

# Čelični materijali za strukturu broda i njihova zaštita od korozije

---

**Perković, Kristijan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:449449>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-06**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

*Repository / Repozitorij:*

[University of Zadar Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Sveučilište u Zadru

Pomorski odjel - Brodostrojarški odsjek  
Brodostrojarstvo i tehnologija pomorskog prometa

**Kristijan Perković**

**Čelični materijali za strukturu broda i njihova  
zaštita od korozije**

**Završni rad**

Zadar, 2024.

Sveučilište u Zadru  
Pomorski odjel - Brodostrojarški odsjek  
Prije-diplomski sveučilišni studij Brodostrojarstva i tehnologije pomorskog  
prometa

Završni rad

**Čelični materijali za strukturu broda i njihova zaštita od korozije**  
**Steel materials for ship structure and their protection against**  
**corrosion**

Mentor: doc. dr. sc. Igor Poljak

Komentor: dr. sc. Vlatko Knežević

Student: Kristijan Perković

Zadar, 2024.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Kristijan Perković**, ovime izjavljujem da je moj **završni** rad pod naslovom **Čelični materijali za strukturu broda i njihova zaštita od korozije** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

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

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

Zadar, 18. rujna 2024.

# Sadržaj

<b>Sažetak</b> .....	2
<b>Abstract</b> .....	3
<b>1. Uvod</b> .....	4
<b>2. Čelici u brodogradnji</b> .....	4
<b>2.1. Valjani čelici u brodogradnji</b> .....	4
<b>2.2. Nehrdajući čelici</b> .....	12
<b>2.3. Lijevani i kovani čelici za brodogradnju</b> .....	13
<b>2.4. Korozijski dodaci</b> .....	13
<b>3. Korozija i zaštita od korozijske</b> .....	16
<b>3.1. Kemijska korozija</b> .....	16
<b>3.2. Elektrokemijska korozija</b> .....	18
<b>Zaključak</b> .....	20
<b>Popis literature</b> .....	21
<b>Popis slika</b> .....	22
<b>Popis tablica</b> .....	23

## Sažetak

Danas gotovo da i nema privredne grane u kojoj se ne koriste kovine. Kovine su zahvaljujući svojim izvrsnim osobinama čvrstoće, elastičnosti, otpornosti prema habanju, provodljivosti topline i elektriciteta i dr. zauzeli mjesto najvažnijeg konstrukcijskog elementa. Međutim kovinski predmeti nisu vječni jer se s vremenom troše na različite načine. Jedan od najčešćih i najvažnijih oblika razaranja kovinskih materijala je korozija. Korozija nanosi vrlo velike štete gospodarstvu. Iako je točan iznos jako teško izračunati prema nekim procjenama šteta iznosi, samo na proizvodima crne metalurgije, i do 10% ukupne proizvedene količine. Prema drugim procjenama godišnja šteta od korozije u brodarstvu iznosi i do 15% štete od ukupne proizvodnje crne metalurgije [1]. Ukupnu štetu nastalu uslijed korozije treba dijeliti na izravne troškove (troškovi zamjene korodiranih dijelova, izrada novih dijelova i ugradnja, održavanje i zaštita prilikom upotrebe itd.) te na neizravne troškove (troškovi nastali uslijed povlačenja sredstava iz upotrebe, gubitak brzine broda i povećana potrošnja goriva zbog obraštanja i korozije podvodnog dijela broda, zagađenje tereta od produkta korozije itd.). Troškovi gradnje i održavanja broda se povećavaju i s time što se dijelovi predimenzioniraju [2]. Nastajanje korozije se ne može potpuno spriječiti ali se korozijski procesi mogu održavati na određenom stupnju kontrole.

Ključne riječi: čelik, korozija, zaštita brodske konstrukcije.

## **Abstract**

Today, there is almost no industry in which metals are not used. Thanks to their excellent properties of strength, elasticity, resistance to wear, heat and electricity conductivity, etc., metals have taken the place of the most important structural element. However, metal objects are not eternal. They wear out over time in different ways. One of the most common and important forms of destruction of metal materials is corrosion. Corrosion causes very large damages to the economy. Although the exact amount is very difficult to calculate, according to some estimates, the damage amounts to up to 10% of the total produced quantity, only on ferrous metallurgy products. According to other estimates, the annual damage from corrosion in shipping is up to 15% of the damage from the total production of ferrous metallurgy. The total damage caused by corrosion should be divided into direct costs (costs of replacing corroded parts, manufacturing and installation of new parts, maintenance and protection during use, etc.) and indirect costs (costs resulting from the withdrawal of assets from use, loss of ship speed and increased fuel consumption due to fouling and corrosion of the underwater part of the ship, cargo pollution from corrosion products, etc.). Costs also increase as parts become oversized. The formation of corrosion cannot be completely prevented, but corrosion processes can be maintained at a certain level of control.

Keywords: steel, corrosion, ship structure protection.

## 1. Uvod

Brod je tehnički složen i skup proizvod koji svoju zadaću treba obavljati čak i nekoliko desetljeća. Tokom svoje upotrebe veliku većinu vremena će provesti u uvjetima koji su jako nepovoljni za materijal od kojeg je izrađen. Oštećenja nastala uslijed korozije mogu uzrokovati velika oštećenja i dugotrajnu nemogućnost obavljanja najbitnijeg zadatka kojeg ima jedan brod a to je prijevoz tereta [2]. Od vrste materijala koji se koristi za gradnju brodova traži se da ima izvrsna mehanička svojstva i da su jako otporna i uz sve to još i da su jeftina i lako dostupna. Budući da se svi navedeni zahtjevi ne mogu uvijek ispuniti primjenjuju se različite vrste zaštite brodograđevnog materijala. Neke od metoda koje se koriste su:

- a) korištenje prevlaka i premaza,
- b) korištenje materijala otpornih na djelovanje korozije,
- c) katodna zaštita,
- d) tehnološko-konstruktivske mjere.

Primjenom nekih od ovih metoda ili kombinacijom dvije ili više metoda rizik od nastanka korozije i njenog štetnog djelovanja se znatno smanjuje. S time ujedno i produžavamo vijek korištenja broda i smanjujemo moguće troškove. Borba protiv korozije na brodu je svakodnevni posao koji zahtjeva metodičan pristup [3]. Pri tome veliku pomoć pruža razvoj znanosti i nova znanstvena otkrića ali na kraju glavninu posla održavanja mora odraditi sama posada broda.

## 2. Čelici u brodogradnji

Čelik je legura željeza i ugljika (postotak ugljika od 2%) koji se, zbog svojih dobrih mehaničkih osobina, koristi za gradnju lake i čvrste konstrukcije broda [4]. Sa samim čelikom se jako dobro i jednostavno može raditi, čelik se može jednostavno obrađivati, savijati, rezati, variti [5]. Neki od osnovnih uvjeta koje čelik mora ispuniti su:

- a) čvrstoća,
- b) mogućnost laganog oblikovanja,
- c) da je izdržljiv na opterećenja i oštećenja.

### 2.1. Valjani čelici u brodogradnji

Valjanje je vrsta obrade koja se koristi prilikom obrade čelika. Valjanje se vrši s razlogom da bi se smanjila debljina samog čelika i da se ta debljina ujednači na cijeloj površini čeličnog dijela koji se obrađuje. Postoje vruće valjani čelici i hladno valjani čelici [5].

Ključna razlika je ta što se vruće valjani čelik proizvodi na visokoj temperaturi dok se hladno valjani čelici proizvode na temperaturi okoline to jest bez dodatnog zagrijavanja [6].



Youngov modul za ugljično manganske čelike i Poisonov omjer su:

$$E = 206 \cdot 10^9 \text{ [Pa]}$$

$$\nu = 0,3$$

Čelik koji ima točku loma od  $235 \text{ N/mm}^2$  smatra se kao čelik za gradnju broda. Čelik koji ima točku loma u rasponu od  $235 \leq ReH \leq 390 \text{ N/mm}^2$  smatra se čelik visoke čvrstoće. Čelik koji ima točku loma  $ReH \geq 390 \text{ N/mm}^2$  smatra se kao jako čvrst čelik. Klase čelika označavaju se:

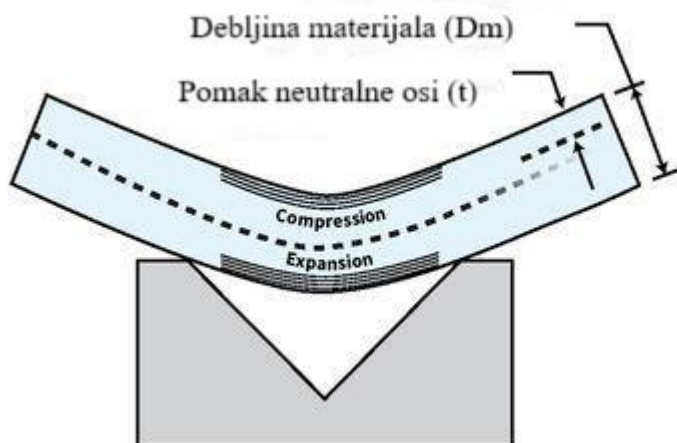
- a) A, B, D, E i F – čvrsti čelici,
- b) AH, DH, EH i FH – čvrsti i jako čvrsti čelici, H označava čvrstoću čelika.

Čelik normalne čvrstoće označava se „NS“ a čvrsti čelici i jako čvrsti čelici označavaju se „HT“.

Tablica 1. Mehanička svojstva brodograđevnih čelika. Specifična lomna čvrstoća i vlačna čvrstoća za valjane čelike koji se koriste u brodogradnji [5]

Čelični limovi $t_{as\_built} \leq 150$ mm	Specifična točka loma $ReH$ ( $\text{N/mm}^2$ )	Specifična vlačna čvrstoća $R_m$ ( $\text{N/mm}^2$ )
A-B-D-E	235	400 – 520
A32-D32-E32-F32	315	440 – 570
A36-D36-E36-F36	355	490 – 630
A40-D40-E40-F40	390	510 – 660
A47-D47-E47-F47	460	570 – 720

Upotreba čelika jako visoke čvrstoće  $ReH = 460 \text{ N/mm}^2$  je ograničeno na brodove za prijevoz kontejnera. Za druge vrste brodova upotreba čelika ove čvrstoće će biti razmatrano posebno od slučaja do slučaja. Upotreba čelika visoke čvrstoće  $ReH \geq 460 \text{ N/mm}^2$  će također biti razmatrana posebno od slučaja do slučaja. Na brodu je obvezno držati nacрте iz kojih možemo jasno vidjeti vrstu i klasu čelika koji se koristio u gradnji broda. Tamo gdje je korišten čelik različit od čelika navedenih u tablici br. 1 mehanička i kemijska svojstva moraju biti jasno navedena [5].



Slika 1 Prikaz savijanja lima, neutralna os se pomiče prema unutarnjoj površini savijanja [10]

$k$ -faktor je omjer položaja neutralne osi ( $t$ ) i debljine materijala ( $Dm$ ) (slika 1). Osim ako nije drugačije određeno faktor materijala,  $k$ , za normalne i čvrste čelike za izradu preporuča se uzeti materijal kao što je navedeno u tablici br. 2.

Tablica 2. Faktor materijala  $k$  [5]

Najmanja specifična točka loma $R_{eH}$ ( $N/mm^2$ )	$k$
235	1,00
315	0,78
355	0,72
390	0,66
460	0,62

Čelici korišteni pri gradnji broda ne smiju biti slabiji od čelika navedenih u tablicama br. 3; br. 4; br. 5; br. 6; br. 7; br. 8; br. 9. i br. 10.

Opći zahtjevi navedeni su u tablici br. 3. Dok su ostali minimalni zahtjevi dati kako slijedi:

- Tablica br. 4: za brodove duljine veće od 150 m osim za brodove koji prevoze ukapljeni plin i koji su navedeni u tablici br. 5.
- Tablica br. 5: za brodove koji prevoze ukapljeni plin duži od 150 m.
- Tablica br. 6: za brodove duže od 250 m.
- Tablica br. 7: za brodove s jednom palubom, bez poprečnih pregrada i duljine veće od 150 m.
- Tablica br. 8: za ledolomce.
- Tablica br. 9: klase materijala u odnosu na debljinu lima.

Tablica 3. Klase materijala u brodogradnji [5]

Strukturna kategorija		Klasa i razredi materijala
Sekundarni	<p>A1. Uzdužna pregrada, sve ostale koje ne pripadaju u primarnu kategoriju</p> <p>A2. Palubne površine izložene djelovanju vremenskih uvjeta, sve ostale koje ne pripadaju u specijalnu i primarnu kategoriju</p> <p>A2. Bočne površine</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasa I unutar 0,4 L po sredini broda</li> <li>- Razred A / AH izvan 0,4 L po sredini broda</li> </ul>
Primarni	<p>B1. Površine dna, uključujući kobilicu</p> <p>B2. Palubnu površinu, osim onih koji spadaju u Specijalnu kategoriju</p> <p>B3. Uzdužne površine osim otvora</p> <p>B4. Najgornje površine uzdužnih pregrada</p> <p>B5. Bočna rešetka otvora i najgornji nagib spremnika</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasa II unutar 0,4 L po sredini broda</li> <li>- Razred A / AH izvan 0,4 L po sredini broda</li> </ul>
Specijalni	<p>C1. Ravne površine na glavnoj palubi</p> <p>C2. Ploča za žice na glavnoj palubi</p> <p>C3. Glavna paluba kod uzdužnih pregrada osim palubne ploče unutarnjih tankova dvotrupnih brodova</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasa III unutar 0,4 L po sredini broda</li> <li>- Klasa II izvan 0,4 L po sredini broda</li> <li>- Klasa I izvan 0,6 L po sredini broda</li> </ul>
	<p>C4. Površine glavne palube kod vanjskih otvora za prostor tereta kod</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasa III unutar 0,4 L po sredini broda</li> <li>- Klasa II izvan 0,4 L po sredini broda</li> </ul>

	kontejnerskih brodova i kod drugih brodova koji imaju slične otvore	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasa I izvan 0,6 L po sredini broda</li> <li>- Minimum klasa III unutar područja teretnog prostora</li> </ul>
	<p>C5. Površine glavne palube na rubovima otvora za teretni prostor kod brodova za prijevoz rasutih tereta, brodova za prijevoz rudača i drugih brodova koji imaju slične otvore</p> <p>C5.1. teretna paluba i unutarnje palube na rubovima otvora za tekućine i plinove u spremnicima membranskog tipa brodova za prijevoz ukapljenih plinova</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasa III unutar 0,6 L po sredini broda</li> <li>- Klasa II unutar ostatka teretnog prostora</li> </ul>
	C6. Kaljuža brodova sa dvodnom i duljine manje od 150 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasa II unutar 0,6 L po sredini broda</li> <li>- Klasa I izvan 0,6 L po sredini broda</li> </ul>
	C7. Kaljuža na ostalim brodovima	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasa III unutar 0,4 L po sredini broda</li> <li>- Klasa II izvan 0,4 L po sredini broda</li> <li>- Klasa I izvan 0,6 L po sredini broda</li> </ul>
	<p>C8. Uzdužni otvori duljine veće od 0,15 L uključujući gornju ploču i prirubnice</p> <p>C9. Prijelaz krajnjeg nosača i palubne kućice uzdužnih otvora za teret</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasa III unutar 0,4 L po sredini broda</li> <li>- Klasa II izvan 0,4 L po sredini broda</li> <li>- Klasa I izvan 0,6 L po sredini broda</li> <li>- Ne manje od razreda D / DH</li> </ul>
<p>Jednostruki prolazi moraju biti klase III unutar 0,4 L po sredini broda i moraju imati prolaze ne manje od <math>800 + 5 L</math>, u mm, mora biti veći od 1800 mm, osima ako nisu ograničeni oblikom broda.</p>		

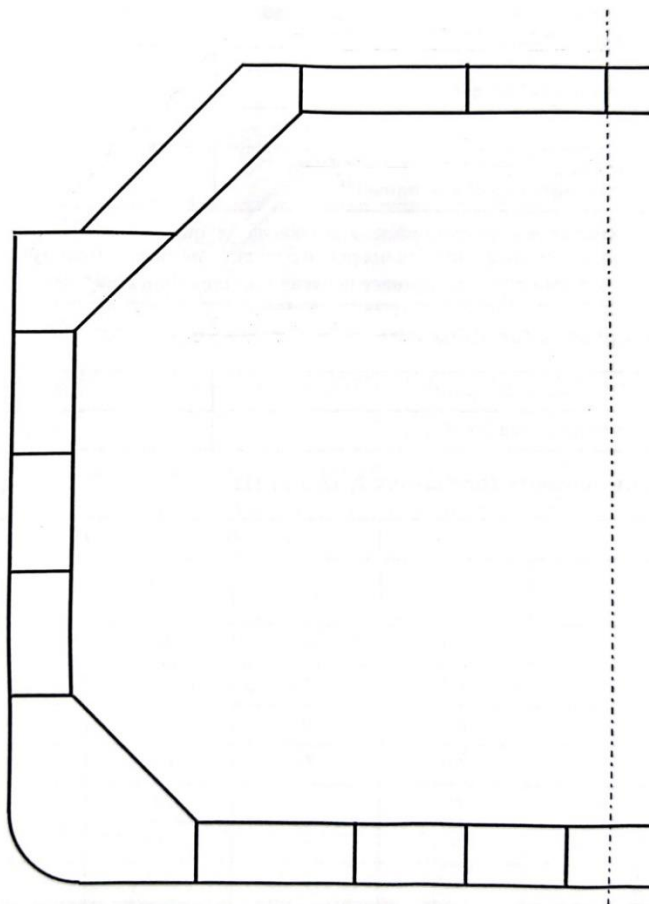
Tablica 4. Najmanje dopušteni razredi materijala za brodove duže od 150 m i koji imaju samo jednu palubu, osim za brodove koji prevoze ukapljeni plin [5]

Kategorije strukture	Razred materijala
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uzdužna paluba gdje pridonosi uzdužnoj čvrstoći</li> <li>- Konstrukcijski dijelovi koji doprinose uzdužnoj čvrstoći a nalaze se iznad glavne palube</li> </ul>	Razred B / AH unutar 0,4 L po sredini broda
Jednostruki prolazi kod brodova koji nemaju unutarnje uzdužne pregrade između dna i glavne palube	Razred B / AH unutar teretnog područja

Tablica 5. Najmanje dopušteni razredi materijala za gradnju brodova membranskog tipa za prijevoz ukapljenih plinova duljine veće od 150 m [5]

Kategorija strukturnih dijelova		Razred materijala
Uzdužne površine koje doprinose uzdužnoj čvrstoći		Razred B / AH unutar 0,4 L po sredini broda
Neprekinuta uzdužna površina iznad glavne palube	Paluba teretnog prostora	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unutarnje palube</li> <li>- Dijelovi koji doprinose uzdužnoj čvrstoći između teretnog prostora i unutarnjih paluba</li> </ul>	Razred B / AH unutar 0,4 L po sredini broda

Tablica broj 5. je primjenjiva na brodove membranskog tipa za prijevoz ukapljenih plinova sa strukturom palube kao što je prikazano na slici broj 1. Ova se tablica može primijeniti i na brodove koji imaju dvodno iznad glavne palube.



Slika 2. Primjer rasporeda dijelova strukture kod membranskog tipa broda za prijevoz ukapljenih plinova [5]

Tablica 6. Najmanji dopušteni razred materijala za brodove duljine veće od 250 m [5]

Kategorija strukturnih dijelova	Razred materijala
Čista površina glavne palube	Razred E / EH unutar 0,4 L po sredini broda
Ploča za žice na glavnoj palubi	Razred E / EH unutar 0,4 L po sredini broda
Površina kaljuže	Razred D /DH unutar 0,4 L po sredini broda
Jednostruki prolazi moraju biti razreda E / EH i unutar 0,4 L po sredini broda moraju biti široki, u mm, ne manje od $800 + 5L$ , ne moraju biti veći od 1800 mm osim ako nisu ograničeni oblikom broda.	

Tablica 6. navodi uvjete koje materijal mora zadovoljiti za korištenje u gradnji brodova dužih od 250 m.

Tablica 7. Najmanje dopušteni razredi materijala za brodove sa jednostrukom oplatom , jednom palubom, bez uzdužnih pregrada i duljine više od 150 m [5]

Kategorija strukturnih dijelova	Razred materijala
Donji nosač bočnog okvira *	Razred D / DH
Bočne ploče uključujući potpuno ili djelomično između dvije točke koje se nalaze 0,125 l iznad i ispod ruba bočne ploče **	Razred D / DH
<p>*izraz „donji nosač bočnog okvira“ označava područje od mreže donjih nosača i mreže donjeg dijela bočnih okvira do točke 0,125 l iznad spoja bočne ploče i kaljužne kose ploče ili unutarne donje ploče.</p> <p>**raspon bočne ploče l, se označava kao duljina između potpornih dijelova.</p>	

Tablica 7. navodi uvjete koje materijal mora zadovoljiti za korištenje u gradnji brodova određenog tipa i dužine veće od 150 m.

Tablica 8. Najmanje dopušteni razredi materijala za ledolomce [5]

Kategorija strukturnih dijelova	Razred materijala
Ploče pramčanog dijela ledolomca	Razred B / AH

Tablica 8. navodi uvjete koje materijal mora zadovoljiti za korištenje u gradnji brodova ledolomaca.

Tablica 9. Razred materijala za klase I , II i III [5]

Klasa	I		II		III	
Debljina pri gradnji, mm	NS	HT	NS	HT	NS	HT
$t \leq 15$	A	AH	A	AH	A	AH
$15 \leq t \leq 20$	A	AH	A	AH	B	AH
$20 \leq t \leq 25$	A	AH	B	AH	D	DH
$25 \leq t \leq 30$	A	AH	D	DH	D	DH
$30 \leq t \leq 35$	B	AH	D	DH	E	EH
$35 \leq t \leq 40$	B	AH	D	DH	E	EH
$40 \leq t \leq 50$	D	DH	E	EH	E	EH

$50 \leq t \leq 150$	D	DH	E	EH	E	EH
----------------------	---	----	---	----	---	----

Tablica broj 9. navodi razrede materijala koje koristimo za određene klase.

Tablica 10. Najmanje dopušteni razredi materijala [5]

Debljina pri gradnji, u mm	Najmanje	
	NS	HT
$t \leq 40$	A	AH
$40 \leq t \leq 50$	B*	AH
$50 \leq t \leq 150$	D*	DH*

\*za temeljne ploče u strojarnici:  
- izvan 0,6 L po sredini broda prihvatljivi su razredi A / AH.  
- unutar 0,6 L po sredini broda, razredi B / BH će biti korišteni za ploče deblje od 30 mm.

Tablica broj 10. navodi koji su dopušteni razredi materijala koje koristimo.

## 2.2. Nehrdajući čelici

Za obložene čelike i nehrđajuće čelike mora se obratiti pozornost na smanjenje čvrstoće sa povećanjem temperature. Za nemagnetske nehrđajuće čelike i čelike obložene slojem nemagnetičnog nehrđajućeg čelika faktor materijala  $k$  koji se koristi u formulama dat je ispod.

$$k = \left\{ \left[ \left( 3,9 + \frac{T - 20}{650} \right) R_{eH} - 4,15(T - 20) + 220 \right] 10^{-3} \right\}^{-1} \quad [1]$$

Gdje je  $T$  temperatura tereta u °C, ne uzimati manje od 20 °C.

Za spojeve krajeva valovitog dijela, nosače i učvršćivače faktor neće biti veći od:

$$k = [1,21 - 3,2 (T - 20)10^{-3}]^{-1} \quad [2]$$

Za obložene čelike faktor materijala  $k$  će biti:

$$k = \left[ \frac{1,67Reh - 1,37T}{1000} - 41,5 Reh_b^{-0,7} + 1,6 \right]^{-1} \quad [3]$$

Gdje je  $R_{eH\_b}$  = najmanja specifična lomna čvrstoća [N/mm<sup>2</sup>]

$k$  se ni u kojem slučaju ne smije uzeti za manje nego što je navedeno u tablici 1. Izračunati faktor se može uzeti za ukupnu debljinu ploče. Faktor materijala  $k$  osnovnog materijala može se uzeti kao najmanja debljina. Najmanja debljina će se izračunati za osnovni materijal. Za mješovite materijale (željezne nemagnetične materijale) nehrđajuće čelike faktor materijala  $k$  će se proračunavati za svaki slučaj posebno.



Za nemagnetična željeza sa lomnom čvrstoćom od 450 N / mm<sup>2</sup>, slijedeće veličine faktora materijala će biti uzeti u obzir:

$k=0,63$  pri +20 °C

$k=0,74$  pri +85 °C.

Za krajeve spojeva valovitih dijelova, nosača i učvršćivača faktor ne bi trebao biti veći od:

$k=0,72$  pri +20 °C

$k=0,85$  pri +85 °C.

Za temperature u rasponu od +20 °C do +85 °C izračunava se sredina faktora materijala. Za visoko opterećene dijelove nosača konstrukcije gdje je čvrstoća od posebne važnosti, dijelovi koji moraju biti klasa materijala III po tablici br. 3. Unutrašnji radijus savijenog dijela ne smije biti manji od 10 debljina lima za ugljično-manganske čelike. Za bitne strukturne dijelove koji nisu gore navedeni radijus unutrašnjeg savijanja kod hladno oblikovanih oplata ne smije biti manji od 4,5 debljine lima za mangansko-ugljične čelike i 2 puta debljine lima za nemagnetične čelike i presvućene nehrđajuće čelike [5].

Za mangansko-ugljične čelike gore dozvoljeni radijus se može smanjiti ako:

- a) ako je fino završno obrađen tj. Razred materijala D / DH ili veći,
- b) ako je materijal ispitan na naprezanje i zadovoljava navedene uvjete.
- c) ako se izvrši 100% pregled deformiranog dijela. Također se treba izvršiti magnetno ispitivanje.
- d) radijus savijanja u nijednom slučaju nije 2 puta veći od debljine lima.

### **2.3. Lijevani i kovani čelici za brodogradnju**

Valjani čelici se mogu primijeniti u brodogradnji kao zamjena za kovane čelike nakon pojedinačnog ispitivanja od strane nadzornog tijela [9]. Lijevani dijelovi namjeni za krmene i pramčane dijelove mogu biti napravljeni od C i C-Mg čelika ako imaju najmanju vlačnu čvrstoću od  $R_m \geq 400$  N/mm<sup>2</sup>. Korištenje lijevanih dijelova koji se navaruju na glavnu palubu i koji doprinose čvrstoći broda će se ispitati za svaki slučaj posebno. Nadzorno tijelo može tražiti dodatna ispitivanja za takve dijelove. Jako opterećeni dijelovi kormilo stroja i rotor koji se ugrađuju bez klina mogu biti dodatno ispitani od strane nadzornog tijela.

### **2.4. Korozijski dodaci**

Navedeni dodatak na koroziju primjenjiv je na ugljično-manganske čelike, nehrđajuće čelike, i aluminijske legure.

$t_c$  = korozijski dodatak, u mm

$t_{c1}, t_{c2}$  = korozijski dodatak, u mm, na obje strane razmatranog dijela kao što je objašnjeno u tablici broj 1.

$T_{res}$  = pričuvna debljina, uzima se 0,5 mm

Korozijski dodaci koji se spominju u ovim pravilima su primjenjivi na mangansko-ugljične čelike, nehrđajuće čelike, obložene čelike i aluminijske slitine.

Ukupni korozijski dodatak,  $t_c$ , u mm, za obje strane promatranog dijela se dobije po formuli:

$$t_c = t_{c1} + t_{c2} + t_{res}$$

Za unutarnji dio promatranog dijela ukupni korozijski dodatak  $t_c$  se dobije po formuli:

$$t_c = 2t_c + t_{res}$$

gdje je  $t_{c1}$  vrijednost dobivena iz Tablice broj 1 za jednostranu izloženost tog dijela.

Ukupni korozijski dodatak  $t_c$ , u mm, za dijelove granice odjeljaka broda i unutarnje brodske dijelove napravljene od nehrđajućeg čelika ili od aluminija će se uzeti kao:

$$t_c = t_{res} = 0,5$$

U slučaju obloženog nehrđajućeg čelika dodatak koroziji  $t_{c1}$  za ugljične čelike i  $t_{c2}$  za nehrđajuće čelike uzima se prema:

$$t_{c1} = \text{predviđeno tablicom broj 1}$$

$$t_{c2} = 0$$

Ukupni korozijski dodatak  $t_c$  neće biti manji od:

$$t_c = t_{cmin} = 0,05 t_{gr\_off}$$

gdje je  $t_{cmin}$  zaokružen na najbližih pola milimetra.

Ovaj zahtjev nije primjenjiv za nehrđajući čelik i aluminiji.

Ukupan korozijski dodatak  $t_c$  ne treba biti veći od:

$$t_c = t_{cmax} = 0,2 t_{gr\_off}$$

gdje je  $t_{cmx}$  zaokružen na najbližih pola milimetra. Korozijski dodatak učvršćivača se određuje prema mjestu gdje se nalazi njihov spoj sa oplatom. Kad se na dati učvršćivač može primijeniti više korozijskih dodataka primjenjuje se najveći [5].

Tablica 11. Korozijski dodatak za jednu stranu dijela [5]

Vrsta odjeljka	Strukturni dio	$t_{c1} \geq t_{c2}$
Tankovi za naftu i ukapljeni plin	Svi dijelovi	1,0
Rasuti teret, kontejnerski brodovi i brodovi za generalni teret	Niži dijelovi* za brodove Grab (3-X) oznake	2,5
	Niži dijelovi** za ostale brodove	1,0
	Ostali dijelovi	0,5
	Niži dijelovi**	1,0

Prostori koji sadrže membranske tankove ili odvojene teretne tankove***	Ostali dijelovi	0,5
Vanjske površine	Svi dijelovi	0,5
Tankovi balastnih voda	Svi dijelovi	1,0
Tankovi pitke vode, goriva, ulja za podmazivanje, blata****	Svi dijelovi	0,5
Tankovi za rasol, tankovi za ureu, kaljužni tankovi, odljevni tankovi i lančanici	Svi dijelovi	1,0
Stambene prostorije	Svi dijelovi	0,0
Praznine, suhi prostori i odjeljci koji nisu gore navedeni	Gornje palubne površine ili donje ploče odjeljaka	0,5
	Ostalo	0,0
Nehrđajući čelik i aluminiji (neovisno u kojem su odjeljku broda)	Svi dijelovi	0,0
<p>*niži dijelovi uključuju unutarnje dno i ostale dijelove unutar visine od 3,0 m iznad unutarnjeg dna.</p> <p>**niži dijelovi uključuju unutarnje dno i ostale dijelove unutar visine od 1,5 m iznad unutarnjeg dna.</p> <p>***ovo je za proračun korozije dijelova unutar broskog trupa. Membranski tankovi i odvojeni tankovi nisu pokriveni ovim pravilom.</p> <p>****također primjenjivo za tankove tereta koji prevoze samo pitku vodu, gorivo, ulje za podmazivanje ili blato.</p>		

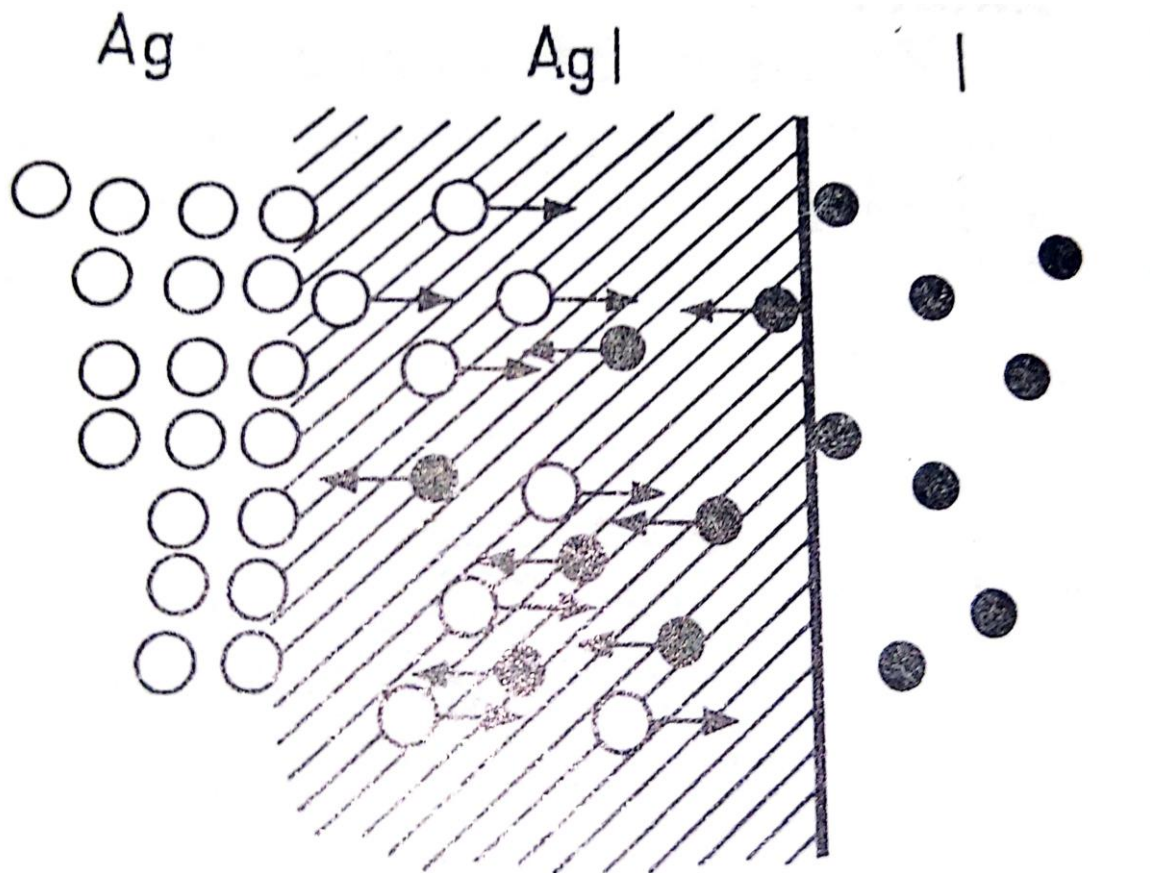
Tablica broj 11. navodi koliki je korozijski dodatak za određeni dio konstrukcije broda.

### 3. Korozijska zaštita od korozijske

Čelik, kao glavni materijal konstrukcije broda troši se iz više razloga. Jedan od najčešćih uzroka propadanja čelika je utjecaj kemijskih i elektrokemijskih čimbenika iz okoline. Reakcija koja u tim slučajevima nastaje na kovinskim površinama i u samoj kristalnoj strukturi nazivamo korozijska. Posljedice korozijske mogu se razviti u tolikoj mjeri da predmet od kovine izgubi svoju korisnost. Korozijska je obrnuta pojava od proizvodnje kovina iz ruda. U prirodi kovine se nalaze u obliku sulfata, klorida, oksida, karbonata itd. Glavni pokretači korozijske su kisik i voda a kojih imamo u prirodi jako velikim količinama. Korozijska je razaranje kovine pod utjecajem kemijskog ili elektrokemijskog djelovanja vanjskih utjecaja. Uvijek započinje na površinskom dijelu a zatim se razvija u ostatku mase kovine to jest prema unutra [2]. Prema korozijskim uvjetima podvodni dio oplata broda dijeli se na pramčani dio, bokove, dno broda i na krmni dio broda. Pri brzinama većim od 20 čvorova postoji velik utjecaj olakšanog pristupa kisika na površinu lima oplata što uzrokuje povećanu korozijsku. Bočna oplata broda je manje izložena hidrodinamičkom djelovanju mora ali je više izložena mehaničkim oštećenjima uslijed pristajanja broda i naslanjanja tegljača [3]. Krmni dio broda je također izložen hidrodinamičkom djelovanju mora ali zbog oblika izloženost je jako smanjena [4]. Po načinu djelovanja razlikuju se ove vrste korozijske: točkasta, površinska, međukristalna i selektivna. Točkasta korozijska nastaje na pojedinim mjestima površine kovine. Uzrok točkaste korozijske je elektrokemijske prirode (galvanski elementi, lokalne struje). Bit održavanja i čuvanja čeličnih površina od korozijske je u tome da se spriječi dodir čeličnih površina sa zrakom i vodom. To se postiže bojenjem, galvanizacijom, galvanskom zaštitom itd. Prije primjene bilo kojeg zaštitnog sredstva željezo ili čelik treba najprije dobro pripremiti, tj. s njega skinuti svu postojeću hrđu, vlagu i nečistoće i masnoće jer se prvi zaštitni sloj mora staviti na čistu čeličnu površinu. Tehničkim pregledima, pravilnom obukom ljudstva i redovitim nadzorom može se spriječiti širenje korozijske.

#### 3.1. Kemijska korozijska

Kemijska korozijska nastaje djelovanjem tečnih neelektrolita i suhih plinova pri čemu produkti korozijske nastaju iz dodira kovine s agresivnom sredinom. Mehanizam kemijske korozijske: djelovanjem vanjske sredine na kovinu stvara se najprije monomolekulska opna koja se sastoji iz jednog sloja molekula [1]. Kroz opnu mogu prodrijeti i agensi vanjske sredine reagirajući s drugim dijelom kovine [4]. Kemijska korozijska kovine nastaje iz izravne reakcije između kovine i agresivne okoline.



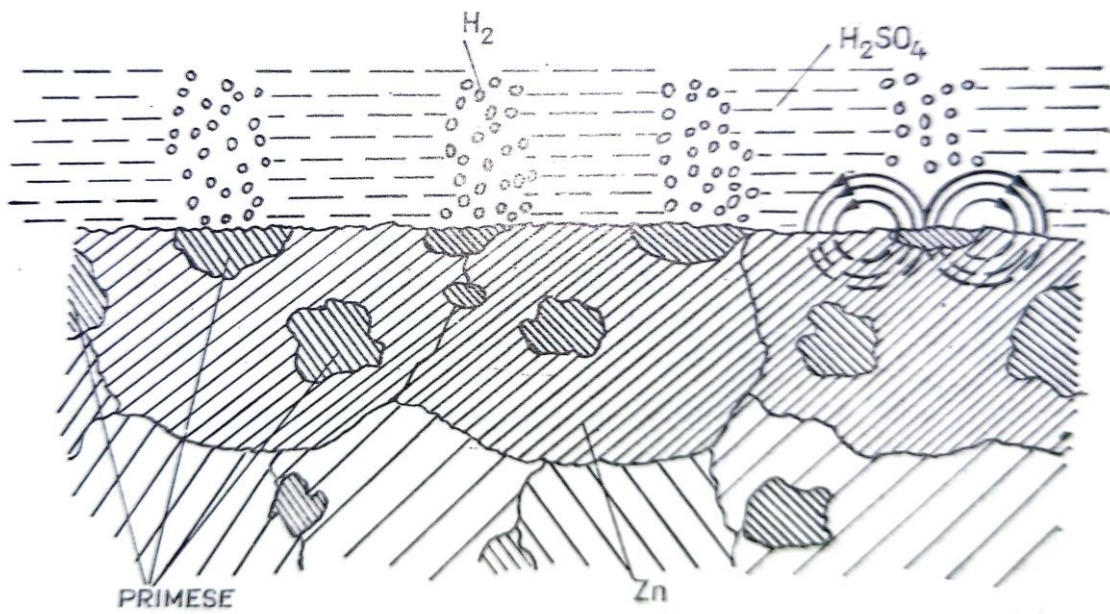
Slika 3. Shematski prikaz mehanizma kemijske korozije [3]

Neki od načina zaštite protiv kemijske korozije:

- a) Zaštita od kemijske korozije postiže se legiranjem, zaštitnom prevlakom i zaštitnom atmosferom. Legiranje je jedan od osnovnih metoda zaštite kovine od korozije [9]. Sastoji se u unošenju u kovinu ili leguru sastava koji na njihovoj površini brže grade oksid nego osnovni metal legure [7]. Tako se npr. nehrđajuće vrste čelika dobivaju njegovim legiranjem s aluminijem, kromom ili silicijem.
- b) Zaštitne prevlake – najučinkovitiji postupci zaštite kovine metodom prevlaka su termodifuzijski: alitiranje i termokromiranje.
- c) Zaštitna atmosfera je postupak koji se primjenjuje u tehnološkim procesima (termička obrada, kovanje, valjanje) [8]. Termička obrada je jeftinija a proizvodnja kvalitetnija.

### 3.2. Elektrokemijska korozija

Do ozbiljnih korodiranja čeličnih površina dolazi utjecajem galvanskog elementa to jest rastvaranje materijala pod utjecajem nastanka električne struje između dvaju ili više materijala različitih elektrolitičkih potencijala. Ovakve uzroke je jako teško uočiti i nije ih moguće uvijek i na vrijeme odstraniti. Osobito je štetan dodir čelika sa bakrom i bakrenim legurama. Elektrokemijska korozija je najčešći i najrasprostranjeniji oblik korozije [1]. Nastaje djelovanjem lokalnih galvanskih veza na kovine i njihove legure. Korozija može nastati i kod raznorodnih elektroda [4]. Npr. aluminijski limovi spojeni zakovicama koje su napravljane od mesinga ili bakra vrlo brzo korodiraju u morskoj vodi koja djeluje kao elektrolit [3]. Mehanizam elektrokemijske korozije objašnjava se postojanjem mikro- ili makrogalvanskih elemenata na površini kovine i samom strukturom kovine. Zaštita od elektrokemijske korozije postiže se uglavnom legiranjem, obradom korodirajuće površine, nanošenjem zaštitnih presvlaka i elektrokemijskom zaštitom [8].



Slika 4. Shematski prikaz mehanizma elektrokemijske korozije [3]

Neki od načina zaštite protiv elektrokemijske korozije:

- Legiranjem se povećava otpornost prema koroziji. Za to se koriste postojeane kovine npr. legiranje bakra zlatom [4].
- Obrada korodirajuće sredine postiže se smanjenjem sadržaja agenasa korozije ili primjenom inhibitora [3].
- Nanošenjem zaštitnih presvlaka (kovinskih i nekovinskih) izolira se kovine ili legure od vanjske sredine koja uzrokuje koroziju [7].

- d) Elektrokemijskom zaštitom smanjuje se brzina elektrokemijske korozije metalnih konstrukcija i uređaja. Postiže se anodnom ili katodnom polarizacijom kovinskih dijelova [1].
- e) Električna metoda zaštite: kovina u elektrolitu neće korodirati ako joj se potencijal negativira do ravnotežnog potencijala anoda korozivskih članaka. Takva katodna polarizacija kovine naziva se katodna zaštita. Anoda se pri tome žrtvuje to jest ubrzano korodira. Za zaštitu čelika koriste se anode od cinka, za zaštitu aluminija koriste se anode od čistog cinka ili magnezijevih legura. Bakar se štiti anodama od niskougljičnog čelika. Ovaj način zaštite jako zadovoljava u morskom okruženju [3].

Tablica 12. Neka svojstva anodnih materijala [2]

Materija	Magnezij	Cink	Aluminij	Željezo
Teorijski potrošak metala u kg / A god	3,97	10,69	2,94	9,15
Teorijska iskoristivost u A h/kg	2204	820	2982	960
Gustoća u kg / dm <sup>3</sup>	1,74	7,14	2,74	7,86
Teorijska iskoristivost A h / dm <sup>3</sup>	3836	5849	8170	7549
Razlika potencijala prema čeliku u V	1,0	0,5	varira	0

## Zaključak

Najraširenija način zaštite broskog trupa od korozije i njenog štetnog djelovanja je zaštita premazima, ali u obzir dolaze i koriste se i druge metode [1]. U brodogradnji se najčešće koriste organski zaštitni premazi, udio primjene ostalih vrsta premaza je jako manji. Ovisno o dijelu konstrukcije koja se želi zaštititi, premazi imaju i drugu svrhu osim zaštitne (protiv obraštanja, protiv sklizanja, otporni na visoke temperature itd.). Tijekom izvođenja same zaštite od velike je važnosti odgovarajuće pripremiti podlogu koju želimo zaštititi, dobro nanositi premaz i osigurati dobre uvjete rada (osvijetljenost, dostupnost površine koju obrađujemo, prozračivanje prostora) i odgovarajuće radne uvjete (temperatura okoline, vlažnost zraka i sl.) [6]. Pravilan izbor načina bojenja uvelike utječe na ukupnu zaštitu površine (brzinu zaštićivanja i kakvoću izvedenog rada). Najčešće se koristimo: bojenje četkom, valjcima i prskanje sa zrakom [7]. Uz zaštitu premazima, bitan je način zaštite od korozije u brodogradnji i katodna zaštita. Postupak se zasniva na privođenju elektrona samoj kovini, ili iz negativnoga pola istosmjerne struje (narinuta struja) ili iz lošije kovine (žrtvovana anoda), sve dok potencijal dijela kojeg štitimo ne padne ispod zaštitne vrijednosti jednake ravnotežnom potencijalu anode korozijskoga članka, čime nestaje mogućnost nastanka uvjeta za koroziju, tj. kovina postaje otporna na nastanak korozije. Borba protiv korozije počinje prilikom konstruiranja broda a završava se održavanjem gotove konstrukcije.



## Popis literature

- [1] Pomorska enciklopedija, tom 4, Leksikografski zavod „Miroslav Krleža“, Zagreb, 1978.
- [2] Tehnička enciklopedija, tom 7, Leksikografski zavod „Miroslav Krleža“, Zagreb, 1980.
- [3] Vojna enciklopedija, tom 4, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1972.
- [4] Tehnologija materijala 1, Aleksandar Kraljek, SSNO, Beograd, 1978.
- [5] Rules for classification: Ships–DNVGL–RU–SHIP–Pt3Ch3. Edition October 2015.
- [6] Inženjersko tehnički priručnik (prevod s Ruskog), tom 6, Rad, Beograd, 1976.
- [7] Tehnologija materijala 2, Aleksandar Kraljek, SSNO, Beograd, 1980.
- [8] Ship construction, D.J. Eyres, G.J. Bruce, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2012.
- [9] Ljevački priručnik, Savez ljevača Hrvatske, Zagreb, 1985.
- [10] <https://www.thefabricator.com/thefabricator>

## Popis slika

Slika 1 Prikaz savijanja lima, neutralna os se pomiče prema unutarnjoj površini savijanja [10]	6
Slika 2. Primjer rasporeda dijelova strukture kod membranskog tipa broda za prijevoz ukapljenih plinova [5].....	10
Slika 3. Shematski prikaz mehanizma kemijske korozije [3].....	17
Slika 4. Shematski prikaz mehanizma elektrokemijske korozije [3].....	18

## Popis tablica

Tablica 1. Mehanička svojstva brodograđevnih čelika. Specifična lomna čvrstoća i vlačna čvrstoća za valjane čelike koji se koriste u brodogradnji [5] .....	5
Tablica 2. Faktor materijala k [5] .....	6
Tablica 3. Klase materijala u brodogradnji [5] .....	7
Tablica 4. Najmanje dopušteni razredi materijala za brodove duže od 150 m i koji imaju samo jednu palubu, osim za brodove koji prevoze ukapljeni plin [5] .....	9
Tablica 5. Najmanje dopušteni razredi materijala za gradnju brodova membranskog tipa za prijevoz ukapljenih plinova duljine veće od 150 m [5] .....	9
Tablica 6. Najmanji dopušteni razred materijala za brodove duljine veće od 250 m [5] .....	10
Tablica 7. Najmanje dopušteni razredi materijala za brodove sa jednostrukom oplatom , jednom palubom, bez uzdužnih pregrada i duljine više od 150 m [5] .....	11
Tablica 8. Najmanje dopušteni razredi materijala za ledolomce [5] .....	11
Tablica 9. Razred materijala za klase I , II i III [5] .....	11
Tablica 10. Najmanje dopušteni razredi materijala [5] .....	12
Tablica 11. Korozijski dodatak za jednu stranu dijela [5] .....	14
Tablica 12. Neka svojstva anodnih materijala [2] .....	19

