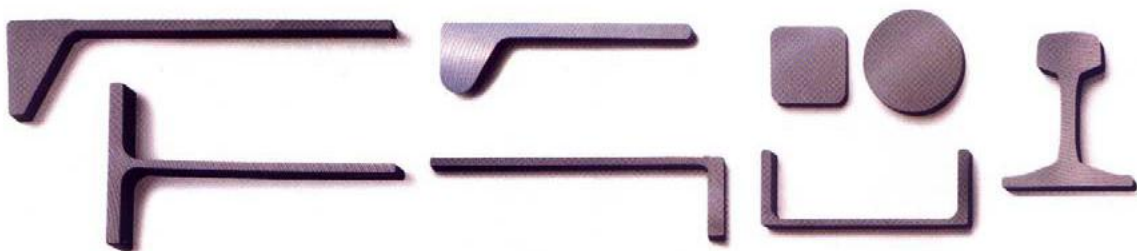


**Slika 5. Čelične sekcije u brodogradnji; prema [7]**

Gdje je:

*Flat bar* – ravni profil; *offset bulb plate* – izbočeni reljefni lim; *angle bar* – kutni profil; *tee bulb* – t-lim; *channel bar* – kanalica; *tee bar* – t-profil.

Limovi su ravne ploče pravokutna oblika, debljine 0,5 mm – 60 mm. Osim ravnih postoje i rebrasti limovi, koji služe za opločenje paluba, podova strojarnica, stubišta i slično. Profili, slika 6. imaju različite oblike, a mogu biti jednostavni, sastavljeni ili razni.



**Slika 6. Profili u brodogradnji; prema [6]**

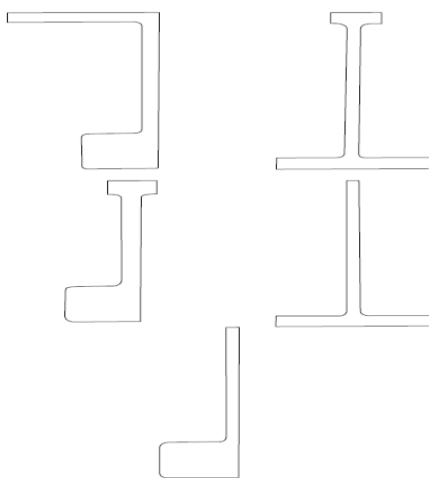
### 3.2.2. Aluminijske legure

Aluminij se dobiva od rude boksita. Vrlo je lagan, posebno s obzirom na jako visoku čvrstoću, može se gnječiti i valjati. Aluminijske legure izrađuju se s 93% aluminija, 3-5% magnezija, a ostalo su primjese silicija, mangana, kroma, titana, željeza i bakra.



Tri su važne prednosti legura aluminija naspram mekog čelika u svrhama brodogradnje. Prvenstveno, aluminij je lakši od mekog čelika. Aluminij teži oko  $2.7 \text{ t/m}^3$ , dok čelik teži oko  $7.83 \text{ t/m}^3$ .

Pretpostavlja se, da koristeći aluminij može se ostvariti ušteda od oko 60% težine u odnosu na čeličnu strukturu[7]. Ovo je ujedno i najvažnija prednost korištenja aluminijskih legura u brodogradnji. Druge dvije važne prednosti su velika otpornost na koroziju i bolja magnetska svojstva aluminija. Otpornost na koroziju može se postići i kod čelika, ali iziskuje brojne dodatne tehnike izrade i izolacije. Bolja magnetska svojstva, tj. nemagnetičnost aluminija, od značajnije je koristi tek u brodogradnji vojnih brodova, nije posebno značajna kod trgovačkih brodova. Najistaknutija mana aluminijskih legura jest znatno viši početni trošak prilikom izrade. Pretpostavlja se da je trošak uporabe aluminijskih legura 8 do 10 puta veći od čelika. Danas se aluminij koristi pri izradi višetrupnih brodova i brodova visokih brzina, gdje je potreban visok omjer čvrstoće naspram težine. Aluminijske legure koriste se za izradu nadgrađa broda, stubišta, okvira i poklopaca brodskih prozora, dijelova oko magnetskog kompasa, tankova za tekućine, gradnju čamaca i splavi za spašavanje. Na slici 7. prikazane su sekcije aluminijskih legura u brodogradnji.

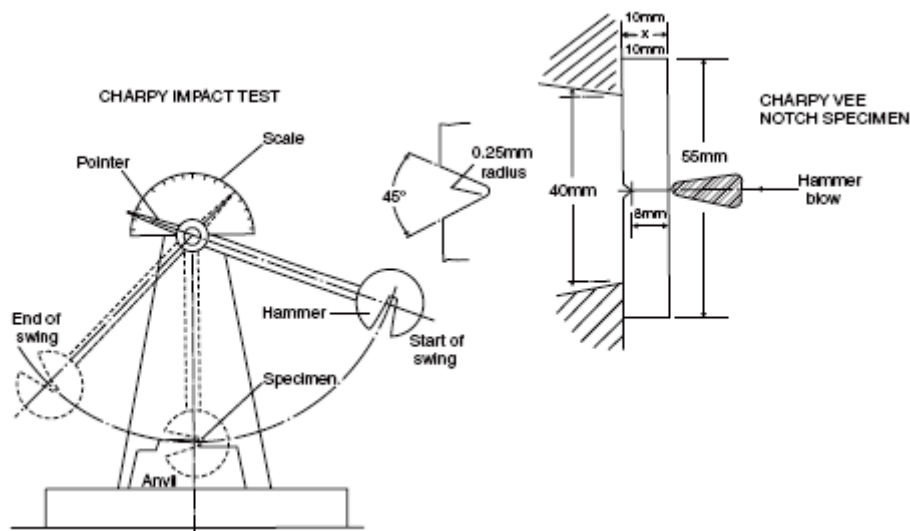


**Slika 7. Sekcije aluminijskih legura; prema [7]**

### **3.2.3. Ispitivanje materijala**

Klasifikacijska društva postavljaju norme i testove za ispitivanje materijala koji se koriste u brodogradnji. Destruktivni testovi obavljaju se na uzorcima dobivenim iz konačnog produkta u skladu sa zahtjevima društava. Ovi testovi najčešće se obavljaju u formi testa rastezljivosti i testa udarne žilavosti.

- Test rastezanja – Osnovni princip ovog testa je uzimanje uzorka zadanih dimenzija i rastezanje po svim osima. Kao rezultati testa dobivaju se minimalni specifični napor popuštanja, krajnji napor rastezanja i produljenje,
- Test udarne žilavosti - Pri ispitivanju žilavosti udarnim klatnom ukupno trenje kod punog njihaja klatna ne smije prelaziti 0,5 % potencijalne energije. Ovu vrijednost treba pokazati prije početka ispitivanja. Utvrđuje se utrošena energija udara (prijeloma), uobičajeno u džulima [J]. Najpoznatiji test udarne žilavosti poznat je kao Charpyjev test, slika 8. Uzorak se postavlja na nakovanj te se pušta njihalo kako bi udarilo uzorak i razbilo ga. Bilježi se energija koju njihalo apsorbira u trenutku udarca i na temelju te energije računaju se svojstva materijala.

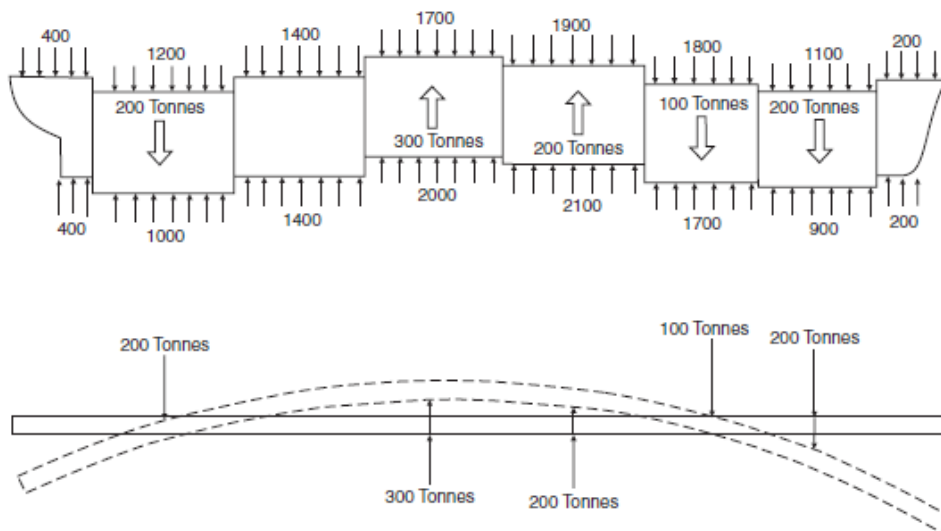


**Slika 8. Charpyjev test udarne žilavosti; prema [6]**

### 3.3. OPTEREĆENJE KONSTRUKCIJE BRODA

Čvrstoća broda je svojstvo broskog trupa da u cijelosti i mjestimično preuzme i izdrži globalna i lokalna statička opterećenja na mirnoj vodi od vlastite težine, tereta, zaliha i posade, te dinamička opterećenja uslijed okolišnih uvjeta neizvjesnih u naravi u cijelom predviđenom vijeku korištenja, na valovima, po vjetru, ledu i strujanjima u lukama i na moru, kao i moguća dodatna opterećenja pri pristajanju, sudarima ili nasukavanju[6]. Čvrstoća broda ponajviše ovisi o materijalu izrade trupa, dimenzijama, geometriji i izvedbama spojeva građevnih elemenata. Ona se provjerava na osnovi kriterija čvrstoće teoretski, potvrđuje praktično i standardizira u obliku pravila za izgradnju brodova.

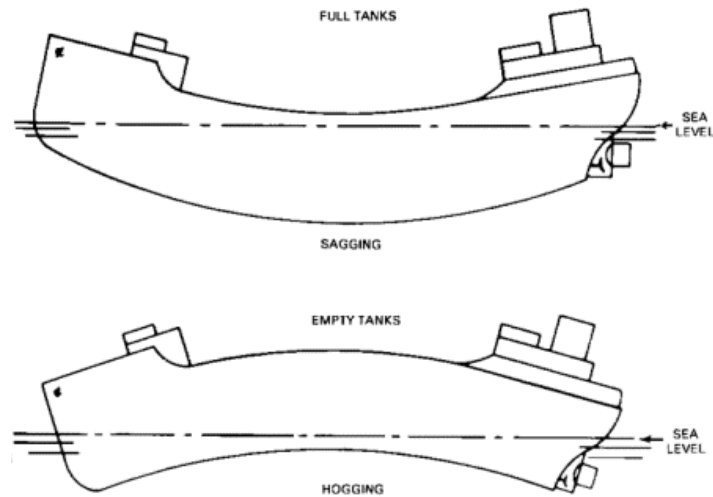
Brodski trup na moru izložen je vanjskim utjecajima. Vanjski utjecaj dovodi do brojnih opterećenja, kao što su valovima izazvano okomito i vodoravno savijanje, torzija te statička opterećenja od tereta. Na homogeno plutajuće tijelo konstantno djeluju oprečni sila teža i uzgon, stoga nema deformacija na sekcijama broda. Problem nastaje zbog raznolike raspodjele tereta na brodu. Na taj način dolazi do viška težine ili viška uzgona na nekim sekcijama broda, te pojave sila koje nazivamo vertikalnim opterećenjima, slika 9.



**Slika 9. Vertikalna i horizontalna opterećenja; prema [7]**

### 3.3.1. Uzdužna opterećenja

U ekstremnim slučajevima kada se, primjerice, brijeg vala nalazi na sredini broda, tada je većina uzgona fokusirana na sredini broda pa na tom dijelu postoji znatno veći uzgon od težine. Tada se brod nalazi u pregibu, tj. njegove gornje veze opterećene su na vlak, a njegove donje veze na tlak. Obrnuti slučaj vrijedi kada središte broda se nalazi u dolu valova. Tada dolazi do progiba broda, tj. u uzdužnim vezama palube javlja se tlak, a uzdužnim vezama dna vlak, slika 10.

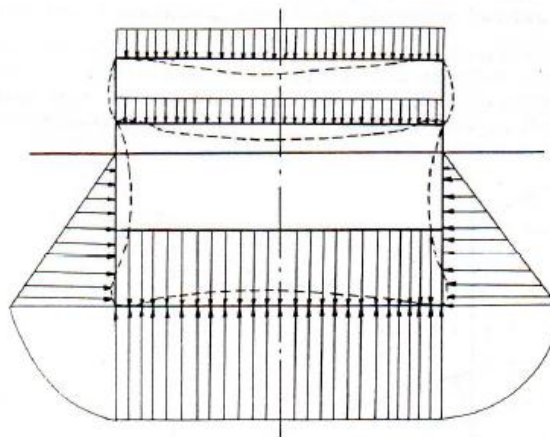


**Slika 10. Karikatura pregiba i progiba broda prilikom savijanja; prema [6]**

### 3.3.2. Dijagonalno opterećenje

Kada na brod djeluje dijagonalno sile, mijenja se oblik poprečnih sekcija i na taj način dolazi do poprečnih (dijagonalnih) opterećenja, slika 11.

Ove sile mogu proizvesti hidrostatički tereti i udari valova ili tereta na strukturalnu težinu. Razlikujemo istežanje i torziju, kao statičko i dinamičko dijagonalno opterećenje. Do istežanja, statičkog opterećenja, dolazi djelovanjem hidrostatičkog tlaka. Gornje palube izložene su opterećenju od vodenog stupca uslijed prelijevanja valova preko palube i od tereta, ako se teret prevozi na gornjoj palubi. Donja paluba i dno opterećeni su težino tereta i brodskih uređaja. Manji dio opterećenja čini i vlastita težina konstrukcije.

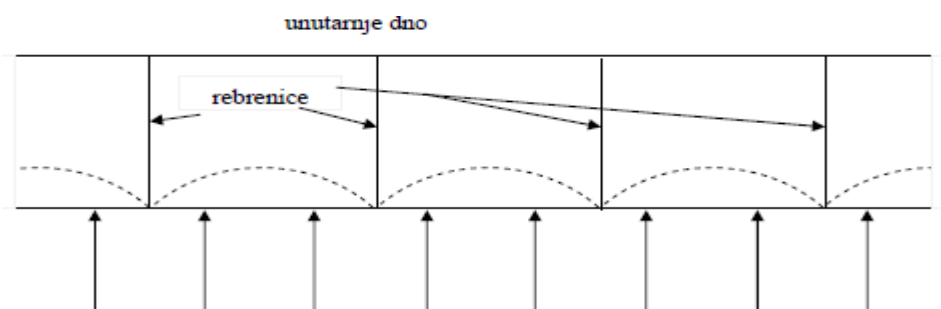


**Slika 11. Opterećenje i deformacije poprečnog presjeka brodskog trupa; prema [6]**

Torzija nastaje kad se plovilo kreće. Nastaje pod utjecajem valova i hidrodinamičkog tlaka. Brod koji pod kutom od 45 stupnjeva nailazi na val, doživljava uvijanje u različitim smjerovima na suprotnim stranama. Ovo opterećenje je najčešće zanemarivo u odnosu na ostala opterećenja pa mu se ne pridaje posebna važnost. Jedinu važnost ima kod brodova sa ekstremno širokim palubama.

### 3.3.3. Lokalno opterećenje

Pojedini konstruktivni elementi broskog trupa izvrnuti su i znatnom lokalnom opterećenju, slika 12. Primjerice, opločenje dna i bokova je pod utjecajem lokalnog savijanja između ukrepa od pritiska vode. Znatna lokalna opterećenja nastaju ispod jarbola koji nose teške samarice za ukrcaj tereta, ispod temelja topova, itd. Često se javljaju i kod porinuća i pristajanja broda. Znatnija dinamička opterećenja nastupaju i prilikom udarca pramca od valove.



Slika 12. Lokalna savijanja oplata dna zbog tlaka vode; prema [6]

## 3.4. PRAVILA KLASIFIKACIJSKIH DRUŠTAVA

Pravila klasifikacijskih društava ustanovljuju jedini međunarodno priznati tehnički standard za projektiranje i gradnju brodskih konstrukcija. Nastavak poglavlja temelji se na standardnima klasifikacijskog društva *Det Norske Veritas*.

Opterećenja na mirnoj vodi posljedica su razlike raspodjele težine i uzgona po duljini broda. Nisko frekventna valna opterećenja sastoje se od okomitih, uzdužnih i torzijskih opterećenja, dok visoko frekventna opterećenja nastaju kao posljedica udaranja i istezanja.

Ukupni moment savijanja koji djeluje na brodski trup određen je kao zbroj momenata na mirnoj vodi i valovima:

$$M_t = M_{sw} + M_w \quad (1)$$

Gdje je:

$M_{sw}$  – Najveća vrijednost momenta na mirnoj vodi u progibu ili pregibu proizašla iz stanja krcanje broda,

$M_w$  – Valni moment savijanja broda propisan pravilima klasifikacijskih društava za osnovnu klasu.

Uzimajući u obzir statističku kombinaciju između momenata na mirnoj vodi i valnih momenata, dolazimo do izraza:

$$M_t = k_{sw}M_{sw} + k_wM_w \quad (2)$$

Gdje su:

$k_{sw}$  i  $k_w$  – Faktori kombinacije opterećenja.

Za stanja nakon sudara brod ne može ploviti velikom brzinom i mora izbjegavati teško more.

To rezultira smanjenom valnom visinom, pa se i valni moment može uzeti manji od ekstremnih projektnih stanja. Uzimajući u obzir i utjecaj dinamičkih opterećenja dolazimo do formule za ukupni moment savijanja:

$$M_t = k_{sw}M_{sw} + k_w(M_w + k_dM_d) \quad (3)$$

Gdje je:

$k_d$  – Faktor kombinacije opterećenja u odnosu na dinamički moment savijanja  $M_d$  koji se javlja uslijed udaranja,

$M_d$  – Srednja vrijednost ekstremnog dinamičkog valnog momenta pri stanju mora po kojem se računa i valni moment savijanja. Za tankere je približno  $0.115 M_w$  u progibu i 0 u pregibu.

Zahtjev klasifikacijskog društva na okomito savijanje broskog trupa unutar središnjeg dijela broda u duljini od  $0.04 L$  izraženi su usuglašenim zahtjevom *IACS-a S11* uz slijedeća ograničenja u primjeni:

- $L < 500$  m,

- $L / B > 5$ ,
- $B / D < 2.5$ ,
- $C_B$  (koeficijent punoće)  $\geq 0.6$ .

U slučajevima kada je brod izvan standarda, odnosno jedan ili više navedenih uvjeta nije zadovoljen, opterećenja se dobivaju posebnim razmatranjem. Osnovni zahtjev uzdužne čvrstoće broskog trupa definiran je usuglašenim zahtjevom *IACS-a UR S11* i prihvaćen je od svih klasifikacijskih društava.

Valni momenti savijanja u okomitoj ravnini:

$$M_w = +190 M C_w L^2 B C_B * 10^{-3} \quad \text{pregib} \quad (4)$$

$$M_w = -110 M C_w L^2 B (C_B + 0.7) * 10^{-3} \quad \text{progib} \quad (5)$$

Gdje je:

$M$  – Valni moment,

$B$  – Širina broda,

$L$  – Duljina broda.

Propisana raspodjela momenta savijanja na mirnoj vodi predmet je zahtjeva pojedinog klasifikacijskog društva. Valni momenti savijanja u uzdužnoj ravnini nisu predmet standarda, jer je njihova vrijednost znatno manja od vrijednosti momenata u okomitoj ravnini. Pravila klasifikacijskih društava uzimaju ih obično u razmatranje u kombinaciji s vertikalnim i torzijskim momentima kod valjanja u nagnutim stanjima i plovidbi koso na valove.

Provjera uzdužne čvrstoće broskog tipa podrazumijeva usporedbu postignutog momenta otpora za palubu i dno s minimalno zahtijevanim, provjeru naprezanja izazvanu opterećenjem broskog trupa kao grede i proračun granične čvrstoće broskog trupa.

Zahtjevi na moment otpora glavnog rebra u načelu se izražavaju kao:

$$M_{sw} + yM_{w10-8} \leq nR \quad (6)$$

Gdje je:

$M_{w10-8}$  – Valni moment savijanja na osnovi vjerojatnosti pojavljivanja  $10^{-8}$ ,

$R$  – Karakteristična otpornost strukture, odnosno plastičnost,

$y$  – Faktor skaliranja opterećenja,

$n$  – Faktor iskoristivosti.

## 4. KONSTRUKCIJSKA OBILJEŽJA TANKERA

Mali tankeri, do 75 m dužine, namijenjeni priobalnoj trgovini imaju jednu uzdužnu pregradu po sredini, stvarajući tako dva poprečna tanka. Strojevi se nalaze na krmi broda, a ekspanzijski trup, ako postoji, nalazi se uzduž prostora tanka. Veći oceanski tankeri imaju barem dvije uzdužne prepreke ostvarujući tako tri ili više poprečnih tankova. Strojevi se također nalaze na krmi broda. U nastavku poglavlja naglasak će biti na konstrukciji većih prekoceanskih tankera. Ti tankeri bi se pak mogli razdvojiti u dvije klase: brodovi za prijevoz naftnih prerađevina, tonaže u rasponu od 12 000 dwt do 50 000 dwt; tankeri za prijevoz sirove nafte koji idu do čak 500 000 dwt. Prvotno navedeni brodovi odlikuju se većim brojem tankova i složenijim sustavima crpki koji tako omogućuju prijevoz raznolikijih produkata tokom jednog putovanja.

Oba tipa tankera tradicionalno su jednodijelni palubni brodovi s uzdužnim preprekama i strukturom unutar tankova koja se sastoji od rešetaka longitudinalnih i poprečnih objekata. Strukturalna obilježja tankova određena su zahtjevima *MARPOL* konvencije. Nakon 1980. godine tankeri za prijevoz sirove nafte preko 20 000 dwt i tankeri za prijevoz naftnih prerađevina preko 30 000 dwt obavezni su ugraditi tankove za balast koji su odvojeni od tankova za teret (*SBT* tankovi). Kapacitet *SBT*-ova se određuje tako da tanker i dalje može sigurno obavljati balastna putovanja bez regresa na uporabu tankova za teret za balastne vode. *SBT*-ovi se nalaze unutar dužine tankova za teret kako bi pružili mjeru sigurnosti kod izlivanja nafte pri sudarima ili drugim nesrećama. Zaštitna lokacija ovih tankova postigla je efekt punog ili djelomičnog dvostrukog dna i pomoćnih tankova u prostoru tankova za teret. Naknadnim promjenama *MARPOL* određuje da svaki tanker preko 5000 dwt izgrađen nakon 1993. mora imati potpunu dužinu tanka za teret zaštićenu balastnim tankovima ili drugim prostorima koji ne sadrže teret ili naftu.

Tankeri su danas opremljeni sustavima za protupožarnu zaštitu, sustavima pranja tankova sirovom naftom i sustavom inertnog plina. Također radi veće sigurnosti tankeri moraju zadovoljiti slijedeće propise koji nalaži:

- Ugradnju dvostrukog dna po cijeloj duljini broda,
- Ugradnju dvostruke oplata trupa,
- Ugradnju tankova za balast odvojeno od tankova tereta.

Svrha ovih strogih zahtjeva je osigurati zaštitu mora i priobalja od zagađenja naftom i naftnim derivatima.



Konvencija o sprečavanju zagađivanja mora sa brodova (*MARPOL 73/78*) posebno se odnosi na konstrukciju tankera kao velikih potencijalnih zagađivača morskog ekosustava. Godine 1992. organizacija *IMO* usvaja dvije nove odredbe za sprječavanje onečišćenja s brodova, pravila 13F i 13G[8].

#### **Sažetak pravila 13F: Sprječavanje zagađivanja uljem u slučaju sudara**

- Pravilo se primjenjuje na gradnju novih tanker nosivosti preko 600 dwt, novije od 6. siječnja 1994.,
- Tankovi tereta moraju cijelom dužinom biti zaštićeni balastnim tankovima ili drugim tankovima koji nisu za gorivo ili teret:
  - Bočni tankovi – moraju obuhvatiti cjelokupni bok broda ili moraju obuhvatiti prostor od vrha tankova dvostrukog dna do najgornje brodske palube. Moraju biti konstruirani tako da tankovi tereta budu smješteni unutar broda ne dodirujući vanjsku oplatu broda,
  - Tankovi dvostrukog dna – Na bilo kojem mjestu na brodu, visina tankova dvostrukog dna mora biti takva da iznos visine između dna tanka tereta i dna tanka dvostrukog dna mjerena pod pravim kutom ne daje vrijednost manju od  $B/15$  (u metrima) s maksimumom od 2 metra i minimumom od jednog metra,
  - Kada postoji razlika između visine tankova dvostrukog dna i širine bočnih tankova, odnos između njih mora biti u korist širine bočnih tankova u omjer 1:1.5,
  - Ukupni kapacitet balastnih tankova – Ukupnih kapacitet bočnih tankova, tankova dvostrukog dna, pramčanih i krmelih tankova, kod tankera nosivost preko 20 000 dwt, ne smije biti manji od kapaciteta tankova za čisti balast. Dodatni tankovi čistog balasta koji služe za smanjenje naprezanja broskog trupa mogu se smjestiti bilo gdje unutar broda,
  - Ventili za osušivanje u tankovima tereta – dijelom mogu zalaziti i u prostore tankova dvostrukog dna ispod granice određene parametrom visine dvostrukog dna uz uvjet da su ti ventili što je moguće manji i da su udaljeni od dna tanka dvostrukog dna minimalno pola metra,
  - Cjevovodi za balast i teret - ne smiju prolaziti kroz tankove tereta, niti kroz balastne tankove,

- Tankeri ukupne nosivosti do 5000 dwt moraju imati barem tankove dvostrukog dna visine  $B/15$  (u metrima) uz minimalan iznos 0.76 m. Tankovi tereta moraju biti konstruirani tako da kapacitet svakog pojedinog tanka ne prelazi  $700 \text{ m}^3$  ukoliko na brodu ne postoje bočni tankovi čija širina ne iznosi minimalno 0.76 m,
- Za tankere nosivosti preko 20 000 dwt pretpostavljena su oštećenja na trupu prilikom sudara ili nasukanja: 0.4L ili 0.6L mjereno od pramčane statve u uzdužnoj udaljenosti;  $B/3$  na bilo kojem dijelu tankera u bočnoj udaljenosti; probijanje vanjske oplate tankera u vertikalnoj udaljenosti,
- Mogu se prihvatiti i drugi nacrti konstrukcije tankera za prijevoz nafte pod uvjetom da garantiraju barem isti stupanj zaštite od zagađenja naftom u slučaju sudara, te da su odobreni od strane Komiteta za zaštitu pomorskog okoliša,
- Prilikom odobravanja nacrti i konstrukcije tankera vlasti moraju voditi računa o interesima opće sigurnosti, uključujući i potrebu za održavanjem i pregledom bočnih tankova te ostalih prostora.

**Sažetak pravila 13G: Sprječavanje zagađivanja uljem u slučaju sudara ili nasukanja, mjere za postojeće tankere**

- Zahtjevi se odnose na tankere za prijevoz sirove nafte preko 20 000 dwt i tankere za prijevoz naftnih prerađevina preko 30 000 dwt, osim onih tankera koji zadovoljavaju Pravila 13F,
- Zahtjevi ovo pravila vrijede za tankere izrađene nakon 06. srpnja 1995.,
- Tankeri za prijevoz nafte na koji se odnose zahtjevi ovog pravila podvrgavat će se periodičnim izvanrednim i godišnjim pregledima toliko često koliko je to minimumom odredila organizacija,
- Tanker starosti 5 ili više godina na koji se odnose zahtjevi ovog pravila mora imati cjelokupnu dokumentaciju o zadovoljenim pregledima od strane nadležnog tijela organizacije,
- Tanker koji ne zadovoljava uvjete koje je propisala organizacija mora udovoljiti zahtjevima pravila 13F ako je stariji od 25 godina, osim ako posjeduje bočne tankove ili tankove dvostrukog dna u kojima ne prevozi teret, a koji odgovaraju dimenzijama koji propisuje pravilo 13E ovog aneksa. Ukoliko kapacitet bočnih tankova ili tankova dvostrukog dna iznosi minimalno 30% od prostora tankova tereta tanker ne podliježe zahtjevima pravila 13F osim ako je stariji od 30 godina.

- Ako radi zadovoljavanja pravila 13F na tankeru se vrše promjene krcaja ili iskrcavanja balasta ili tereta, tanker se mora podvrgnuti novim testiranjima koja će provesti nadležna tijela organizacije.

Važne odredbe o tankerima sadržava *SOLAS* konvencija iz 1974. godine kojom se utvrđuju potrebni certifikati koje tanker mora imati. Protokolom iz 1978. godine uvodi se niz odredbi koje se odnose na zaštitu od požara i eksplozije. Svaki novi tanker nosivosti preko 20 000 dwt mora biti opremljen stalnim uređajem za gašenje požara pjenom i stalnim uređajem za gašenje požara inertnim plinom.

#### **Sustav zaštite od požara:**

Sustavi za gašenje požara na tankerima projektiraju se i konstruiraju u skladu sa zahtjevima *SOLAS* konvencije, a pod nadzorom određenih klasifikacijskih društava i naručitelja broda. Općenito, po opasnosti od požara, brod dijelimo na tri kompleksa: skladišni prostori (tankovi), strojarnica i nadgrađe. Brodska strojarnica je najrizičniji prostor na brodu. Statistički je pokazano da se u tom dijelu događa najveći broj požara. Radi dojave o požaru postavljaju se termometri i detektori dima. U slučaju detekcije požara aktiviraju se alarmi upozorenja, nakon kojih članovi posade djeluju po prethodno danim naređenjima. Nakon utvrđivanja karakteristika požara donosi se odluka o načinu gašenja požara, mogući načini su gašenje:

- Vodom,
- Prahom,
- Pjenom,
- Ugljičnim dioksidom,
- Inertnim plinom,
- Halonom.

Sustav gašenja požara vodom čine protupožarna pumpa vode koja se nalazi u strojarnici, protupožarni cjevovod od protupožarne fleksibilne cijevi i mlaznice. Sustav za gašenje požara ugljičnim dioksidom je univerzalan za gašenje požara na svim brodovima i brodskim prostorima. Za dovod ugljičnog dioksida se koriste iste cijevi kao i za dovod zraka.

Sustav za gašenje požara pjenom koristi se najčešće na tankerima za prijevoz nafte i naftnih prerađevina. Postoje tri vrste pjene: laka pjena (za gašenje požara u strojarnici), srednja pjena (za gašenje požara u pumpnim stanicama), teška pjena (za gašenje požara na palubi).

Od protupožarnih sustava na tankerima za prijevoz nafte i naftnih prerađevina, sustav inertnog plina je najvažniji i najefikasniji kao preventiva. Praksa je pokazala da u većini slučajeva, usprkos cijeloj opremi, u slučaju požara nafte i naftnih derivata lako dolazi do eksplozija, pa su sve naknadne akcije kasne i uzaludne.

### **Sustav inertnog plina:**

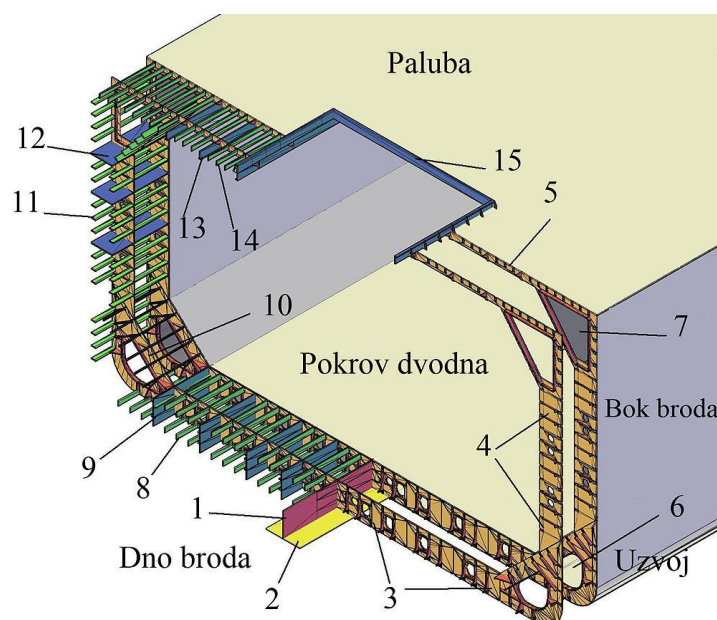
Prilikom prijevoza nafte oslobađaju se eksplozivne pare ugljikovodika. Sadržaj atmosfere u tanku iznad tereta ovisi o vrsti tereta, temperaturi tereta i tlaku, a opasnost od eksplozije je prisutna uvijek kad tankovi tereta nisu propisno inertirani. Do eksplozije u tankovima tereta može doći ako su ispunjeni slijedeći uvjeti:

- Postojanje zapaljivih para ugljikovodika koje nastaju isparavanjem tereta u tanku ili isparavanjem smjese koja se nataložila na dnu tanka nakon iskrcaja,
- Postojanje kisika u zapalljivoj smjesi u koncentraciji većoj od 5%,
- Izvor paljenja, nekakav elektricitet, otvoreni plamen, mehanička iskra ili slično.

Ukoliko je moguće kontrolirat jedan od tri uvjeta, ili ga u potpunosti ukloniti, tada do eksplozije neće doći. Najjednostavniji i najsigurniji odabir je kontroliranje koncentracije kisika. Uvođenjem inertnog plina kontrolira se atmosfera u tanku, na način da se postotak kisika održava ispod 5%. Inertni plin je plin koji ne gori niti podržava gorenje. Iznimno efikasan je čisti dušik, ali je njegova proizvodnja znatno skuplja. Za dobivanje inertnog plina na brodu se koristi generator inertnog plina, ispušni plinovi iz brodskih kotlova i ispušni plinovi pomoćnih motora za koje mora postojati uređaj za sagorijevanje kisika. Postoje dva načina inertiranja tankova tereta. Inertiranje tankova potiskivanjem inertni plin uvozi u tank malom brzinom i potiskuje eksplozivne pare, koje kroz odušni ventil odlaze u atmosferu. Inertiranje tankova tereta miješanjem inertnog plina i zapaljivih para tereta inertni plin se uvodi velikom brzinom. Zbog velike brzine inertni plin lako dolazi do dna tanka i miješanjem se stvara homogena smjesa inertnog plina i zapaljivih para koja iz tanka izlazi kroz ventilacijski otvor na vrhu tanka. Tijekom inertiranja tankova potrebno je na više mjesta u tanku i na različitoj visini mjeriti sadržaj kisika i eksplozivnih para kako bi bili sigurni da je inertiranje uspješno provedeno i da ne prijete opasnost od eksplozije.

#### 4.1. KONSTRUKCIJA STRUKTURE TRUPA BRODA

Trup je vodonepropusna struktura broda ili čamca. Iznad trupa nalazi se nadgradnja i palubne kućice. Linija gdje se sastaje trup s površinom vode naziva se vodna linija. Struktura trupa broda ovisi najviše o vrsti broda. U tipičnom modernom čeličnom brodu, struktura se sastoji od uzdužnih i poprečnih čeličnih profila i traka koji su presvučeni oplatom. Uzdužni i poprečni profili daju brodu čvrstoću, dok oplata daje brodu nepropusnost. Osnovni elementi trupa broda prikazani su na slici 13., te su ispod slike navedeni nazivi označenih elemenata.



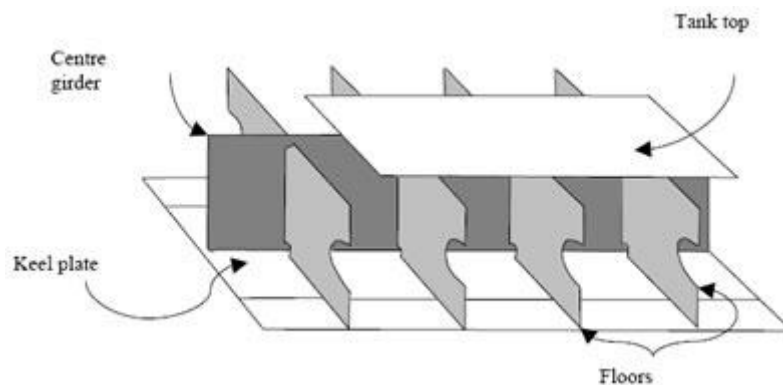
**Slika 13. Osnovni elementi trupa broda; prema [11]**

Elementi trupa broda navedeni na slici 13. su:

1. Hrptenica,
2. Kobilica,
3. Rebrenica,
4. Rebri,
5. Palubna sponja,
6. Uzvojni tank,
7. Bočni tank,
8. Uzdužnjaci dna,
9. Bočni nosači,

10. Uzvojno koljeno,
11. Uzdužnjaci boka,
12. Uzdužni nosači,
13. Palubna proveza,
14. Uzdužnjaci palube,
15. Prašnjica teretnog grotla.

Hrptenica (eng. Centre girder) je središnji uzdužni nosač dna, a naziva se još i središnje pasmo ili vertikalna kobilica. Svi brodovi s jednostrukim dnom moraju imati središnji uzdužni nosač. Hrptenica može biti neprekinuta ili sastavljena od više ploča umetnutih između rebrenica. Ako je širina mjerena vrhom rebrenice veća od 9 m, ugrađuju se po dva uzdužna bočna nosača. Bočni nosači se ne zahtijevaju ako je širina manja od 6 m. Središnji i bočni uzdužni nosači trebaju se protezati što dulje prema pramcu i krmi, a spajanje se vrši postupnim smanjivanjem preko duljine dvaju rebara.



**Slika 14. Hrptenica i kobilica; prema [15]**

Kobilica (eng. Keel) je najdonji dio trupa i dio je dna. Proteže se od pramca do krme. Dolazi u vidu dva osnovna tipa: Gredna kobilica koja se ugrađuje samo u manje brodove i vrlo je važan element uzdužne čvrstoće štiteći dno pri nasukavanju; Plosna kobilica koja je zapravo središnji voj oplata dna, sa hrptenicom važan dio uzdužne čvrstoće trupa. Svi pramčani pikovi građeni su poprečnim sustavom gradnje, pa nalazimo rebra koja se protežu od palube do rebrenice na dnu. Rebra se izrađuju iz bulb-profila. Rebrenice su glavni poprečni nosači dna i postavljaju se na svakom rebru. Moraju sadržavati otvore za otjecanje, kako bi se omogućio dotok tekućine do usisa pumpi.

Kod većih brodova imaju i otvore za olakšanje. Rebrenice mogu biti neprekinute ili prekinute na sredini broda, po potrebi se postavljaju i u ostalim prostorima trupa broda.

Palubne proveze su vojevi palube uz bokove broda. Palubna sponja je poprečni element koji povezuje krajeve gornjih oplata sa bočnim oplatama palube. Križanje sponja i proveza se može ostvariti na dva načina: sponja neprekinuto prolazi kroz izrez na provezi ili se sponja prekida, proveza je neprekinuta.



**Slika 15. Sponje i proveze u međupalublju; prema [10]**

Uzvojni voj je voj limova u području od linije ravnog dna do linije ravnog boka. Uzvojni voj opločenja dna je završetak dna na boku. S vanjske strane je pričvršćena kobilica, a s unutarnje strane na njemu završava krov dvostrukog dna i uzvojna koljena. Koljena se koriste u povezivanju ukrepa i nosača radi smanjivanja naprezanja.



**Slika 16. Uzvojni voj; prema [10]**

Završni voj je najgornji lim oplata boka koji je spojen s palubnom provezom i vrlo je važan za uzdužnu čvrstoću broda. Limovi završnog voja mogu biti potpuno ravni i tada se palubna proveza kutno zavaruje na završni voj. U drugom slučaju lim završnog voja ima na kraju zakrivljenje i spaja se stično s palubnom provezom na samoj palubi.

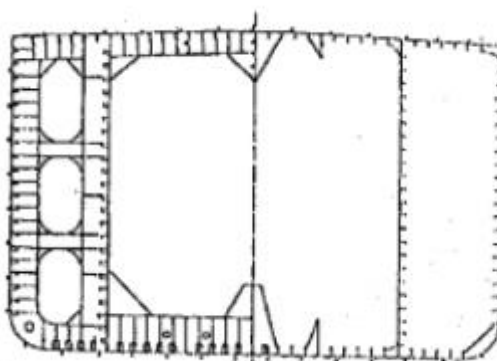
## 4.2. KONSTRUKCIJE U PROSTORU TANKA

Tri su osnovna tipa sustava gradnje brodova: poprečni, uzdužni i mješoviti sustav gradnje u prostoru tanka[9]. U nastavku će biti navedene neke od najvažnijih karakteristika svakog pojedinog sustava gradnje.

### **Poprečni sustav gradnje:**

U vrijeme gradnje drvenih brodova, problem oko nepropusnosti drvene oplata riješen je gustim postavljanjem poprečnih orebrenja. Na taj način oplata je dobivala na krutosti što je spojeve činilo nepropusnima. Danas se ovaj sustav gradnje koristi kod manjih brodova kod kojih problem uzdužne čvrstoće nije izražen. U ovom sustavu gradnje osnovu kostura broda čine poprečni okviri tj. rebrenice, sponje i rebra koja se nalaze na svakoj ordinati broda i pružaju se od krova dvostrukog dna uz bok do gornje palube. Elementi za uzdužnu čvrstoću konstrukcije su oplata, dvostruko dno i palube sa svojim uzdužnim vezama.

Elementi poprečne čvrstoće kod poprečnog sustava gradnje su jake i nepropusne rebrenice, okvirna rebra, okvirne sponje i poprečne pregrade. Za razliku od uzdužnog kod poprečnog sustava gradnje ne postoji nužno dvostruko dno. U tom slučaju poprečna čvrstoća umjesto nepropusnih rebrenica ima i okvirne rebrenice. Elementi lokalne čvrstoće su lake rebrenice, obična rebra, obične sponje, upori, ukrepe nosača i koljena.



**Slika 17. Poprečni sustav gradnje; prema [6]**



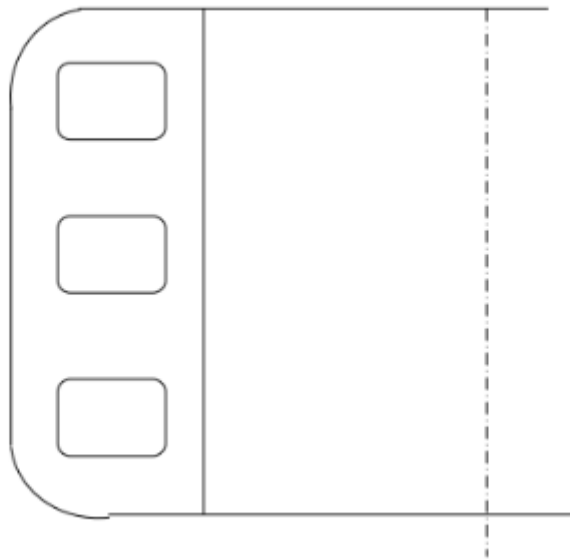
### **Uzdužni sustav gradnje:**

Uzdužna gradnja koristi se kod duljih brodova, a najprije se počela primjenjivati kod proizvodnje tankera. Brodovi velikih dužina izloženi su pregibu i progibu koji u različitim uvjetima opterećenja djeluju kroz čitavu strukturu broda.

Kod ovog sustava uzdužnjaci su ugrađeni u okvire i osnovni su element strukture trupa. Pružaju se od krme do pramca i prolaze dnom, bokom i palubom. Zajedno s hrptenicom, neprekinutim uzdužnim nosačima dna, bočnim provezama i uzdužnim pregradama, osiguravaju brodu veliku uzdužnu čvrstoću. Okvirni elementi strukture smještaju se obično kao svako četvrto rebro što znači da su npr. okvirna rebra, okvirne sponje, jake rebrenice smještene tako da su obično međusobno udaljene četiri razmaka rebara.

Konfiguracija brodskih prostora zahtijeva odstupanje kod ovog načela, razmaci se mogu adekvatno povećati i smanjiti, što naravno izaziva promjene dimenzija elemenata strukture. Poprečnu čvrstoću i ukrepljenje uzdužnih veza osiguravaju jaki poprečni okviri. Na taj se način sa ovakvim sustavom gradnje postiže znatno kruća konstrukcija protiv izvijanja. Osim toga, pri ovom sustavu s lakšom konstrukcijom postiže se potrebna čvrstoća broda, što znači da je takav brod ekonomičniji zbog uštede na težini. Težina trupa se smanjuje oko 10%.

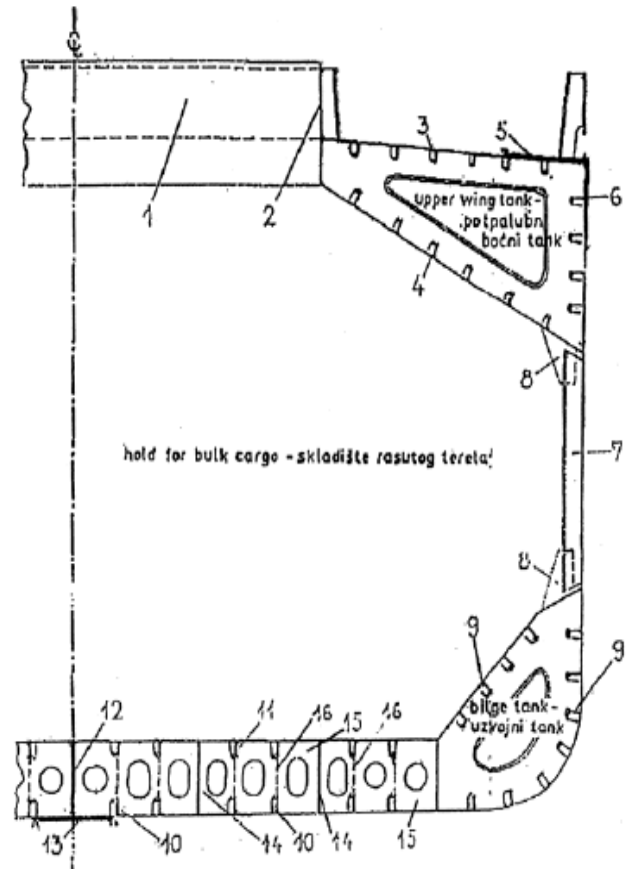
Elementi uzdužne čvrstoće kod uzdužnog sustava gradnje su oplata dna, dvostrukog dna, boka, palube, dvostrukog boka, kobilica, završni voj, palubna proveza, uzdužni nosači dvostrukog dna i dvostrukog boka, palubne podveze te uzdužnjaci svih oplata koji se spajaju na odgovarajući način. Elementi poprečne čvrstoće kod uzdužnog sustava gradnje su poprečne pregrade, poprečni nosači dvostrukog dna i dvostrukog boka, te okvirne sponje koje se ponekad kod tankova izvode iznad palube. Elementi lokalne čvrstoće kod uzdužnog sustava gradnje su uzdužnjaci svih oplata. Elementi lokalne čvrstoće su i sve ukrepe protiv izvijanja dvostrukog dna i nosača.



**Slika 18. Uzdužni sustav gradnje; prema [6]**

#### **Mješoviti sustav gradnje:**

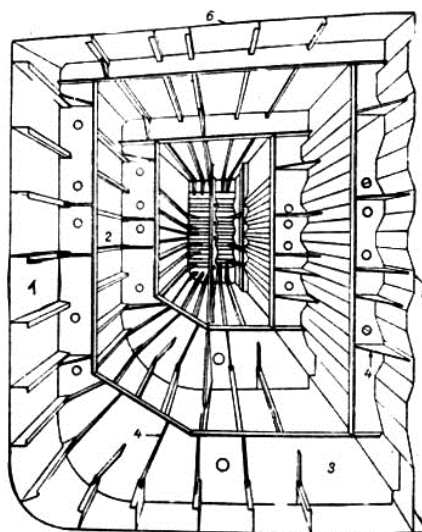
Kombinirani ili mješoviti sustav gradnje se koristi na velikim brodovima gdje jake bočne proveze i okvirna rebra ne pružaju dovoljno prostora za ukrcaj tereta. Kod mješovitog sustava gradnje koristi se uzdužno ukrepljenje dna i gornje palube, te poprečno orebrenje bokova i donjih paluba. Elementi poprečne čvrstoće su poprečni nosači dvostrukog dna, okvirne sponje i rebra, te poprečne pregrade. Okvirne sponje i okvirna rebra se postavljaju u razmacima na svako četvrto rebro ili na manjim razmacima ako je potrebno. Elementi lokalne čvrstoće su rebra i uzdužnjaci oplata. Elementi uzdužne čvrstoće su oplata dna, dvostruko dno sa svojim uzdužnim nosačima, gornja paluba i kobilica. Mješoviti sustav gradnje, na primjeru broda za prijevoz tereta, vidljiv je na slici 19., glavni elementi ovog sustava građe označeni brojevima su: 1. poprečna praznica teretnog grotla; 2. uzdužna praznica teretnog grotla; 3. uzdužnjak palube; 4. uzdužnjak potpalubnog bočnog tanka; 5. palubna proveza; 6. završni voj; 7. rebro; 8. koljeno; 9. uzdužnjak uzvojnog tanka; 10. uzdužnjak dna; 11. uzdužnjak pokrova dna; 12. hrptenica; 13. plosna kobilica; 14. bočni nosači; 15. olakšana rebrenica; 16. poprečni okvir.



Slika 19. Mješoviti sustav gradnje; prema [6]

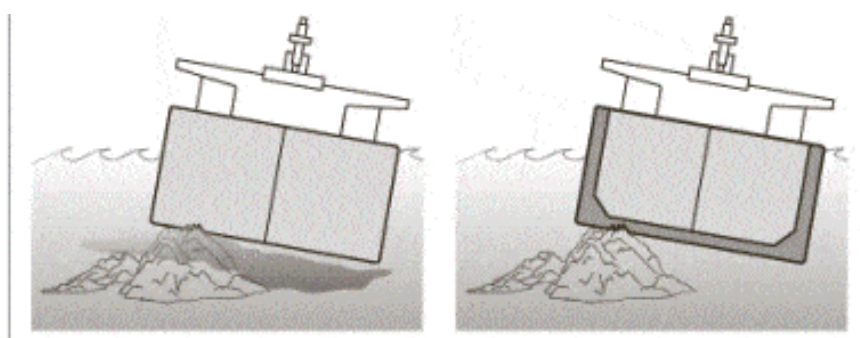
### 4.3. JEDNOSTRUKO DNO

Jednostruko dno podupire opločenje dna, te je element uzdužne i poprečne čvrstoće. Primjenjuje se samo u gradnji manjih brodova. Jednostruko dno se u početku primjenjivalo i kod gradnje tankera međutim danas se tankeri grade sa dvostrukim dnom zbog zahtjeva za zaštitu okoliša.



**Slika 20. Konstrukcija tankera s jednostrukim dnom**

Preko opločenja dna prenose se hidrostatički i hidrodinamički lateralni tlakovi na strukturu dna. Poprečni nosači dna tvore zajedno sa sunosivim dijelom oplata dna dio poprečnog okvira broskog trupa te su izloženi poprečnim opterećenjima uslijed hidrostatičkog i hidrodinamičkog tlaka mora. Poprečni i uzdužni nosači zajedno sa sunosivim dijelovima oplata dna tvore i roštiljnu strukturu lokalno opterećenu lateralnim tlakovima.

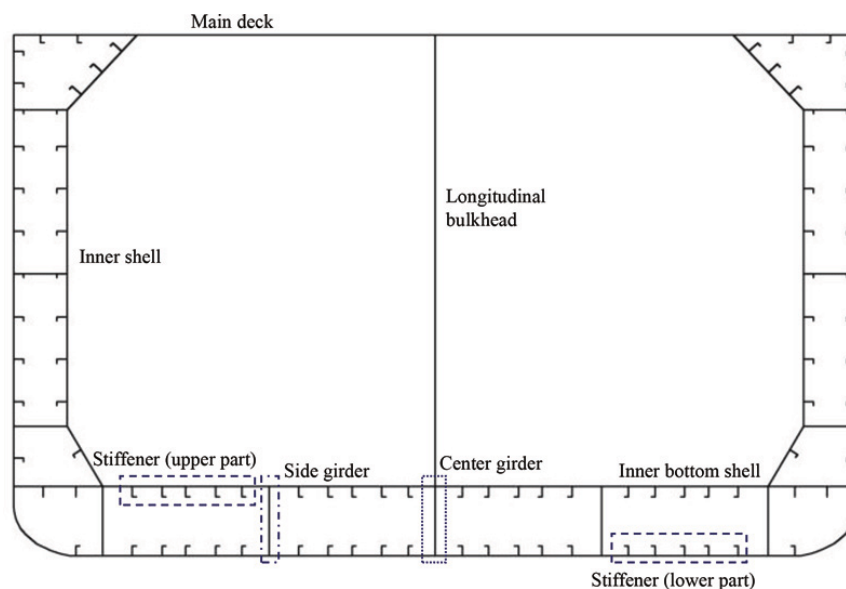


**Slika 21. Uvođenje dvostrukog dna (desno) kao ekološke zaštite; prema [16]**

Tankeri s jednostrukim dno često su imali problem izljeva tekućina balastnih voda u teret iz balastnih cjevovoda. Ovaj problem je i povećavao rizike zagađivanja tijekom balastiranja, tako što bi propuštajući cjevovodi koji prolaze kroz tankove tereta zagađivali čiste balastne vode. Ovo je kod dvostrukog dna riješeno uvođenjem drugačijih cjevovodnih sustava. Osim toga jednostruka dna imaju veću stabilnost nego dvostruka dna, radi podizanja gravitacijskog centra kod tankera s dvostrukim dnom. Korozija je također manji problem kod jednostrukog dna, s obzirom da je površina tankova više nego dvostruko manja, takav sustav gradnje zahtjeva manje održavanja.

#### 4.4. DVOSTRUKO DNO

Dvostruko dno se za teretne brodove gradi u poprečnom i u uzdužnom sustavu. Proteže se od sudarne pregrade do pregrade krmenog pika, koliko god je to moguće, sukladno s namjenom broda. Pokrov dvostrukog dna proteže se do bokova broda štiteći uzvojni voj. U dvostruko dno smještaju se tankovi za gorivo, slatku vodu i tankovi za balast. Dvostruko dno je i nepropusna struktura kod prodora vode primjerice pri nasukavanju broda.



**Slika 22. Sekcija broda s dvostrukim dnom; prema [17]**

Struktura dvostrukog dna preko opločenja preuzima lokalna statička i dinamička opterećenja uslijed vanjskih tlakova mora, okomito na svoju ravninu te od ukrcanih tereta na pokrovu dvostrukog dna.

Osnovna karakteristika strukture dvostrukog dna je čelijasta struktura, koju tvore opločenje sa gornje i donje strane zajedno sa uzdužnim i poprečnim nosačima.

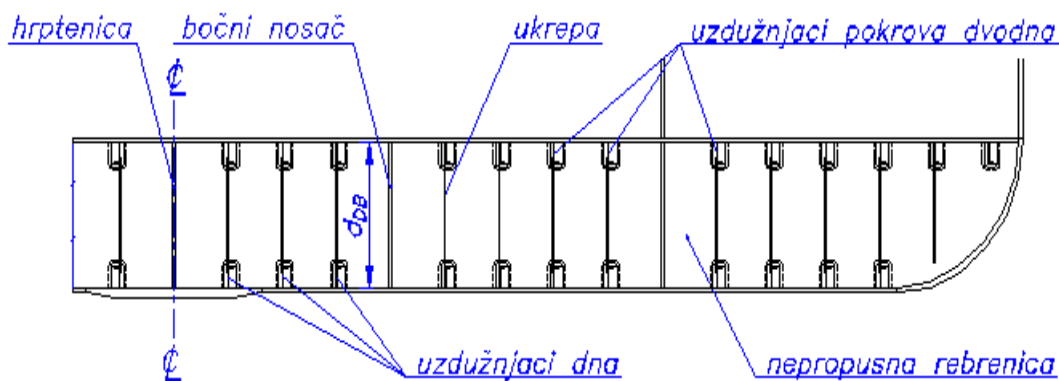
Pokrov dvostrukog dna prostire se od uzvoja do uzvoja i može završiti nagibom prema bokovima, središnji voj pokrova dvostrukog dna je obično deblji jer predstavlja gornji pojas hrptenice.

Završni voj prema boku je podebljan zbog veće otpornosti na koroziju. Središnji voj opločenja je plosna kobilica  $800 + 5L$  u milimetrima, gdje je  $L$  brojčana vrijednost dužine trupa u metrima, a maksimalne širine 1800 mm. Debljina plosne kobilice je za 2 mm veća od debljine susjednog opločenja dna. Uzvojni voj opločenja dna je završetak dna na boku. Širina mu ne smije biti manja od  $800 + 5L$  u milimetrima, niti veća od 1800 mm.

Hrptenica je središnji uzdužni nosač dvostrukog dna. Hrptenicu treba protegnuti što dalje prema pramcu i krmi, gdje se spaja s krmenom statvom. Minimalna visina hrptenice, ujedno i minimalna visina dvostrukog dna je 600 mm.

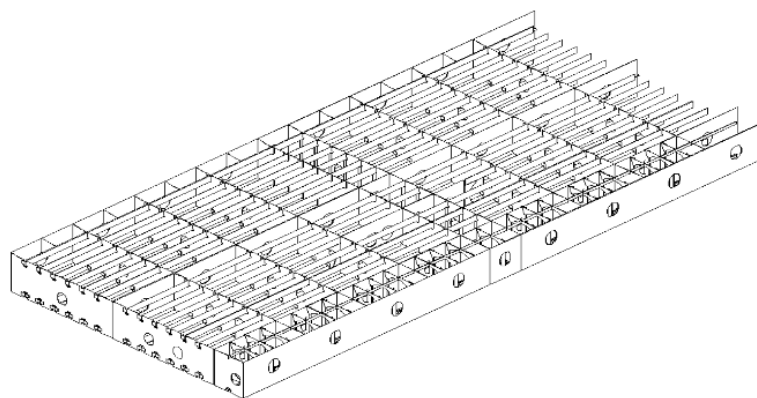
Postoje dvije uobičajene izvedbe ukrepljenja dvostrukog dna:

- Poprečni sustav ukrepljenja – poprečni nosači dna su rebrenice. Rebrenice mogu biti pune, nepropusne ili okvirne. U poprečnom sustavu ukrepljenja postavljaju se središnji (hrptenica) i po potrebi bočni uzdužni nosači. Ovakav sustav koristi se za brodove do 120 m dužine,



**Slika 23. Poprečni sustav ukrepljenja dvostrukog dna; prema [6]**

- Uzdužni sustav ukrepljenja dvostrukog dna – pokrov dvostrukog dna i opločenje dna ukrepljuju se gusto postavljenim uzdužnjacima. Hrptenica i bočni uzdužni nosači su kontinuirani, a rebrenice su umetnute, interkostalne. Uzdužno ukrepljenje je sigurnije u pogledu izvijanja do kojeg dolazi kod tlačnog naprezanja brodskog trupa kao nosača u pregibu.



**Slika 24. Dvostruko dno u uzdužnom sustavu ukrepljenja; prema [10]**

Iako tankeri s dvostrukim dnom smanjuju vjerojatnost oštećenja broda pri kontaktu sa stijenama i stvaranja udubina na trupu, dvostruko dno ne pruža zaštitu od glavnih, visoko-energijskih sudara i nasukavanja koja su glavni uzrok većine izljeva nafte. Tankeri s dvostrukim dnom, ukoliko su loše konstruirani, dizajnirani, održavani ili upravljani mogu biti jednako problematični, ako ne i problematičniji od tankera jednostrukog dna. Dvostruka dna imaju kompleksniji dizajn i strukturu, što znači da je potrebno više održavanja i brige pri radu s njima, te ukoliko se to ne prati i standardizira, može stvoriti značajne probleme. Dvostruka dna često rezultiraju s 20% povećanjem u težini trupa, a kako bi težina trebala biti jednaka onim s jednostrukim dnom, često se uštede vrše nauštrb pregradbenih zidova tankova, izrađujući ih tanjim nego inače.

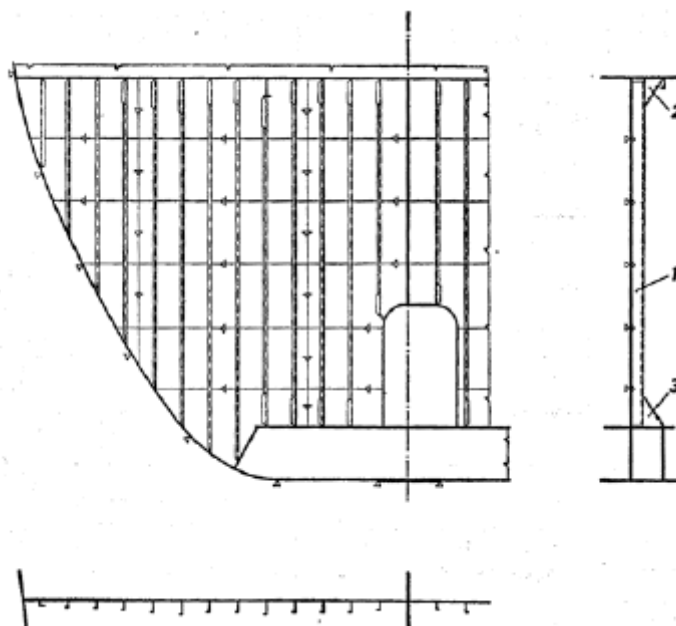
#### **4.5. PREGRADE**

Pregrada koja dijeli stražnji pretežni tank od ostalog dijela broda i zaštićuje tunel od prodora vode zove se zadnja krmena pregrada. Te se pregrade zovu i kolizijske pregrade, a prostor koji zatvaraju kolizijski prostor.

Prema propisima Međunarodne konvencije za zaštitu ljudskog života na moru, najmanji broj poprečnih pregrada smije biti četiri, od čega dvije kolizijske, a po jedna ispred stroja i iza njega. To vrijedi za brodove do 87m. Brodovi do 102m moraju imati pet pregrada, do 124m moraju imati šest pregrada i tako dalje. Razmaci između pregrada na pramcu i krmi manji su nego u sredini jer opterećenje pramčanih i krmelih skladišta stvara veću pretegu. Pregrade osim što priječe da se prodor vode širi po brodu, zadržavaju da se širi požar, pa se takve pregrade zovu protupožarne pregrade. S obzirom na konstrukciju broda poprečne su pregrade važan element poprečne čvrstoće, a uzdužne važan element uzdužne čvrstoće.

One sežu do glavne, odnosno pregradne palube, tj. najviše pune palube koja ide uzduž cijelog broda i čvrsto zatvara njegov trup. Pregrade se sastoje od čeličnih limova i ukrepa, slika 25.

Vojevi limova pružaju se obično vodoravno, a ukrepe uspravno. Ukrepe su uglovnice ili bulb-profil, na gornjem kraju spojene s palubom pomoću koljena, a na donjemu s dvostrukim dnom također pomoću koljena. Kolizijska pregrada mora se protezati do palube nadvođa. Stepeničasti ili upušteni oblici sudarne pregrade se dopuštaju ako udovoljavaju gore navedenim uvjetima. Na brodovima s neprekinutim ili dugim nadgrađem sudarna pregrada se mora prostirati do prve palube iznad palube nadvođa. Na sudarnoj pregradi između palube nadvođa i pokrova dvostrukog dna ne smiju se postaviti vrata, provlake, prilazni otvori ili ventilacijski kanali.



**Slika 25. Struktura pregrada; prema [6]**

Svi brodovi moraju imati pregradu statvene cijevi. Pregrada statvene cijevi se mora protezati do palube nadvođa ili do nepropusne platforme koja se nalazi iznad teretne vodne linije. Pregrada statvene cijevi mora biti pojačana u području prolaza statvene cijevi[12].

Ostale nepropusne pregrade, ovisno o vrsti broda, moraju se također protezati do palube nadvođa. Nepropusne pregrade se, gdje je god to moguće, postavljaju u ravnini rebara. Ako se izvode stepeničasto, svi dijelovi moraju biti nepropusni[12].



Nepropusne pregrade u dvostrukom dnu imaju posebnu svrhu, da podijele prostor dvostrukog dna u posebne tankove za krcanje različitih tekućina. Te se pregrade ne broje pri određivanju potrebnog broja nepropusnih pregrada.

U sigurnosnom smislu pregrade sprečavaju potonuće u slučaju prodora vode u neki prostor, kao i širenje vatre u slučaju požara. U ekološkom smislu pregrade smanjuju zagađenje u slučajevima oštećenja stijeni tankova.

U konstruktivnom smislu pregrade služe kao elementi poprečne i uzdužne čvrstoće. Svi brodovi moraju imati sudarnu pregradu, pregradu statvene cijevi i pregrade na oba kraja strojarnice. Ako je strojarnica smještena na krmi, pregrada statvene cijevi se može smatrati krmenom pregradom strojarnice. Pregrade mogu biti uzdužne i poprečne, slika 26.



**Slika 26. Poprečne i uzdužne pregrade; prema [6]**

Od svih poprečnih pregrada sudarna pregrada se izgrađuje najčvršćom. Ona služi za zadržavanje prodora vode u slučaju sudara broda s nekim objektom. Položaj sudarne pregrade određen je međunarodnom konvencijom za zaštitu ljudskog života na moru, na način da bude postavljena između 5% dužine broda i 5% + 3.05 m od prednjeg ruba pramčane statve na teretnoj vodnoj liniji.

#### **4.6. GROTLA**

U strukturnom pogledu, grotla su otvori na palubama, dakle diskontinuiteti u strukturi, odnosno oslabljenja paluba. Grotla po potrebi imaju uzdužne i poprečne praznice grotala.

Pražnice grotala na izloženim palubama imaju dvije uloge, ulogu osiguravanja nepropusnosti i ulogu osiguravanja čvrstoće. Pražnice grotala nisu nužna sa stajališta nepropusnosti na palubama ispod palube nadvođa, niti na palubama unutar zatvorenih i nepropusnih nadgrađa ili kućica, izuzev kada njihovo postavljanje nalažu zahtjevi za čvrstoćom.

Otvori strojarnice i kotlovnice moraju biti dobro uokvireni i čvrsto ograđeni čeličnim grotlištem. Pražnice grotala na izloženim palubama su dinamički opterećene uslijed prelijevanja valova preko palube, osobito poprečne pražnice. Uzdužne pražnice mogu sudjelovati u uzdužnoj čvrstoći broda.

Poprečne pražnice su dio poprečnog okvira broskog trupa na tom mjestu. Osim toga, uzdužne i poprečne pražnice su neposredno opterećene i uslijed vlastite težine poklopaca i tereta na poklopcima grotala, odnosno naplavljenog mora na izloženim palubama.



**Slika 27. Grotla na palubi tankera; prema [18]**

Tankeri imaju samo male otvore na palubi, vidljive na slici 27., dovoljne za ulijevanje ili isisavanje tekućeg tereta. Rubovi su dobro zakrivljeni i najčešće kružne građe.

#### 4.7. PALUBA

Palube su vodoravne ljske, opne, stijenke trupa broda, koje u vojevima čine limovi palube. Izložene palube nepropusno zatvaraju trup broda po cijeloj izloženoj duljini i širini trupa. Na palubama se smještaju putnici, teret i oprema. Palube mogu biti gornje nepropusne stijenke tankova. Platforme i druge djelomične palube služe za smještaj opreme, pomoćnih strojeva i radiona, te za razne spreme, na primjer u strojarnici ili pikovima. Brodovi mogu imati jednu ili više paluba. Palube se oslanjaju na potpalubne strukture ispod sebe, te na bokove, uzdužne i poprečne pregrade broda.

Gornja paluba je najgornja paluba neprekinuta po cijeloj duljini broda. Proračunska paluba, paluba čvrstoće je paluba koja čini gornji pojas poprečnog presjeka trupa. Pregradna paluba je najgornja paluba do koje sežu nepropusne pregrade. Paluba nadvođa, glavna paluba je paluba do koje se računa nadvođe.

Izložene palube su dijelovi palube izloženi utjecaju mora. Donje palube su sve palube ispod gornje palube. Ako ima više donjih paluba, one se nazivaju: druga paluba, treća paluba itd., idući od gornje palube.



**Slika 28. Paluba tankera Seawise Giant; prema [19]**

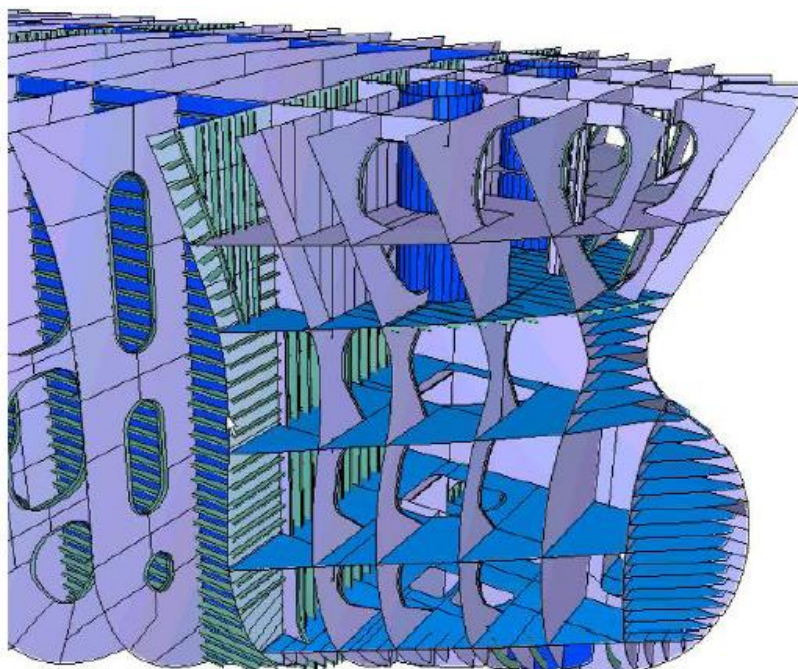
Izložene palube su lokalno opterećene izvana okomito na svoju ravninu uslijed dinamičkog djelovanja mora pri naplavlivanju mora na palubu.

Palube koje čine nepropusne stjenke tankova su lokalno opterećene i iznutra statičkim i dinamičkim tlakom okomito na svoju ravninu uslijed tekućeg tereta pri njihanjima broda. Palube na kojima se smješta teret lokalno opterećene su statičkim koncentriranim ili distribuiranim opterećenjima okomito na svoju ravninu uslijed tereta dodatno uvećanima za dinamička djelovanja pri gibanjima broda.

#### 4.8. PRAMČANI I KRMENI PIK

Pramčani pik je sudarni prostor na prednjoj strani broda. Koristi se u balastiranju broda. Ako je prostor pramčanog pika predviđen za krcanje balasta, a njegova širina prelazi  $0.5 B$  ili  $6 \text{ m}$ , mora se postaviti najmanje jedna puna ili djelomična pljuskača.

Širina slobodne površine tekućine ni u kojem slučaju ne treba prelaziti  $0.3 B$ . Tankovi pramčanog pika, ako im je duljina veća od  $0.06 L$  ili  $6 \text{ m}$ , moraju imati i poprečnu pljuskaču. U tank pramčanog pika, kao i u bilo kojemu tanku ispred sudarne pregrade, ne smije se krcati nafta.



**Slika 29. Pramčani pik tankera; prema [6]**

Ukupna površina otvora na pljuskači ne smije biti manja od  $5 \%$  niti treba biti veća od  $10 \%$  površine pljuskače. Debljina pljuskače je općenito jednaka najmanjoj debljini pregrada. Za opterećene dijelove pljuskače može se tražiti pojačanje. Slobodni kraj pljuskače se mora odgovarajuće ukrijepiti.

Pramčana i krmena statva su dijelovi kojima započinje odnosno završava struktura broda. Iz njihovog položaja i značaja u strukturi potječe potreba njihove odgovarajuće konstrukcije.

Osim strukturnim zahtjevima, statve moraju svojim oblikom odgovarati obliku broda te smanjivati otpor i poboljšavati ponašanje broda na moru. Osobito je važno osim vlastite čvrstoće statvi, osigurati i odgovarajuću strukturnu povezanost s cijelim trupom broda. Pramčana statva preuzima nešto statičkih opterećenja mora, dok je pretežito opterećena uslijed dinamičkih učinaka zbog svoje izloženosti valovima. Osim toga, pramčana statva je izložena udarima o plutajuće predmete, udarima o obalu pri pristajanju i nasukavanju ili sudaru. Gornji dijelovi pramčane statve trpe opterećenja i pri sidrenju, za vrijeme dizanja i spuštanja lanaca kada se brod ljulja, ili kada se sidreni lanci križaju sa statvom pri posrtanju broda.

Krmeni pik je sudarni prostor na stražnjoj strani broda. Koristi se u balastiranju broda. Tankovi krmenog pika, ako im je duljina veća od 0.06 L ili 6 [m], moraju imati poprečnu pljuskaču.

#### **4.9. STRUKTURA TANKOVA**

Tankovi, slika 30., koji su sastavni dio strukture broskog trupa označavaju se strukturnim tankovima jer svojim dijelovima sudjeluju u čvrstoći broskog trupa. Svi strukturni tankovi tvore nepropusne prostore koji mogu primiti tekućinu. Svaki tank mora imati odušnike, preljeve i cijevi za sondiranje. Tankovi namijenjeni za djelomično krcanje koji se protežu od boka do boka broda, moraju imati najmanje jednu uzdužnu pregradu koja može biti i pljuskača.

U duboke tankove smješta se gorivo, voda i razna ulja, često i balast. Kada su napunjeni, povećavaju visinu težišta broda, čineći brod ugodnijim u plovu pri lošim uvjetima. Duboki tankovi smještaju se uz bokove broda. Tankovi namijenjeni za djelomično krcanje tekućine koji se protežu od boka do boka, moraju imati najmanje jednu uzdužnu pregradu koja može biti i pljuskača. Bočni tankovi brodova za rasuti teret na donjem kraju završavaju na uzvojnem tanku, a na gornjem dijelu s potpalubnim bočnim tankom. Nestrukturirani tankovi goriva ne smiju biti unutar skladišta tereta. Ako se takva izvedba ne može izbjeći mora se osigurati da istjecanje goriva ne ošteti teret.

Oprema i cjevovodi u nestrukturiranim tankovima moraju biti zaštićeni od oštećenja, a na vanjskoj strani tanka mora se ugraditi žlijeb za odvođenje istekle tekućine. Nestrukturirani tankovi moraju biti osigurani od sila koje nastaju uslijed gibanja broda.



**Slika 30. Tank tereta u Brodosplitu; prema [6]**

## 5. SEAWISE GIANT

Seawise giant, slika 31, poznat i pod nazivima Jahre Viking (1991-2004), Knock Nevis (2004-2009), Happy Giant (1991) i konačno Mont (2009-2010), jest ULCC supertanker za prijevoz nafte poznat i kao najduži brod ikada izgrađen. Ovaj tanker izgrađen je u brodogradilištu Yokosuke u Japanu, od strane Sumitomo Heavy Industries. Tonaža ovog broda je najveća tonaža nekog tankera zabilježena u povijesti. Potpuno naterećen, ima istisninu od 657 019 t, što ga čini i najtežim brodom bilo koje vrste, a sa natovarenim gazom od 24.6 m, nije mogao proći Engleskim kanalom, Sueskim kanalom niti Panamskim kanalom. Motor kojim je pogonjen izrađen je po principu Ljungstorm parnih turbina.



**Slika 31. Seawise Giant tijekom plovidbe**

Seawise Giant je 1974. godine i isporučen 1979. od Sumitomo Heavy Industries u njihovom Oppama brodogradilištu. U samim počecima., ovaj tanker ,tonaže 418 611 dwt, je iskazivao testne probleme s ozbiljnim vibracijama prilikom plovidbe. Iz tog razloga grčki naručitelj je odbijao preuzimanje tankera te je tanker bio predmet sporova. Na koncu je dogovorno vlasništvo preuzela Sumitomo industrija.

Oni brod prodaju kompaniji iz Hong Konga obećavajući dodatno produživanje broda za nekoliko metara i povećavanje tonaže za 146 152 dwt. Nakon promjena tanker je postigao rekordni kapacitet od 564 763 dwt tonaže.

**Tablica 2. Osnovne karakteristike tankera Seawise Giant[14]**

<b>SEAWISE GIANT</b>	
<b>Registarska tonaža:</b>	<b>260 941 GT</b>
<b>Duljina:</b>	<b>458.45 m</b>
<b>Širina:</b>	<b>68.8 m</b>
<b>Gaz:</b>	<b>24.611 m</b>
<b>Tonaža[dwt]</b>	<b>564 763 dwt</b>
<b>Brzina:</b>	<b>16.5 čv (30.6 km/h)</b>

Tanker se sastoji od 46 tankova, 31 541 m<sup>2</sup> palubnog prostora, kormilo teško 230 t i propeler težine 50 t. 1988. godine tanker je potopljen od strane Iračkih vojnih snaga tijekom Iransko-Iračkog rata. Brod je potonuo u plitkim vodama te je proglašen potpuni gubitak i otpisan je iz službe.

Nedugo nakon toga, olupinu tankera preuzima Norman International, izranja je i obnavlja. Popravci su odrađeni u sklopu Keppel korporacije u Singapuru, a novi brod je nazva Happy Giant. Joergen Jahre kupuje brod 1991. godine i preimenuje ga u Jahre Viking. Nakon toga tanker plovi pod Norveškom zastavom sve do 2004. godine. Tada ga kupuje Qatarska naftna organizacija u Perzijskom zaljevu, koja ga koristi kao trajno skladište za naftu. Konačno brod kupuje Amber Development i stavlja ga pod zastavu Sierra Leone. Tada tanker pod imenom Mont, kreće u posljednje putovanje put Indije. Plovilo se umirovilo 22. prosinca 2009. godine, a njegovo sidro je izloženo u pomorskom muzeju grada Hong Konga.

Zanimljivo je da je brod mogao postići 30.6 km/h brzine tijekom dobrih vremenskih uvjeta, zaustavni trak bio mu je preko 9km pri maksimalnoj početnoj brzini, a putanja okretanja je bila oko 3 km.



## ZAKLJUČAK

Konstrukcija tankera jest složen i dugotrajan proces. Razvoj industrije tankera znatno se razvio početkom 20. stoljeća, ponajviše zbog velike potražnje i tehnoloških napredaka. Rano je prepoznat veliki potencijal ovakve trgovine, stoga je bilo potrebno osigurati konstrukcije tanker visoke nosivosti, visoke pouzdanosti i niske cijene, pritom pazeći na sigurnost i utjecaj na okoliš.

Ovakav brzi napredak, doveo je i do pojave brojnih strukturnih problema kod prvih tankera. Česta pojava nesreća, potonuća i izljeva nafte dovela je do osnivanja klasifikacijskih društava. Danas klasifikacijska društva konstantnim napretkom, u vidu normi i standarda, osiguravaju značajnu sigurnost tankera, kako za sebe tako i za okoliš. Najvažniji pravilnici, doneseni kao posljedica, su Međunarodna konvencija o zaštiti ljudskih prava, Međunarodna konvencija o sprječavanju onečišćenja s brodova i Međunarodni pravilnik o opasnim teretima. Samo brodovi izrađeni po ovim normama mogu dobiti certifikate za pravilan rad i plovidbu.

Radi jednostavnije analize broda i njegove izrade, brod se gleda kao složeni sustav nekolicine podsustava, koje naziva brodskim konstrukcijama. Najbitnije konstrukcije razvijene za rad i sigurnost tankera su dvostruko dno, uzdužne i poprečne pregrade koje sekcije za prijevoz tereta dijele u tankove, tankovi za balast i drugo. Jako je važno postići uzdužnu i poprečnu čvrstoću broda, kojima se negira vanjski utjecaj valova i neravnomjerno raspodijeljenih težina tereta koje su u počecima dovodile do pucanja brodskih konstrukcija i konačno potonuća. Bitno je naglasiti ulogu dvostrukog dna i dvostruke oplata kojima su tankovi tereta odvojeni od vanjske oplata, čime se postiže značajna sigurnost kod sprječavanja onečišćenja mora.

Konačno, kao rezultat ovih konstrukcijskih dostignuća, naveden je primjer tankera Seawise Giant. Tanker koji je sa svojih 458 m duljine i preko 550 000 dwt tonaže priznat kao tonažom najveći i najdulji tanker ikada proizveden. Unatoč brojnim početnim problemima, u vidu nepravilnih i nepoželjnih vibracija, tehnološkim napretkom tankerske industrije, ovaj tanker je postigao dugotrajni radni vijek i tako doprinio i ostavio trag u evolucijskom razvoju svjetskog pomorstva.

## LITERATURA

- [1] Borić Ante: *Pomorski zakonik*, <https://www.zakon.hr/z/310/Pomorski-zakonik> , 2019.
- [2] Wikipedia: *Tanker*, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Tanker> , 2019.
- [3] V. Slapničar.: *Tanker*. <https://tehnika.lzmk.hr>, 2018.
- [4] Frank Behrends.: *Donat*, Ship Spotting, <http://www.shipspotting.com/> , Istanbul, 2014.
- [5] Joško Dvornik: *Konstrukcija broda*, Pomorski fakultet u Splitu, 2013.
- [6] Wikipedia: *Classification society*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Classification\\_society](https://en.wikipedia.org/wiki/Classification_society), 2019.
- [7] D.J. Eyres: *Ship Construction*, Plymouth Polytechnic, fifth edition 2001.
- [8] Belamarić, Goran.: *Brodovi za prijevoz sirove nafte*, Split, 2012.
- [9] *Brodogradnja*, <https://repozitorij.politehnika-pula.hr/islandora/object/politehnikapu%3A95/datastream/PDF/view>
- [10] Vučetić, Damira: *Digitalni priručnik za brodске konstrukcije*, FSB, Zagreb, 2015.
- [11] *Trup broda*, Wikipedia, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Trup\\_broda](https://hr.wikipedia.org/wiki/Trup_broda), 2020.
- [12] *Hrvatski registar brodova*, Split, 2020.
- [13] Wikipedia: *Seawise Giant*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Seawise\\_Giant](https://en.wikipedia.org/wiki/Seawise_Giant) ,2020.
- [14] Maritime connector, *Oil tanker – Mont*, <http://maritime-connector.com/worlds-largest-ships/> , Rijeka, 2020.
- [15] Marine safety: <https://www.tc.gc.ca/eng/marinesafety/tp-tp14609-4-construction-150.htm> , 2010.
- [16] Aissat prime: *Single Hull vs. Double hull Tankers*, <https://www.aissat.com/single-hull-vs-double-hull-tankers/>, 2020.
- [17] Aldias Bahatmaka: [https://www.researchgate.net/figure/Midship-section-of-the-double-hull-tanker-The-boxes-highlight-detail-members-on-the\\_fig4\\_325576865](https://www.researchgate.net/figure/Midship-section-of-the-double-hull-tanker-The-boxes-highlight-detail-members-on-the_fig4_325576865) , 2020.
- [18] MACGREGOR: *Side-rolling hatch covers*, <https://www.macgregor.com/Products/products/hatch-covers/side-rolling-hatch-covers/> , 2020.
- [19] *Auke Visser's International Super Tankers*, <http://www.aukevisser.nl/supertankers/id23.htm>, 2020.

## POPIS SLIKA

Slika 1. Efekt slobodne površine.....	3
Slika 2. Distribucija tankera po <i>DWT</i> tonaži.....	5
Slika 3. Godišnje raspodjele brodova po kategorijama nosivosti.....	7
Slika 4. Tanker Donat .....	8
Slika 5. Čelične sekcije u brodogradnji.....	11
Slika 6. Profili u brodogradnji.....	11
Slika 7. Sekcije aluminijskih legura .....	12
Slika 8. Charpyjev test udarne žilavosti .....	13
Slika 9. Vertikalna i horizontalna opterećenja .....	14
Slika 10. Karikatura pregiba i progiba broda prilikom savijanja .....	14
Slika 11. Opterećenje i deformacije poprečnog presjeka broskog trupa .....	15
Slika 12. Lokalna savijanja oplata dna zbog tlaka vode.....	16
Slika 13. Osnovni elementi trupa broda .....	24
Slika 14. Hrptenica i kobilica.....	25
Slika 15. Sponje i proveze u međupalublju .....	26
Slika 16. Uzvojni voj.....	26
Slika 17. Poprečni sustav gradnje.....	28
Slika 18. Uzdužni sustav gradnje .....	29
Slika 19. Mješoviti sustav gradnje .....	30
Slika 20. Konstrukcija tankera s jednostrukim dnom.....	31
Slika 21. Uvođenje dvostrukog dna (desno) kao ekološke zaštite .....	31
Slika 22. Sekcija broda s dvostrukim dnom .....	32
Slika 23. Poprečni sustav ukrepljenja dvostrukog dna.....	33
Slika 24. Dvostruko dno u uzdužnom sustavu ukrepljenja .....	34
Slika 25. Struktura pregrada.....	35
Slika 26. Poprečne i uzdužne pregrade .....	36
Slika 27. Grotla na palubi tankera.....	37
Slika 28. Paluba tankera Seawise Giant .....	38
Slika 29. Pramčani pik tankera.....	39
Slika 30. Tank tereta u Brodosplitu.....	41
Slika 31. Seawise Giant tijekom plovidbe .....	42

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Podjela tankera prema nosivosti .....	5
Tablica 2. Osnovne karakteristike broda Seawise Giant .....	43

## POPIS KRATICA

SAD (eng. <i>United States of America</i> )	Sjedinjene Američke države
VLCC (eng. <i>Very large crude carriers</i> )	Veoma veliki rudni nosioci
ULCC (eng. <i>Ultra large crude carriers</i> )	Ultra veliki rudni nosioci
DWT (eng. <i>Deadweight tonnage</i> )	Nosivost broda
AFRA (eng. <i>Average Freight Rate assessment</i> )	Procjena prosječne stope vozarine
IACS (eng. <i>International Association of Classification Societies</i> )	Međunarodna udruga klasifikacijskih društava
MARPOL (eng. <i>Maritime Pollution</i> )	Pomorsko zagađenje
SBT (eng. <i>Single ballast tank</i> )	Jedno balastni tank
IMO (eng. <i>International Maritime Organization</i> )	Međunarodna pomorska organizacija
SOLAS (eng. <i>Safety of life at sea</i> )	Sigurnost života na moru