

# Željezni ljevovi za primjene u brodogradnji

---

**Karačić, Frano**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:099922>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-04**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Frano Karačić**

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Danko Čorić

Student:

Frano Karačić

Zagreb, 2021.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Danku Ćoriću, asistentu Tomislavu Rodingeru na pomoći i vremenu koje su mi posvetili prilikom izrade ovog rada.

Posebno se želim zahvaliti svojim roditeljima, obitelji, djevojci i prijateljima koji su vjerovali u mene i bili mi podrška tokom studija.

Frano Karačić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:

proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 21 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 21 -	

**ZAVRŠNI ZADATAK**

Student: **Frano Karačić**

Mat. br.: 0035209768

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Željezni ljevovi za primjene u brodogradnji**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Iron castings for shipbuilding applications**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati željezne ljeveve namijenjene primjenama u brodogradnji sukladno Pravilima za klasifikaciju brodova Hrvatskog registra brodova. Za ljeveve iz skupina čeličnog i sivog lijeva potrebno je definirati kemijski sastav, mikrostrukturu, toplinsku obradu, mehanička ispitivanja i postiziva mehanička svojstva.

Zadatak zadan:

30. studenoga 2020.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Danko Ćorić

Datum predaje rada:

**1. rok:** 18. veljače 2021.

**2. rok (izvanredni):** 5. srpnja 2021.

**3. rok:** 23. rujna 2021.

Predvideni datumi obrane:

**1. rok:** 22.2. – 26.2.2021.

**2. rok (izvanredni):** 9.7.2021.

**3. rok:** 27.9. – 1.10.2021.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
POPIS KRATICA .....	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY .....	IX
1. UVOD.....	1
2. Čelični ljevovi za trup i strojarnicu broda .....	3
2.1 Područje primjene .....	3
2.2 Proizvodnja i kvaliteta.....	3
2.2.1 Proizvodnja.....	3
2.2.2 Kvaliteta .....	3
2.3 Kemijski sastav .....	4
2.4 Toplinska obrada .....	5
2.5 Mehanička svojstva i mehanička ispitivanja .....	6
2.6 Pregled.....	7
2.7 Popravak neispravnih ljevova .....	8
2.7.1 Popravak zavarivanjem .....	8
2.8 Označavanje ljevova .....	9
3. Čelični ljevovi za propelere .....	10
3.1 Kemijski sastav .....	11
3.2 Toplinska obrada .....	11
3.3 Mehanička svojstva .....	11
3.4 Vizualni pregled .....	13
3.5 Nerazorna ispitivanja.....	13
3.6 Popravci.....	15
3.7 Popravci zavarivanjem .....	15
3.8 Označavanje .....	16
3.9 Provjera kvalificiranosti postupka zavarivanja .....	17
3.9.1 Nerazorna ispitivanja.....	18
3.9.2 Makro ispitivanje.....	18
3.9.3 Statičko vlačno ispitivanje .....	18
3.9.4 Ispitivanje savijanja.....	18
3.9.5 Ispitivanje udarnog rada loma .....	19
3.9.6 Ispitivanje tvrdoće .....	19

4. Željezni ljevovi .....	20
4.1 Područje primjene .....	20
4.2 Sivi lijev .....	20
4.2.1 Kemijski sastav .....	20
4.2.2 Mikrostruktura.....	21
4.2.3 Toplinska obrada .....	21
4.2.4 Mehanička ispitivanja .....	21
4.2.5 Mehanička svojstva .....	23
4.2.6 Pregled.....	23
4.2.7 Popravak neispravnih ljevova .....	24
4.2.8 Označavanje ljevova .....	24
4.3 Nodularni (žilavi) lijev .....	25
4.3.1 Kemijski sastav i mikrostruktura .....	25
4.3.2 Toplinska obrada .....	25
4.3.3 Mehanička ispitivanja .....	26
4.3.4 Mehanička svojstva .....	29
4.3.5 Pregled.....	30
4.3.6 Metalografska ispitivanja .....	31
4.3.7 Popravak neispravnih ljevova .....	31
4.3.8 Označavanje ljevova .....	31
5. Sidra.....	32
5.1 Općenito o sidrima .....	32
5.2 Materijali za izradu sidra.....	33
5.3 Proizvodnja sidra.....	33
5.3.1 Tolerancije.....	33
5.3.2 Toplinska obrada .....	34
5.3.3 Popravci.....	34
5.3.4 Ispitivanje i odobravanje .....	35
5.3.5 Označavanje sidra .....	37
6. Lanci za sidra i dodaci .....	38
6.1 Materijali .....	38
6.1.1 Valjanje čelične šipke.....	38
6.1.2 Kovani čelik za lance za sidra i dodatke .....	41
6.1.3 Čelični lijev za sidrene lance i dodatke .....	41
6.1.4 Materijal za prečku.....	41
6.2 Konstruiranje i proizvodnja lanca i dodataka.....	42
6.2.1 Konstruiranje.....	42
6.2.2 Dimenzioniranje i dimenzijske tolerancije.....	42
6.2.3 Proizvodnja.....	43
6.2.4 Zavarivanje prečki.....	44
6.2.5 Toplinska obrada .....	44
6.3 Mehanička ispitivanja i certifikacija lanaca .....	44

---

6.3.1 Ispitivanje nosivosti i lomne čvrstoće .....	44
6.3.2 Mehanička ispitivanja CRS – L2 i CRS – L3 razreda.....	45
6.3.3 Označavanje .....	47
6.3.4 Certifikacija.....	48
6.4 Ispitivanje i certifikacija dodataka .....	48
6.4.1 Ispitivanje nosivosti .....	48
6.4.2 Ispitivanje lomne čvrstoće.....	48
6.4.3 Mehanička svojstva i ispitivanje .....	49
6.4.4 Označavanje .....	49
7. ZAKLJUČAK.....	50
8. LITERATURA .....	51



**POPIS SLIKA**

Slika 1-1	Postupci dobivanja željeznih ljevova [2].....	1
Slika 2-1	Widmannstättenova mikrostruktura čeličnog lijeva (povećanje 500:1) [1] .....	5
Slika 2-2	Dimenzije ispitne epruvete [3] .....	6
Slika 3-1	Propeler napravljen od čeličnog lijeva [7] .....	10
Slika 3-2	Elektrolučno zavarivanje elektrodom [6] .....	16
Slika 3-3	Ispitni uzorci za provjeru kvalificiranosti postupka zavarivanja [3].....	17
Slika 3-4	Uzorak za ispitivanje savijanja [3] .....	18
Slika 4-1	Tipovi listića grafita prema ASTM normi [1] .....	21
Slika 4-2	Ispitne epruvete za ispitivanje mehaničkih svojstava sivog lijeva [3] .....	22
Slika 4-3	Ispitna epruveta za ispitivanje vlačnih i tlačnih svojstava [3].....	23
Slika 4-4	Mikrostruktura feritnog (a) i perlitnog (b) nodularnog lijeva [1].....	25
Slika 4-5	Tip A ispitne epruvete (U-tip) s pripadajućim dimenzijama [3].....	27
Slika 4-6	Tip B ispitne epruvete (dvostruki U-tip) s pripadajućim dimenzijama [3] .....	27
Slika 4-7	Tip C ispitne epruvete (Y-tip) s pripadajućim dimenzijama [3] .....	28
Slika 5-1	Sidro bez prečke [11] .....	32
Slika 5-2	HHP sidro [12] .....	33
Slika 5-3	Dopušteno bočno gibanje struka sidra [3] .....	34
Slika 6-1	Mjesta za uzimanje uzoraka [3].....	39
Slika 6-2	Tolerancije karika[3] .....	43
Slika 6-3	Pravilno označena karika sidrenog lanca [3].....	47

## POPIS TABLICA

Tablica 2-1 Kemijski sastav čeličnog lijeva za izradu trupa i strojarnice (%) [3].....	4
Tablica 2-2 Mehanička svojstva čeličnog lijeva za trup i strojarnicu broda [3].....	7
Tablica 3-1 Kemijski sastav legura za propeler [3] .....	11
Tablica 3-2 Mehanička svojstva čeličnog lijeva za propelere [3] .....	12
Tablica 3-3 Dozvoljeni broj i veličina indikacija s obzirom na zone ozbiljnosti [3] .....	14
Tablica 4-1 Uobičajeni kemijski sastav sivog lijeva (%) [1].....	20
Tablica 4-2 Kemijski sastav nodularnog lijeva (%) [3] .....	25
Tablica 4-3 Dimenzije ispitnih epruveta za ispitivanje udarnog rada loma [3].....	29
Tablica 4-4 Mehanička svojstva za nodularni lijev [3] .....	30
Tablica 5-1 Programi ispitivanja koji se primjenjuju za određeni način izrade [3].....	35
Tablica 5-2 Prikaz ispitivanja za svaki program [3] .....	35
Tablica 5-3 Standardna nerazorna ispitivanja HHP sidra[3] .....	36
Tablica 5-4 Standardna nerazorna ispitivanja SHHP sidra[3] .....	36
Tablica 5-5 Detaljna nerazorna ispitivanja za obična, HHP i SHHP sidra [3] .....	36
Tablica 6-1 Kemijski sastav valjanih čeličnih šipki [3].....	38
Tablica 6-2 Mehanička ispitivanja valjane čelične šipke [3].....	40
Tablica 6-3 Dimenzijske tolerancije valjanih čeličnih šipki [3] .....	40
Tablica 6-4 Toplinska obrada za različite razrede lanaca [3] .....	41
Tablica 6-5 Formule za određivanje ispitivanja nosivosti i lomne čvrstoće [3].....	44
Tablica 6-6 Broj mehaničkih ispitivanja za razrede, vrste sidrenog lanaca i dodataka [3] .....	46
Tablica 6-7 Mehanička svojstva za gotov sidreni lanac i dodatke [3].....	47

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$a$	mm	debljina uzorka za ispitivanje savijanja
$A_5$	%	produljenje
$b$	mm	širina uzorka za ispitivanje savijanja
$d$	mm	promjer uzorka za vlačno ispitivanje
$D$	mm	promjer uzorka za ispitivanje savijanja
$d_{max}$	mm	maksimalni promjer valjane čelične šipke
$d_{min}$	mm	minimalni promjer valjane čelične šipke
$E$	N/mm <sup>2</sup>	modul elastičnosti
$HV$		ispitivanje tvrdoće po Vickersu
$KV$	J	ispitivanje udarnog rada loma
$L_c$	mm	paralelna duljina ispitivanja uzorka za vlačno ispitivanje
$L_o$	mm	izvorna duljina mjerenja uzorka za vlačno ispitivanje
$R$	mm	polumjer prijelaza uzorka za vlačno ispitivanje
$R_p$	mm	polumjer propelera
$R_{eH}$	N/mm <sup>2</sup>	gornja vlačna čvrstoća
$R_m$	N/mm <sup>2</sup>	maksimalna vlačna čvrstoća
$R_{p0,2}$	N/mm <sup>2</sup>	konvencionalna granica razvlačenja za produljene 0,2%
$R_{p1,0}$	N/mm <sup>2</sup>	konvencionalna granica razvlačenja za produljene 1,0%
$R_s$	mm	polumjer prijelaza uzorka za vlačno ispitivanje nodularnog lijeva
$S_o$	mm <sup>2</sup>	izvorna površina presjeka uzorka za vlačno ispitivanje
$t$	mm	Najmanja lokalna debljina
$X$	mm	maksimalni pomak od sredine karike
$Z$	%	smanjenje površine
$\alpha$	°	maksimalni otklon

## **POPIS KRATICA**

ASTM – Američko udruženje za ispitivanje i materijale

AW – kao zavaren

EN – europski standard

HRN – hrvatske norme

IACS – Međunarodno udruženje klasifikacijskih društava

ISO – Međunarodna organizacija za normizaciju

MT – magnetska metoda nerazornog ispitivanja

N – normaliziran

NA – ne primjenjuje se

NP – nije potrebno

NT – normaliziran i popušten

PT – penetrantska metoda nerazornog ispitivanja

UT – ultrazvučna metoda nerazornog ispitivanja

QT – poboljšan

## **SAŽETAK**

Tema ovog rada je opisivanje željeznih ljevova namijenjenih primjeni u brodogradnji sukladno Pravilima za klasifikaciju brodova Hrvatskog registra brodova. Naglasak je stavljen na proučavanje čeličnih, sivih i nodularnih ljevova koji se primjenjuju u brodogradnji. Proučen je traženi kemijski sastav, mikrostruktura, načini toplinske obrade, mehanička ispitivanja te postiziva mehanička svojstva. U radu su obrađeni i tehnički zahtjevi za proizvodnju sidara, sidrenih lanaca i dodataka. Njihova proizvodnja, korišteni materijali, konstruiranje, mehanička ispitivanja te postiziva mehanička svojstva su također obrađeni.

Ključne riječi: željezni lijev, brodogradnja, sidro, Hrvatski registar brodova

## **SUMMARY**

The subject of this thesis is the description of iron castings intended for shipbuilding application in accordance with the Rules for the Classification of Ships of the Croatian Register of Shipping. The emphasis is placed on the study of crucible steel, gray iron and nodular iron castings applied in shipbuilding. The required chemical composition, microstructure, methods of heat treatment, mechanical tests and achievable mechanical properties were studied. The thesis also deals with technical requirements for the manufacturing of anchors, anchor chains and accessories. Their production, materials, design, mechanical testings and achievable mechanical properties have also been studied.

Key words: cast iron, shipbuilding, anchors, Croatian register of shipping

## 1. UVOD

Lijev je metalna legura koja se ulijeva u kalupe te poprima konačni oblik koji se naknadno može doraditi obradom odvajanjem čestica. Ljevovi se prvenstveno primjenjuju kada tehnički niti ekonomski nije izvodljivo oblikovanje na neki drugi način kao što je kovanje ili obrada odvajanjem čestica iz poluproizvoda (šipke, cijevi, ploče). Odljevci se koriste prilikom izrade dijelova vrlo složenih oblika i velikih dimenzija poput dijelova brodova, postolja, kućišta strojeva itd. [1]

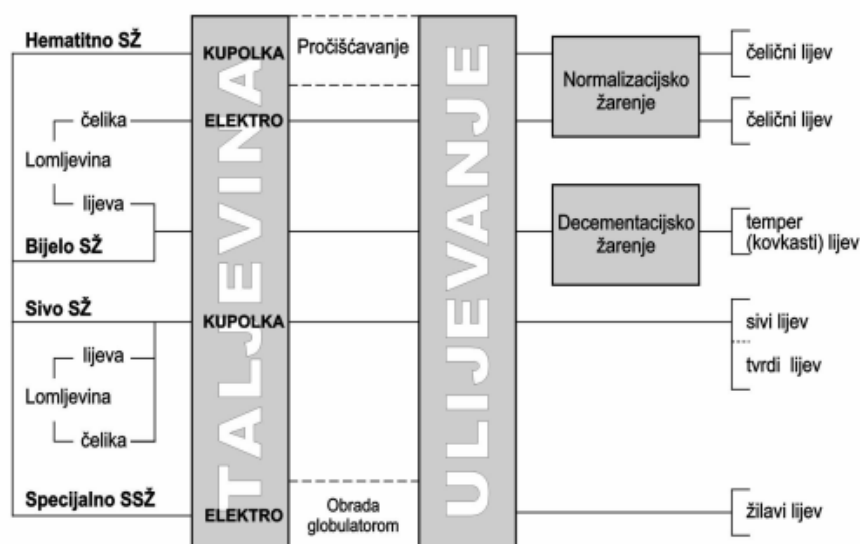
U željezne ljeve se ubrajaju: čelični lijev (ČL), bijeli tvrdi lijev (BTL), sivi lijev (SL), nodularni (žilavi) lijev (NL), temper (kovkasti) lijev.

Ostali načini podjele željeznih ljevova su s obzirom na mehanička svojstva, kemijski sastav, tehnološki postupak dobivanja (slika 1-1) te dobivenu mikrostrukturu.

S obzirom na mehanička svojstva željezne ljeve dijelimo u dvije skupine:

1. Dobra istežljivost i žilavost – čelični, temper i nodularni lijev, te
2. Krhki ljevovi – sivi i bijeli tvrdi lijev.

Kod podjele prema kemijskom sastavu gleda se udio ugljika. Ljeve dijelimo na skupinu s masenim udjelom ugljika do 0,5% C i na skupinu koja ima maseni udio ugljika između 2,2 i 4,5% C. U prvu skupinu ubrajamo čelični lijev, dok u drugu skupinu ubrajamo temper, bijeli tvrdi, sivi i nodularni lijev.



Slika 1-1 Postupci dobivanja željeznih ljevova [2]

Mikrostruktura ljevova ovisi o vrsti kristalizacije. Sastav taljevine i uvjeti hlađenja u kalupu određuju stanje mikrostrukture te tako razlikujemo tri stanja:

1. Metastabilno stanje – ugljik je vezan u cementitu ili karbidu,
2. Mješovito stanje – ugljik u grafitu i cementitu,
3. Stabilno – ugljik samo u obliku grafita.

Postoje tri osnovna oblika grafita, a to su:

1. Listićav ili lamelaran – pojavljuje se kod sivog lijeva,
2. Kuglast – pojavljuje se kod žilavog lijeva,
3. Čvorast – pojavljuje se kod temper lijeva.

U nastavku rada opisan će se željezni ljevovi namijenjeni primjeni u brodogradnji, te proizvodnja sidara, sidrenih lanaca i dodataka sukladno Pravilima za klasifikaciju brodova Hrvatskog registra brodova.



## **2. Čelični ljevovi za trup i strojarnicu broda**

### **2.1 Područje primjene**

Čelični ljev se primjenjuje za odljevke najvećih dimenzija i mase, kada je potrebno postignuće visoke granice razvlačenja i dovoljne istezljivosti. [1]

U brodogradnji se čelični ljevovi koriste prilikom izrade dijelova trupa i strojarnice broda. Izrađuju se dijelovi poput okvira krme, okvira kormila, koljenastih vratila, lijevanih dijelova turbine i podložnih ploča.

Način proizvodnje čeličnih ljevova određen je Pravilima za klasifikaciju brodova Hrvatskog registra brodova.

### **2.2 Proizvodnja i kvaliteta**

#### **2.2.1 Proizvodnja**

Lijevanje i proizvodnja čelika mora se vršiti kod proizvođača kojeg je odobrio Hrvatski registar brodova. Svako plameno rezanje ili korištenje elektroda kako bi se uklonio višak materijala mora biti provedeno u skladu s odgovarajućom tehnikom rada i treba se provesti prije završne toplinske obrade.

Predgrijavanje se koristi kada je to potrebno zbog kemijskog sastava ili debljine odljevka. U slučaju predgrijavanja, površina koja se predgrijava mora biti obrađena ili glatko brušena.

Za određene dijelove, uključujući čelične odljevke koji su podvrgnuti postupku površinskog kaljenja, moguće je da predložena metoda treba posebno odobrenje Hrvatskog registra brodova.

Kada se dva ili više odljevka spajaju zavarivanjem kako bi se stvorio kompozitna, predloženi postupak zavarivanja treba prethodno odobriti od strane Hrvatskog registra brodova. Kvalifikacijski testovi za postupak zavarivanja može biti zatražen od strane Registra.

#### **2.2.2 Kvaliteta**

Odljevci ne smiju imati površinske ili unutarnje nedostatke koji bi štetili njihovoj pravilnoj primjeni u radu. Obrada površine mora biti u skladu buduće primjene odljevka.

### 2.3 Kemijski sastav

Čelični ljev je metastabilno kristalizirana legura koja sadrži 0,2% C, a kod nelegiranih vrsta može sadržavati i do 0,5% C.

Pravilnik zahtijeva da svi dijelovi od čeličnog lijeva budu napravljeni od umirenog (dezoksidiranog) čelika. Dezoksidacijom se smanjuje sadržaj kisika na željenu količinu. Umireni čelik nastaje kad se tekući čelik polagano hladi i prelazi u kruto stanje bez razvijanja plinova u materijalu. Takvo svojstvo čelika omogućuje se dodavanjem dezoksidacijskih sredstava kao što su silicij i aluminij. Koristeći silicij dobiva se umireni čelik, dok se koristeći aluminij dobiva dvostruko umireni čelik. Dodavanjem dezoksidacijskih sredstava smanjuje se mogućnost formiranja plinova u čeliku oko kojih se mogu koncentrirati nečistoće. [5]

Kemijski sastav svakog odljevka provjerava se na način da se uzima uzorak taljevine prilikom lijevanja te se vrše ispitivanja koja odrađuje proizvođač iste.

Za ugljične čelične ljevove i ugljične ljevove s dodatkom mangana kemijski sastav je zadan tablicom 2-1.

**Tablica 2-1 Kemijski sastav čeličnog lijeva za izradu trupa i strojarnice (%) [3]**

Tip čelika	Primjena	C (max)	Si (max)	Mn	S (max)	P (max)	Ostali elementi (max)				Ukupno uključaka (max)
							Cu	Cr	Ni	Mo	
C, C-Mn	Ljevovi za nezavarene konstrukcije	0,40	0,60	0,50 - 1,60	0,040	0,040	0,30	0,30	0,40	0,15	0,80
	Ljevovi za zavarene konstrukcije	0,23	0,60	1,60 max	0,040	0,040	0,30	0,30	0,40	0,15	0,80

## 2.4 Toplinska obrada

Za odljevke koji će biti mehanički opterećeni osnovni je postupak normalizacija (zagrijavanje do temperature austenitizacije te naknadno hlađenje na mirnom zraku). Postupak normalizacije provodi se radi uklanjanja gruboigličaste Widmannstättenove mikrostrukture i postizanja feritno-perlitnog zrna.



Slika 2-1 Widmannstättenova mikrostruktura čeličnog lijeva (povećanje 500:1) [1]

Pravilnik zahtijeva da svi odljevci moraju biti u jednom od sljedećih stanja:

- Potpuno žarenom,
- Normaliziranom,
- Normaliziranom i popuštenom,
- Poboljšanom.

Pravilnikom se posebno naglašava da temperatura popuštanja ne smije biti ispod 550 °C.

Određeni dijelovi broda koji se rade od čeličnog lijeva, poput koljenastih vratila i podložnih ploča motora, kod kojih je bitna dimenzijska postojanost i što manje zaostalih naprezanja, moraju se nakon toplinske obrade podvrgnuti žarenju za redukciju zaostalih naprezanja. Žarenje se obavlja na način da se dijelovi ugriju na temperaturu iznad 550 °C nakon čega se hlade u peći do temperature niže od 300 °C.

Toplinska obrada se mora odvijati u pećima o kojima se adekvatno brine, što znači da su održavane i ispravne. Dimenzije peći moraju biti takve da cijeli odljevak stane unutra.

Ukoliko je lijev ponovo zagrijavan, potrebno je ponovo provesti postupak žarenja za redukciju zaostalih naprezanja kako bi se ta naprezanja uklonila.

Ljevaonica treba sačuvati podatke o toplinskoj obradi, peći, datumu obrade, temperaturi i vremenu držanja na toj temperaturi.

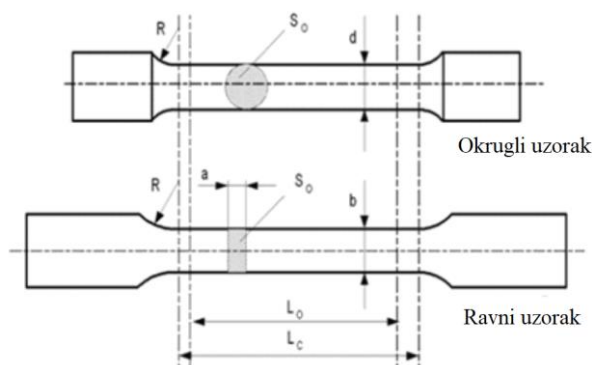
## 2.5 Mehanička svojstva i mehanička ispitivanja

Minimalna postignuta mehanička svojstva poput granice razvlačenja, istežanja i kontrakcije površine određene su Pravilnikom te su prikazane u tablici 2-2.

Za provedbu mehaničkih ispitivanja od svakog odljevka potrebno je napraviti barem jednu ispitnu epruvetu na kojoj se može provesti ispitivanje. Epruvete moraju imati promjer od minimalno 30 mm kako bi se strojnom obradom mogle dovesti na dimenzije potrebne za svako ispitivanje.

Oblici epruveta prikazani su na slici 2-2, a za epruvete kružnog poprečnog presjeka Pravilnikom je određeno:

- Promjer ( $d$ ) mora biti između 10 i 20 mm, preporuča se 14 mm,
- $L_c = 5d$
- $L_c > L_0 + d/2$
- $R = 10$  mm



Slika 2-2 Dimenzije ispitne epruvete [3]

U slučaju odljevaka koji imaju više od 10 tona ili su odljevci složenog oblika, proizvođač mora pripremiti minimalno dvije ispitne epruvete. U slučaju da je dio velikih dimenzija napravljen pomoću dva kalupa u kojima taljevina nije bila miješana prije lijevanja, potrebne su minimalno dvije epruvete iz svakog kalupa. Te epruvete moraju biti uzete sa što udaljenijeg mjesta. Ispitne epruvete uzimaju se tek nakon specificirane toplinske obrade.

Uređaj za ispitivanje vlačnih i tlačnih mehaničkih svojstava mora biti kalibriran prema normi HRN EN ISO 7500-1: „Metalni materijali -- Umjeravanje i provjeravanje statičkih jednoosnih ispitnih uređaja -- 1. dio: Ispitni uređaji za zatezanje/kompresiju -- Umjeravanje i provjeravanje sustava za mjerenje sile“ [9] ili prema nekom drugom priznatom standardu.

**Tablica 2-2 Mehanička svojstva čeličnog lijeva za trup i strojarnicu broda [3]**

Minimalna vlačna čvrstoća <sup>1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	Granica razvlačenja (N/mm <sup>2</sup> ) min	Produljenje za epruvetu duljine $5,65\sqrt{S_0}$ (%) min	Kontrakcija površine (%) min
400	200	25	40
440	220	22	30
480	240	20	27
520	260	18	25
560	300	15	20
600	320	13	20

<sup>1</sup> Vlačna čvrstoća za 150 N/mm<sup>2</sup> može biti ispitana

## 2.6 Pregled

Svi odljevci moraju se očistiti i biti adekvatno pripremljeni za ispitivanje. Prikladne metode pripreme površine uključuju nagrizanje, kaustično čišćenje, četkanje žicom te brušenje sačmom ili pijeskom. Površine ne smiju biti tretirane na bilo koji način kojim se mogu prekriti mogući nedostaci.

Prije prihvaćanja svi odljevci moraju biti prezentirani stručnom osoblju na vizualnu provjeru. Tamo gdje je primjenjivo, to uključuje i pregled unutarnjih površina. Ako nije drugačije dogovoreno, provjera dimenzija je odgovornost proizvođača.

Kada to zahtijevaju odgovarajuća pravila konstruiranja, ili prema odobrenom postupku za zavarivanje kompozitnih komponenata, potrebno je provesti i odgovarajuća nerazorna ispitivanja prije prihvaćanja. Proizvođača treba obavijestiti o rezultatima tih ispitivanja. Opseg ispitivanja i kriteriji prihvaćanja trebaju se usuglasiti s Registrom. Preporuka IACS-a br. 69 [13] smatra se primjerom prihvatljivog standarda.

Kada to zahtijevaju odgovarajuća pravila konstruiranja, odljevci moraju biti podvrgnuti i tlačnom ispitivanju prije konačnog prihvaćanja. Ova ispitivanja potrebno je provesti u prisutnosti službenih osoba.

U slučaju da se bilo koji odljevak pokaže neispravnim tijekom naknadne obrade ili ispitivanja, treba ga odbiti bez obzira na bilo koju prethodnu potvrdu.

## **2.7 Popravak neispravnih ljevova**

Odobrenje Registra trebaju dobiti čelični ljevovi s kojih su uklonjeni nedostaci pomoću reparaturnog zavarivanja ili nekim drugim postupkom. Postupak uklanjanja nedostataka i popravak zavarivanja treba biti u skladu s IACS-ovom preporukom broj 69 [13]. Kod odljevaka koji će se popravljati zavarivanjem, mjesto popravljanja treba biti odgovarajućeg oblika kako bi se omogućio dobar pristup zavarivanju. Dobiveni zavar potrebno je naknadno glatko izbrusiti i dio treba ponovo provjeriti jednom od nerazornih metoda ispitivanja. Plitke brazde ili udubljenja koja nastaju uklanjanjem nedostataka mogu se prihvatiti pod uvjetom da ne utječu na čvrstoću odljevka. Rezultirajuće žljebove i udubljenja treba naknadno izbrusiti i nerazornim metodama ispitivanja provjeriti ima li još neispravnog materijala. Ukoliko postoje male neravnine na površini oko zavara, njih također treba popraviti zavarivanjem.

Proizvođač mora voditi potpunu evidenciju o opsegu i mjestu popravka na svakom odljevku i detaljni postupak zavarivanja i toplinske obrade koja je primijenjena prilikom popravka neispravnih ljevova.

### **2.7.1 Popravak zavarivanjem**

Ukoliko je dogovoreno da se popravak odljevka može izvršiti zavarivanjem tada vrijede sljedeći zahtjevi:

- a) Prije početka popravka sve pojedinosti o opsegu popravka i mjestu popravka, predloženi postupak zavarivanja, predloženi postupak toplinske obrade i naknadni postupci provjere popravka moraju biti odobreni od strane Hrvatskog registra brodova.
- b) Svi odljevci od legiranog čelika i svi odljevci koji će se koristiti za vratila moraju biti predgrijani prije zavarivanja. Odljevci od ugljičnog ili C-Mn čelika se također prije zavarivanja moraju zagrijati ovisno o njihovom kemijskom sastavu, dimenziji i položaju popravka.

- c) Zavarivanje se vrši u zaklonu na mjestu bez propuha i nepovoljnih vremenski uvjeta. Zavarivanje vrši kvalificirani zavarivač uz adekvatan nadzor. Koliko god je to moguće, svo zavarivanje treba izvesti u donjem (ravnom) položaju.
- d) Potrošni materijal za zavarivanje treba biti odgovarajućeg sastava, sa sličnim, ali nikako slabijim mehaničkim svojstvima od samog lijeva. Ispitivanje zavara vrši proizvođač kako bi dokazao da zavar zadovoljava zahtijevana mehanička svojstva.
- e) Nakon završetka postupka zavarivanja odljevci moraju biti odgovarajuće toplinski obrađeni ili žareni za redukciju zaostalih naprezanja na temperaturi koja ne smije biti niža od 550 °C. Vrsta toplinske obrade ovisi o kemijskom sastavu odljevka, dimenzijama, poziciji i prirodi popravka.
- f) Može se obratiti posebna pažnja na izostavljanje toplinske obrade nakon zavarivanja ili na prihvaćanje lokalne toplinske obrade za uklanjanje naprezanja na malim popravljenim područjima kada je obrada odljevka u naprednom stadiju.
- g) Po završetku toplinske obrade zavari i susjedni materijal trebaju biti glatki i ispitani uz pomoć magnetskih čestica ili tekućeg penetranta. Možda će biti potreban i dodatni pregled ultrazvukom ili radiografijom ovisno o dimenzijama i prirodi izvornog nedostatka. Zadovoljavajući rezultati moraju se dobiti pomoću svih primijenjenih vrsta nerazornih ispitivanja.

## 2.8 Označavanje ljevova

Proizvođač treba usvojiti sustav identifikacije koji će omogućiti praćenje svih gotovih odljevaka. Prije nego što se odljevak prihvati, svi odljevci koji su prošli ispitivanja i pregledani su sa zadovoljavajućim rezultatima moraju bit jasno označeni od strane proizvođača. Pod oznake spada sljedeće navedeno:

- Kvaliteta čelika,
- Identifikacijski broj, broj odljevka ili neka druga oznaka koja će omogućiti praćenje povijesti lijevanja,
- Ime ili zaštitni znak proizvođača,
- Ime Registra, inicijali ili simbol,
- Skraćeni naziv mjesnog Registra,
- Osobni pečat nadležne osobe koja je provjeravala odljevak,
- Ispitni tlak, tamo gdje je primjenjivo.

### 3. Čelični ljevovi za propelere

Ovi se zahtjevi odnose na proizvodnju propelera, lopatica i glava od lijevanog čelika. Tamo gdje se predlaže upotreba alternativnih legura, pojedinačni kemijski sastav, mehanička svojstva i toplinsku obradu treba podnijeti Registru na odobrenje. Ovi zahtjevi se također mogu koristiti i za popravak propelera oštećenih prilikom korištenja, što je podložno prethodnom sporazumu s Registrom.

Svi propeleri, lopatice i ležajevi trebaju biti proizvedeni u ljevaonicama koje su odobrene od strane Hrvatskog registra brodova.

Svi odljevci moraju biti stručno napravljeni te ne smiju imati oštećenja koja bi mogla narušavati radne performanse.



Slika 3-1 Propeler napravljen od čeličnog lijeva [7]



### 3.1 Kemijski sastav

Tipične legure čeličnog lijeva za propelere grupirane su u četiri vrste ovisno o njihovom kemijskom sastavu kao što je prikazano u tablici 3-1.

**Tablica 3-1 Kemijski sastav legura za propeler [3]**

Tip legure	C max. [%]	Mn max. [%]	Cr [%]	Mo <sup>1)</sup> max. [%]	Ni [%]
Martenzit (12Cr1Ni)	0,15	2,0	11,5 – 17,0	0,5	Max. 2,0
Martenzit (13Cr4Ni)	0,06	2,0	11,5 – 17,0	1,0	3,5 – 5,0
Martenzit (16Cr5Ni)	0,06	2,0	15,0 – 17,5	1,5	3,5 – 6,0
Austenit (19Cr11Ni)	0,12	1,6	16,0 – 21,0	4,0	8,0 – 13,0
1) Minimalne vrijednosti moraju biti u skladu s nacionalnim ili internacionalnim standardima.					

### 3.2 Toplinska obrada

Martenzitni ljevovi moraju biti austenitizirani i popušteni. Austenitni odljevci bi trebali biti rastvorno žareni.

### 3.3 Mehanička svojstva

Mehanička svojstva moraju zadovoljavati zahtjevima prikazanim u tablici 3-2. Ove se vrijednosti odnose na ispitivanje uzoraka izrađenih od integralno lijevanih ispitnih šipki pričvršćenih na čvorište ili na lopatice. Tamo gdje je to moguće, ispitne šipke pričvršćene na lopaticama moraju biti smještene u području između 0,5 do 0,6 $R_p$ , gdje  $R_p$  predstavlja polumjer propelera. Ispitne šipke se ne smiju odvojiti od lijeva sve dok nije obavljena posljednja toplinska obrada. Uklanjanje mora biti postupkom koji ne zagrijava materijal.

Odvojeno lijevane ispitne šipke mogu se koristiti ako su prethodno odobrene od strane Hrvatskog registra brodova. Ispitne šipke moraju biti lijevane iz iste taline te moraju biti zajedno toplinski obrađene kao i propeler.

**Tablica 3-2 Mehanička svojstva čeličnog lijeva za propelere [3]**

Vrsta legure	Konvencionalna granica razvlačenja $R_{p0,2}$ min. [N/mm <sup>2</sup> ]	Vlačna čvrstoća $R_m$ min. [N/mm <sup>2</sup> ]	Produljenje $A_5$ min. [%]	Kontrakcija površine $Z$ min. [%]	Udarni rad loma <sup>1)</sup> KV, min. [J]
Martenzit (12Cr1Ni)	440	590	15	30	20
Martenzit (13Cr4Ni)	550	750	15	35	30
Martenzit (16Cr5Ni)	540	760	15	35	30
Austenit (19Cr11Ni)	180 <sup>2)</sup>	440	30	40	-
1) Ispitivanje nije potrebno provoditi za općenitu upotrebu i niže klase leda. Za druge klase leda, ispitivanje se treba provoditi na -10°C					
2) $R_{p1,0}$ vrijednost iznosi 205 N/mm <sup>2</sup>					

### 3.4 Vizualni pregled

Svi gotovi odljevci moraju biti u potpunosti pregledani od strane stručnih osoba. Osoblje Hrvatskog registra brodova može tražiti da se određena područja nagrizu kako bi se ispitao popravak zavarivanjem.

Odljevci ne smiju imati pukotine, vruće suze ili druge nesavršenosti koje će zbog svoje prirode, stupnja ili opsega ometati upotrebu odljevka.

Za dimenzije je odgovoran proizvođač i izvještaj o dimenzijskom pregledu mora biti dostavljen Hrvatskom registru brodova koji može zahtijevati da se provjere provedu u njihovoj prisutnosti.

Statičko uravnoteženje treba provesti na svim propelerima u skladu s odobrenim nacrtom. Dinamično uravnoteženje može biti zatraženo za propelere koji rade brže od 500 okretaja po minuti.

### 3.5 Nerazorna ispitivanja

Svi gotovi odljevci podvrgavaju se nerazornom ispitivanju. Kako bi se povezoao stupanj nerazornog ispitivanja s kritičnosti nesavršenosti, lopatice propelera su podijeljene u tri zone ozbiljnosti: A, B i C. Nadalje, napravljena je razlika između propelera malog i velikog nagiba. Za sve propelere, odvojeno odlivene lopatice i čvorišta, površine prekrivene zonama ozbiljnosti A, B i C moraju biti ispitane tekućim penetrantom. Tijekom ispitivanja zone A nadležna osoba mora biti u prisutnosti, dok tijekom ispitivanja drugih zona nadležna osoba ne mora, ali može prisustvovati na vlastiti zahtjev.

Ako su popravci vršeni brušenjem ili zavarivanjem, popravljena područja se dodatno ispituju prodiranjem tekućine; neovisno o njihovom položaju ili zoni ozbiljnosti. Popravci zavarivanjem se uvijek, bez obzira na lokaciju, procjenjuju kao zona A.

Primjenjuju se sljedeće definicije relevantne za prodiranje tekućine:

- a) Indikacija – prisutnost uočljivog prodiranja tekućine koja prodire iz diskontinuiteta materijala koji se pojavljuje najmanje 10 minuta nakon što je sredstvo nanešeno,
- b) Linearna indikacija – indikacija kojoj je duljina najmanje tri puta veća od širine,
- c) Nelinearna indikacija – indikacija kružnog ili eliptičnog oblika s duljinom manjom od trostruke širine,
- d) Centrirana indikacija – tri ili više indikacija u liniji udaljenih 2 mm ili manje,
- e) Otvorena indikacija – indikacija koja se može otkriti upotrebom sredstva kontrastne boje,

- f) Zatvorena indikacija – indikacija koja se ne može otkriti koristeći sredstvo kontrastne boje,
- g) Relevantna indikacija – indikacija koja je uzrokovana stanjem ili vrstom diskontinuiteta koji zahtjeva ocjenjivanje. Samo indikacije koje imaju dimenziju veću od 1,5 mm se smatraju relevantnima.

U svrhu procjene indikacija, površinu treba podijeliti na referentna područja od 100 cm<sup>2</sup> koja mogu biti kvadrati ili pravokutnici ali glavna dimenzija im ne smije prelaziti 250 mm. Područje mora biti najnepovoljnije mjesto s obzirom na indikaciju.

Otkrivene indikacije ne smiju prekoračiti vrijednosti zadane u tablici 3-3.

Gdje postoji ozbiljna sumnja da odljevci imaju unutarnja oštećenja, daljnja nerazorna ispitivanja moraju se provesti na zahtjev ovlaštene osobe.

Ljevaonica mora voditi evidenciju pregleda svakog odljevka. Te podatke mora provjeriti ovlaštena osoba Hrvatskog registra brodova. Ljevaonica također mora osigurati izjavu da su nerazorna ispitivanja provedena sa zadovoljavajućim rezultatima.

**Tablica 3-3 Dozvoljeni broj i veličina indikacija s obzirom na zone ozbiljnosti [3]**

Zona ozbiljnosti	Max. broj indikacija	Tip indikacije	Max. broj svakog tipa <sup>1) 2)</sup>	Max. dimenzija indikacije [mm]
A	7	Nelinearan	5	4
		Linearan	2	3
		Centriran	2	3
B	14	Nelinearan	10	6
		Linearan	4	6
		Centriran	4	6
C	20	Nelinearan	14	8
		Linearan	6	6
		Centriran	6	6
1) Nelinearne indikacije manje od 2 mm u Zoni A ili manje od 3 mm u drugim zonama mogu biti zanemarene.				
2) Ukupan broj nelinearnih indikacija može biti povećan do maksimalnog ukupnog broja u slučaju ne imanja linearnih ili centriranih indikacija.				

### 3.6 Popravci

Općenito popravke treba izvoditi koristeći mehaničke postupke poput brušenja i glodanja. Dobivene brazde treba uklopiti u okolnu površinu kako bi se izbjegle oštre konture. Potpuno uklanjanje oštećenog materijala mora se provjeriti provođenjem ispitivanja penetracije boje.

Popravci zavarivanjem moraju se poduzeti samo kada se smatraju potrebnim i imaju prethodno odobrenje nadležne osobe. Svi popravci zavarivanjem moraju biti dokumentirani pomoću skica i fotografija na kojima su prikazane lokacije popravaka te glavne dimenzije brazdi koje su spremne za zavarivanje. Površina se mora dobro pripremiti kako bi se omogućio kvalitetan pristup zavarivanju. Brazde koje će nastati nakon popravljivanja zavarivanjem moraju biti izbrušene te se višak materijala mora u potpunosti ukloniti. Nakon toga vrši se ispitivanje tekućim penetrantom. Zavare čija je površina manja od 5 cm<sup>2</sup> treba izbjegavati.

Brušenje u zoni A može se izvesti samo do one mjere koja održava debljinu lopatice. Popravljivanje zavarivanjem uglavnom nije dozvoljeno u toj zoni te može biti dopušteno tek nakon posebnog razmatranja Registra.

Oštećenja u zoni B koja nisu dublja od  $t/40$  mm ( $t$  predstavlja najmanju lokalnu debljinu) ili 2 mm, ovisno o tome što je veće, uklanjaju se brušenjem. Ona dublja oštećenja mogu se popraviti zavarivanjem uz prethodno odobrenje Registra.

Popravljivanje zavarivanjem je općenito dopušteno u zoni C.

### 3.7 Popravci zavarivanjem

Prije nego što se krene sa zavarivanjem, detaljna procedura popravka se mora dostaviti Hrvatskom registru brodova. Procedura se sastoji od specifikacije položaja zavarivanja, parametara zavarivanja, potrošnog materijala zavarivanja, predgrijavanja, naknadne toplinske obrade i ispitivanja.

Sve popravke zavarivanjem mora izvoditi stručno osoblje koje koristi kvalificirane postupke. Zavarivanje se vrši u kontroliranim uvjetima bez vjetra i nepovoljnih vremenskih prilika.

Postupak zavarivanja koji se koristi je elektrolučno zavarivanje elektrodama ili zavarivanje pod praškom. Potrošni materijal za zavarivanje potrebno je skladištiti i rukovati njime u skladu s preporukama proizvođača.

Troska, podrezi i druge nesavršenosti moraju se ukloniti prije daljnjeg obrađivanja.



**Slika 3-2 Elektrolučno zavarivanje elektrodom [6]**

Martenzitni čelici trebaju se ponovno zagrijati nakon popravka zavarivanjem. Međutim, uz prethodno odobrenje, za manje popravke može se razmotriti i lokalno žarenje za redukciju zaostalih naprezanja.

Nakon završetka toplinske obrade, zavar i obližnji materijal moraju se izbrusiti. Svi popravci zavarivanjem moraju se ispitati penetracijom boje.

Ljevaonica mora voditi evidenciju zavarivanja, naknadne toplinske obrade i pregleda svakog popravljenog odljevka.

### **3.8 Označavanje**

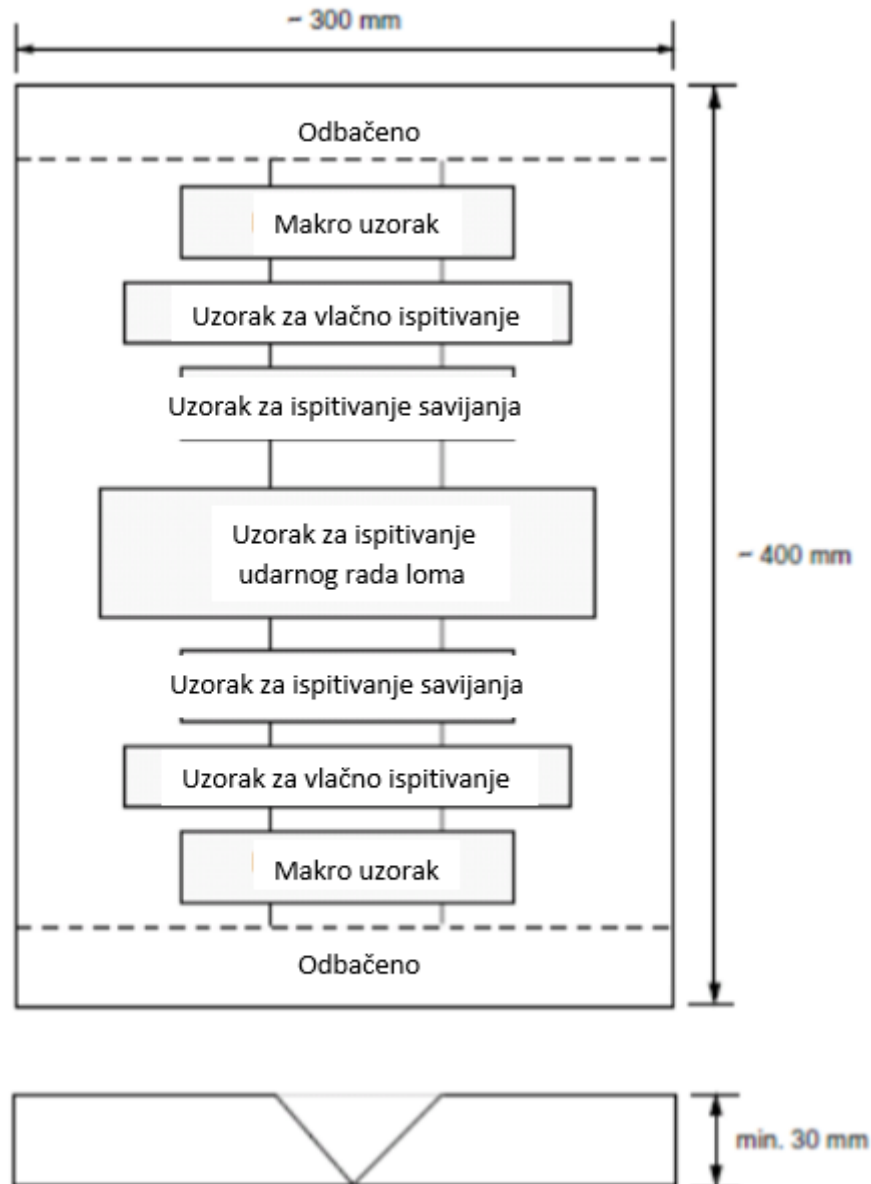
Prije konačnog pregleda od strane nadležne osobe, svaki proizvođač mora prikladno identificirati lijev sa sljedećim oznakama:

- Broj šarže ili neka druga oznaka koja će omogućiti praćenje povijesti odljevka,
- Broj potvrde Registra,
- Simbol klase leda, ako je primjenjivo,
- Kut nagiba za propelere s velikim nagibom,
- Datum konačnog pregleda.

Pečat Registra se stavlja kada je odljevak prihvaćen.

### 3.9 Provjera kvalificiranosti postupka zavarivanja

Ispitni uzorak za ispitivanje mora biti debljine najmanje 30 mm. Uzorci koje treba pripremiti prikazani su na slici 3-3.



Slika 3-3 Ispitni uzorci za provjeru kvalificiranosti postupka zavarivanja [3]

### 3.9.1 Nerazorna ispitivanja

Prije dijeljenja uzorka, ispitni sklop treba biti vizualno pregledan te ispitan prodiranjem tekućine.

### 3.9.2 Makro ispitivanje

Potrebno je izraditi dva makro uzorka i moraju se nagristi na jednoj strani tako da se jasno otkriju materijal zavara, linija spajanja i zona utjecaja topline. Uzorci moraju biti vizualno pregledani (potpomognuti ručnim povećalom ako je potrebno) za sve nedostatke prisutne u metalu zavara i zoni utjecaja topline. Pukotine ili oštećenja nalik pukotinama, inkluzije troske i pore veće od 3 mm nisu dopuštene.

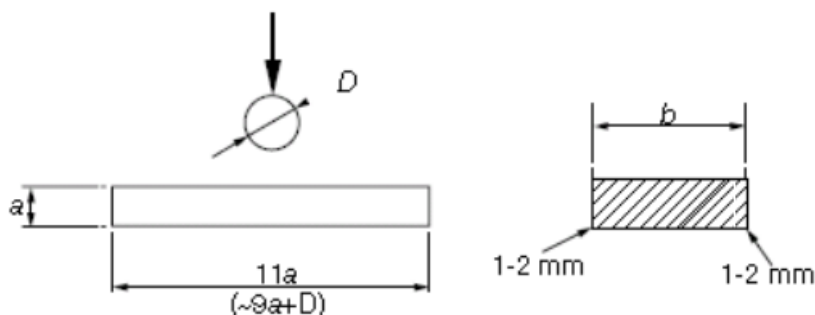
### 3.9.3 Statičko vlačno ispitivanje

Dva ravna poprečna ispitna uzorka se moraju pripremiti za statičko vlačno ispitivanje. Vlačna čvrstoća mora odgovarati navedenim minimalnim vrijednostima osnovnog materijala. Mjesto loma se mora prijaviti bio to osnovni materijal, zona utjecaja topline ili dodatni materijal.

### 3.9.4 Ispitivanje savijanja

Dva uzorka za bočno savijanje se moraju pripremiti kao što je prikazano na slici 3-4. Za lijevane dijelove zadane su vrijednosti:

- $a = 20$  mm,
- $b = 25$  mm.



Slika 3-4 Uzorak za ispitivanje savijanja [3]



Promjer  $D$  mora biti četiri puta veći od debljine uzorka osim ako ispitni uzorak nije od austenitnog čelika; tada mora biti tri puta veći. Ispitni uzorak nakon ispitivanja savijanja ne smije imati površinska oštećenja veća od 2 mm.

### **3.9.5 Ispitivanje udarnog rada loma**

Ispitivanje udarnog rada loma se ne mora vršiti ukoliko se osnovni materijal ne ispituje. Uzorci moraju biti dimenzija kao što je označeno u tablici 4-3. Ukoliko se ispituje udarni rad loma, potrebno je uzeti dva ispitna uzorka. Kod prvog ispitnog uzorka zarez je smješten u sredini zavara, a kod drugog ispitnog uzorka zarez je smješten u liniji spajanja. Ispitna temperatura i energija udara moraju zadovoljavati zahtjevima navedenim za osnovni materijal.

### **3.9.6 Ispitivanje tvrdoće**

Jedan od makro uzoraka koristi se za ispitivanje tvrdoće  $HV5$ . Udubljenja ne smiju prelaziti 2 mm. Potrebno je napraviti najmanje 3 mjerenja u metalu zavara, zoni utjecaja topline (s obje strane) te u osnovnom materijalu (obje strane).

## 4. Željezni ljevovi

### 4.1 Područje primjene

Željezni ljevovi koji se najviše primjenjuju u brodogradnji su sivi ljev i nodularni (žilavi) ljev. Sivi ljev ima raširenu primjenu, koristi se za odljevke svih dimenzija poput postolja strojeva, kućišta motora itd. Jedna od velikih prednosti korištenja sivog lijeva je jednostavna i jeftinija proizvodnja nego kod drugih vrsta ljevova. Nodularni (žilavi) ljev se koristi kao zamjena za čelični ljev prilikom izrade odljevaka srednjih i većih dimenzija; tipični primjer je kod koljenastih ili bregastih osovina motora, zupčanika itd.

### 4.2 Sivi ljev

Sivi ljev se dobiva pretaljivanjem sivog sirovog željeza i stare lomljevine čelika te se lijeva u kupoli. Veliki udio ugljika se izdvaja u obliku listića (lamela) grafita, a ostatak u obliku cementita tako da je presjek sive boje. [1]

#### 4.2.1 Kemijski sastav

Sivi ljev je Fe-legura s više od 2% ugljika koja mješovito kristalizira. Mješovita kristalizacija znači da u primarnoj i prvom dijelu sekundarne kristalizacije stabilno, a u drugom dijelu sekundarne kristalizacije metastabilno kristalizira. [1]

Kemijski sastav prikazan u tablici 3-1 nije propisan normama, no on tako najčešće iznosi.

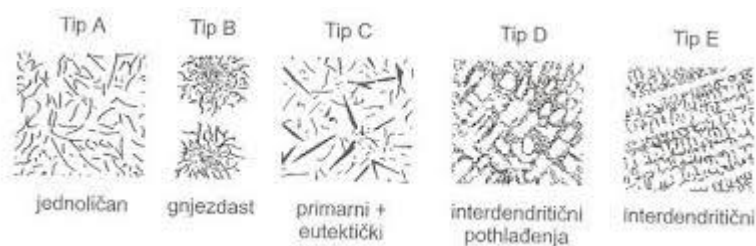
**Tablica 4-1 Uobičajeni kemijski sastav sivog lijeva (%) [1]**

C	Mn	Si	P	S
2,5 - 4,5	0,3 - 1,2	1 - 4	0,4 - 1,5	< 0,1

Sivi ljev ovakvog statusa nije legiran, već se silicij, mangan, fosfor i sumpor smatraju primjesama. Svaka primjesa ima svoju ulogu. Silicij je jak grafitizator koji omogućava stvaranje grafita unatoč tome što hlađenje nije sporo. Mangan je jak cementator i koristan je jer stvara neškodljiv mangan(II)sulfid (MnS), a ne štetni željezo(II)sulfid (FeS). Fosfor poboljšava livljivost, dok je sumpor štetna primjesa koja dolazi nužno iz koksa i sirovine.[1]

#### 4.2.2 Mikrostruktura

Kao što je već rečeno, sivi lijev kristalizira i stabilno i metastabilno što znači da je on mikrostrukturno divarijanatan. Njegova dvojna mikrostruktura sastoji se od nakupine listića grafita (primarna mikrostruktura) i željezne osnove koja je feritna, perlitna ili feritno – perlitna, a uz to se može pojaviti i slobodni cementit. [1]



Slika 4-1 Tipovi listića grafita prema ASTM normi [1]

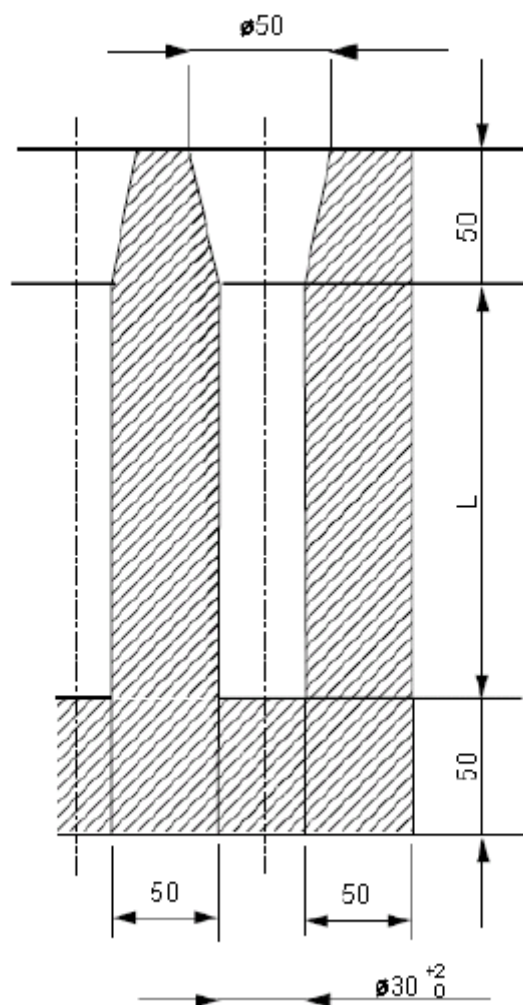
#### 4.2.3 Toplinska obrada

Osnovni postupci toplinske obrade sivog lijeva su žarenje za redukciju zaostalih naprezanja (350 – 650 °C), meko žarenje (650 – 825 °C), normalizacija (800 – 950 °C) i poboljšavanje (800 – 900 °C/ ulje/ popuštanje pri 200 – 600 °C). [1]

Pravilnik zahtjeva da se u slučaju da je odljevak velikih dimenzija ili će se koristiti u visoko temperaturnom okruženju, mora biti kaljen ili žaren za redukciju zaostalih naprezanja.

#### 4.2.4 Mehanička ispitivanja

Ispitne epruvete moraju biti napravljene od iste taline kao i odljevci koji će se koristiti prilikom izrade broda. U slučaju da je epruveta odvojeno lijevana ona mora biti u obliku šipke minimalnog promjera 30 mm. Mora biti lijevana u istom kalupu i ne smije se izvaditi iz kalupa dok temperatura metala nije ispod 500 °C. U slučaju da se više ispitnih uzoraka lijeva u istom kalupu, uzorci moraju biti odvojeni minimalno 50 mm. Za sva ispitivanja mehaničkih vlačnih svojstva uređaji za ispitivanje moraju biti umjereni po normi HRN EN ISO 7500-1: „Metalni materijali -- Umjeravanje i provjeravanje statičkih jednoosnih ispitnih uređaja -- 1. dio: Ispitni uređaji za zatezanje/kompresiju -- Umjeravanje i provjeravanje sustava za mjerenje sile “[9].



Dimenzije su zadane u milimetrima

**Slika 4-2 Ispitne epruvete za ispitivanje mehaničkih svojstava sivog lijeva [3]**

Ispitne epruvete koje su izliveno iz cjeline mogu se koristiti kada je odljevak deblji od 20 mm i njegova masa prelazi 200 kg. Vrsta i mjesto uzimanja uzoraka treba se pomno odabrati kako bi se osigurali približno jednaki uvjeti hlađenja. Minimalno se jedan uzorak mora uzeti iz svake serije lijevanja. Pod seriju se podrazumijeva da se serija sastoji od odljevaka iz jedne metalne kutlače, pod uvjetima da su slične vrste i dimenzije. Serija ne smije prelaziti dvije tone odljevaka, a jedan odljevak će činiti seriju ako je njegova masa veća od dvije tone.

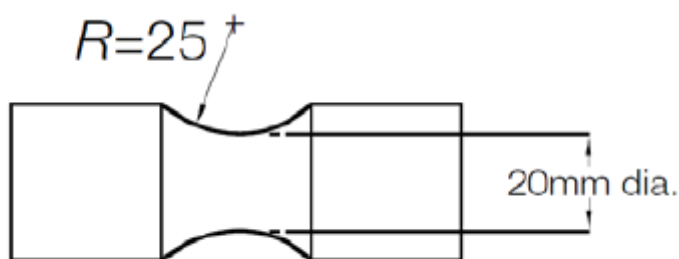
Za kontinuirano taljenje istog razreda ljevanog željeza u velikim količinama, masa serije se može povećati na proizvodni učinak u vrijednosti od 2 sata lijevanja.

Ako se jedan razred ljevanog željeza tali u velikim količinama i ako se proizvodnja pažljivo prati sustavnim proveravanjem postupka taljenja, poput ispitivanja hladnoće, kemijskom ili toplinskom analizom, ispitni uzorci mogu biti uzeti u dužim intervalima.

Svi uzorci moraju biti odgovarajuće označeni te ih se mora moći poistovjetiti s odljevcima koje predstavljaju.

Tamo gdje se odljevci isporučuju u toplinski obrađenom stanju, ispitni uzorci trebaju biti toplinski obrađeni zajedno s odljevcima koje predstavljaju. Uzorci koji su ljevani za ispitivanje ne smiju biti odvojeni od odljevaka sve dok se ne završi toplinska obrada.

Po jedna ispitna epruveta mora biti pripravljena za svako ispitivanje. Sve epruvete moraju biti 30 mm u promjeru kako bi se mogle kasnije obraditi na dimenzije potrebne za svako ispitivanje. Ukoliko su specifično tražene ispitne epruvete drugih dimenzija, epruvete moraju biti strojno obrađene na takve dimenzije.



Slika 4-3 Ispitna epruveta za ispitivanje vlačnih i tlačnih svojstava [3]

#### 4.2.5 Mehanička svojstva

Mehanička svojstva sivog lijeva su relativno niska vlačna čvrstoća, visoka tlačna čvrstoća (3 – 4 puta veća od  $R_m$ ), vrlo niska istezljivost, slaba žilavost i promjenjiv modul elastičnosti (što viši  $R_m$  viši je  $E$  – što viši  $E$ , lijev je kvalitetniji).

Pravilnik za klasifikaciju brodova navodi da jedino što određuju prilikom ispitivanja mehaničkih svojstava sivog lijeva je vlačna čvrstoća. Minimalna vlačna čvrstoća za sivi lijev iznosi  $200 \text{ N/mm}^2$ . Nakon puknuća epruvete presjek mora biti siv i granularan.

#### 4.2.6 Pregled

Svi odljevci moraju se očistiti i adekvatno pripremiti za ispitivanje. Površine se ne smiju udarati, brusiti ili obrađivati na bilo koji način koji može sakriti eventualne nedostatke.

Prije prihvaćanja svi odljevci moraju biti vizualno pregledani, uključujući prema potrebi i ispitivanje unutrašnje površine. Provjera dimenzija odgovornost je proizvođača, ukoliko nije drugačije dogovoreno.

Provođenje dodatnih ispitivanja odljevaka postupcima neraznornih ispitivanja uglavnom nije potrebno, osim u slučajevima kada postoji razlog za sumnju u ispravnost odljevka. Neki odljevci moraju biti tlačno ispitani ukoliko to zahtjeva Pravilnik.

U slučaju da se odljevak pokaže neispravnim tijekom naknadne obrade ili ispitivanja, on treba biti uklonjen bez obzira na prethodnu potvrdu.

#### **4.2.7 Popravak neispravnih ljevova**

Prema uputstvima nadležne osobe mala površinska oštećenja se mogu popraviti brušenjem. Odljevci koji sadrže lokalnu poroznost mogu se popraviti impregnacijom prikladnim polimernim punilom, pod uvjetom da je opseg poroznosti takav da ne utječe štetno na čvrstoću lijeva.

Popravak neispravnog lijeva koristeći postupak zavarivanja uglavnom nije dopušten.

#### **4.2.8 Označavanje ljevova**

Proizvođač treba usvojiti sustav koji omogućuje praćenje svih gotovih odljevaka od početka lijevanja do kraja. Prije prihvaćanja svi odljevci koji su ispitani i pregledani sa zadovoljavajućim rezultatima moraju biti označeni od strane proizvođača. Hrvatski registar brodova može zatražiti bilo šta od navedenog:

- Kvaliteta lijevanog željeza,
- Identifikacijski broj ili neku drugu oznaku koja će omogućiti praćenje cijelog postupka proizvodnje,
- Ime ili zaštitni znak proizvođača,
- Ime Registra,
- Skraćeni naziv lokalnog registra,
- Osobni pečat nadležne osobe,
- Ispitani pritisak, gdje je potrebno,
- Datum konačne provjere.

Tamo gdje se mali odljevci proizvode u velikim količinama zahtjevi za označavanje se mogu izmijeniti u dogovoru s Hrvatskim registrom brodova.

### 4.3 Nodularni (žilavi) lijev

Nodularni lijev nastaje tako da se zasip od specijalnog sivog sirovog željeza tali u elektropeći, a taljevina se obrađuje elementima globuratorima koji pomažu izlučivanje grafita u obliku kuglica (nodula). Nakon toga taljevina se ulijeva u pješčane kalupe. [1]

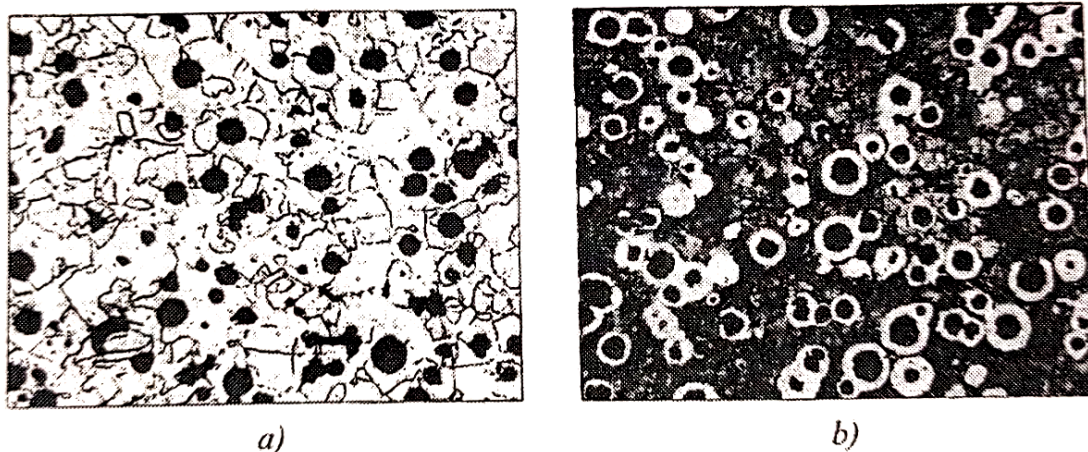
#### 4.3.1 Kemijski sastav i mikrostruktura

Kemijski sastav nodularnog lijeva opisan je u tablici 4-2.

Tablica 4-2 Kemijski sastav nodularnog lijeva (%) [3]

C	Mn	Si	P	S
3,2 – 3,8	< 0,5	2,4 – 2,8	< 0,045	< 0,1

Mikrostruktura željezne osnove može biti potpuno feritna, feritno – perlitna, perlitna ili austenitna.



Slika 4-4 Mikrostruktura feritnog (a) i perlitnog (b) nodularnog lijeva [1]

#### 4.3.2 Toplinska obrada

U slučaju korištenja odljevaka nodularnog lijeva gdje je potrebna dimenzijska postojanost ili će se koristiti pri visokim temperaturama, Pravilnik zahtjeva da se odljevak popušta ili podvrgne žarenju za redukciju zaostalih napreznja. Bilo kakva toplinska obrada mora se provesti prije strojnog oblikovanja odljevka. Odljevci za posebno korištenje koji trebaju zadovoljavati 350 N/mm<sup>2</sup> i 400 N/mm<sup>2</sup> vlačne čvrstoće i udarnog rada loma trebaju se feritizirati. Feritizacija je toplinska obrada gdje se dobiva potpuno feritno-grafitna struktura.

### 4.3.3 Mehanička ispitivanja

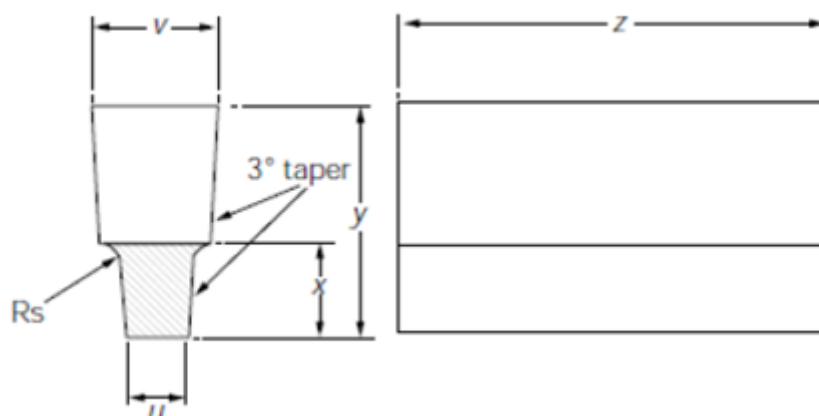
Mehanička ispitivanja za odljevke nodularnog lijeva provode se na tri vrste ispitnih epruveta. Treba osigurati minimalno jednu ispitnu epruvetu svakog lijevanja. Ispitne epruvete se lijevaju zajedno s odljevkom, a u slučaju da se to ne može provesti, ispitne epruvete moraju biti rađene u istom kalupu i u istoj taljevini kao i odljevak koji će se koristiti prilikom konstrukcije broda. Ispitne epruvete se ne smiju uzimati iz kalupa dok temperatura ispitne epruvete ne padne ispod 500 °C. Sva vlačna ispitivanja se provode na uređajima za ispitivanje koji su umjereni prema normi HRN EN ISO 7500-1: „Metalni materijali -- Umjeravanje i provjeravanje statičkih jednoosnih ispitnih uređaja -- 1. dio: Ispitni uređaji za zatezanje/kompresiju -- Umjeravanje i provjeravanje sustava za mjerenje sile“ [9]. Za velike odljevke gdje se talina ulijeva iz više posuda, potrebno je dostaviti dodatne ispitne uzorke koji će predstavljati svaku posudu. Kao alternativa tom postupku, ispitivanje serije može se usvojiti odljevcima koji imaju masu manju od jedne tone. Svi odljevci u seriji moraju biti sličnih dimenzija i vrste te lijevani od iste taline. Po jedan ispitni uzorak treba se dostaviti iz svake serije ukoliko serija ne prelazi masu veću od dvije tone.

Tamo gdje se koriste posebno lijevani ispitni uzorci, oni se moraju lijevati u kalupe iste vrste kao i odljevak te biti lijevani od iste taline. Oni uzorci koji se isporučuju toplinski obrađeni moraju biti toplinsko obrađeni zajedno s odljevcima koje predstavljaju.

Potrebno je pripremiti jedan ispitni uzorak za vlačno ispitivanje u dimenzijama obrađenim u poglavlju 2.5. Sva vlačna ispitivanja treba provesti na uređaju za ispitivanje koji je umjeren sukladno normi HRN EN ISO 7500-1: „Metalni materijali -- Umjeravanje i provjeravanje statičkih jednoosnih ispitnih uređaja -- 1. dio: Ispitni uređaji za zatezanje/kompresiju -- Umjeravanje i provjeravanje sustava za mjerenje sile“ [9] ili po nekom drugom priznatom standardu.

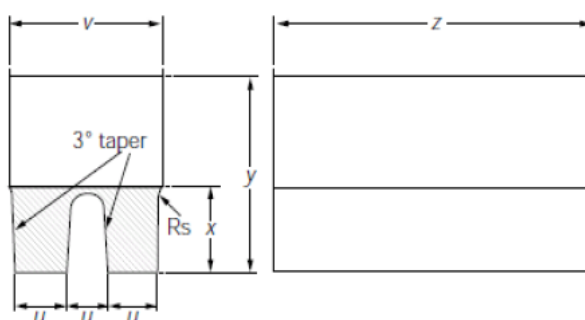
Ispitne epruvete prikazane su na slikama 4-5, 4-6 te 4-7.





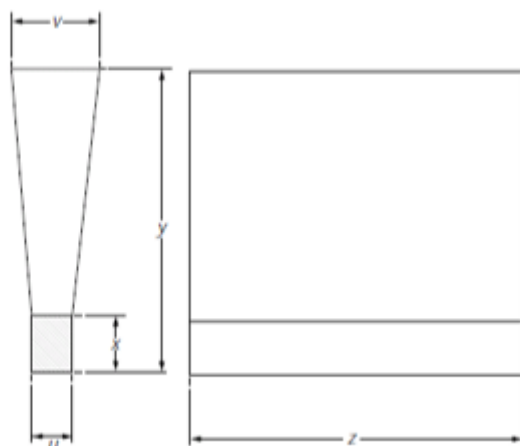
Dimenzije	Standardni uzorak	Uzorak drugih dimenzija (ako je posebno zahtijevano)		
u (mm)	25	12	50	75
v (mm)	55	40	90	125
x (mm)	40	30	60	65
y (mm)	100	80	150	165
z	Mora odgovarati uređajima za ispitivanje			
$R_s$	Otprilike 5 mm			

Slika 4-5 Tip A ispitne epruvete (U-tip) s pripadajućim dimenzijama [3]



Dimenzije	Standardni uzorak
u (mm)	25
v (mm)	90
x (mm)	40
y (mm)	100
z	Mora odgovarati uređajima za ispitivanje
$R_s$	Otprilike 5 mm

Slika 4-6 Tip B ispitne epruvete (dvostruki U-tip) s pripadajućim dimenzijama [3]



Dimenzije	Standardni uzorak	Uzorak drugih dimenzija (ako je posebno zahtijevano)		
u (mm)	25	12	50	75
v (mm)	55	40	100	125
x (mm)	40	25	50	65
y (mm)	140	135	150	175
z	Mora odgovarati uređajima za ispitivanje			
Debljina kalupa	40 mm min.	40 mm min.	80 mm min.	80 mm min.

**Slika 4-7 Tip C ispitne epruvete (Y-tip) s pripadajućim dimenzijama [3]**

U slučaju da se traže ispitivanja za udarni rad loma, koriste se ispitne epruvete s V zarezom čije su dimenzije zadane u tablici 3-3. Sva ispitivanja se provode na Charpyevom batu prema normi HRN EN ISO 148: „Metalni materijali -- Ispitivanje udarnog rada loma Charpyjevim batom -- 1. dio: Metoda ispitivanja“ [7] ili drugom nacionalnom standardu.

**Tablica 4-3 Dimenzije ispitnih epruveta za ispitivanje udarnog rada loma [3]**

Dimenzije	Nominalna	Tolerancije
Duljina	55 mm	$\pm 0,60$ mm
Širina: standardna dimenzija	10 mm	$\pm 0,11$ mm
male dimenzije	7,5 mm	$\pm 0,11$ mm
male dimenzije	5 mm	$\pm 0,06$ mm
Kut utora	45°	$\pm 2^\circ$
Debljina	10 mm	$\pm 0,06$ mm
Dubina ispod utora	8 mm	$\pm 0,06$ mm
Radijus korijena	0,25 mm	$\pm 0,025$ mm
Udaljenost od utora do kraja ispitne epruvete	27,5 mm	$\pm 0,42$ mm
Kut između ravnine utora i longitudinalne osi ispitne epruvete	90°	$\pm 2^\circ$

#### 4.3.4 Mehanička svojstva

Vrijednosti mehaničkih svojstava definirane su Pravilnikom. Vrijednosti koje se moraju ostvariti prikazane su u tablici 4-4. Tablica daje minimalne zahtjeve za konvencionalnu granicu razvlačenja i produljenje koje odgovaraju različitim vlačnim čvrstoćama. Zadane su i tipične vrijednosti tvrdoće po Brinellu te su namijenjene isključivo za informativne svrhe. Odljevci se mogu isporučiti sa bilo kojom minimalnom vlačnom čvrstoćom odabranom unutar općih ograničenja zadanih tablicom 4-4. Ukoliko nije posebno naglašeno, potrebno je odrediti samo vlačnu čvrstoću i produljenje te rezultati trebaju biti u skladu s tom tablicom.

**Tablica 4-4 Mehanička svojstva za nodularni lijev [3]**

Minimalna vlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]		Konvencionalna granica razvlačenja $R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Produljenje za epruvetu duljine $5,65\sqrt{S_0}$ (%) min	Tvrdoća (Brinell)	Udarni rad loma		Struktura jezgre
					Ispitna temp. [°C]	KV [J] Min.	
Uobičajena primjena	370	230	17	120-180	-	-	Ferit
	400	250	12	140-200	-	-	Ferit
	500	320	7	170-240	-	-	Ferit/Perlit
	600	370	3	190-270	-	-	Ferit/perlit
	700	420	2	230-300	-	-	Perlit
	800	480	2	250-350	-	-	Perlit ili poboljšana struktura
Posebna primjena	350	220	22	110-170	+20	17(14)	Ferit
	400	250	18	140-200	+20	14(11)	Ferit

#### 4.3.5 Pregled

Svi odljevci moraju se očistiti i adekvatno pripremiti za ispitivanje. Površine se ne smiju udarati, brusiti ili obrađivati na bilo koji način koji može sakriti eventualne nedostatke.

Prije prihvaćanja svi odljevci moraju biti vizualno pregledani, uključujući prema potrebi i pregled unutrašnje površine. Provjera dimenzija je odgovornost proizvođača ukoliko to nije drugačije dogovoreno.

Dopunsko ispitivanje odljevaka prikladnim postupcima nerazornog ispitivanja uglavnom nije potrebno, osim ako se sumnja u ispravnost odljevka.

Ukoliko Registar zahtjeva, odljevci mogu biti tlačno ispitani prije konačnog prihvaćanja.

U slučaju da se odljevak pokaže neispravnim tijekom naknadne obrade ili ispitivanja, on treba biti uklonjen bez obzira na prethodnu potvrdu.

Lijevana koljenasta vratila treba podvrgnuti magnetskom ispitivanju čestica. Indikacije poput pukotina nisu dopuštene.

### **4.3.6 Metalografska ispitivanja**

Za koljenasta vratila metalografsko ispitivanje je obavezno. Po potrebi jedan reprezentativni uzorak iz svake taline treba biti pripremljen za metalografsko ispitivanje. Uzorci mogu biti uzeti iz ispitnih uzoraka za vlačno ispitivanje ali mogu se dati i alternativni uzorci samo što tada moraju biti uzeti iz taline pred kraj lijevanja. Ispitivanjem uzoraka mora se dokazati da se najmanje 90% grafita nalazi u nodularnom obliku. Pojedine tipične strukture matrice su zadane u tablici 4-4.

### **4.3.7 Popravak neispravnih ljevova**

Ukoliko se na površini nalazi mala nepravilnost, ona se može ukloniti brušenjem. Odljevci koji sadrže lokalnu poroznost mogu se ispraviti impregnacijom prikladnim polimernim punilom, pod uvjetom da je opseg poroznosti takav da ne utječe štetno na čvrstoću lijeva. Popravci postupkom zavarivanja uglavnom nisu dopušteni.

### **4.3.8 Označavanje ljevova**

Proizvođač treba usvojiti sustav koji omogućuje praćenje svih gotovih odljevaka od početka lijevanja do kraja. Prije prihvaćanja svi odljevci koji su ispitani i pregledani sa zadovoljavajućim rezultatima moraju biti označeni od strane proizvođača. Hrvatski registar brodova može zatražiti bilo šta od navedenog:

- Kvaliteta lijevanog željeza,
- Identifikacijski broj ili neku drugu oznaku koja će omogućiti praćenje cijelog postupka proizvodnje,
- Ime ili zaštitni znak proizvođača,
- Ime Registra,
- Skraćeni naziv lokalnog Registra,
- Osobni pečat nadležne osobe,
- Ispitani pritisak, gdje je potrebno,
- Datum konačne provjere.

Tamo gdje se mali odljevci proizvode u velikim količinama, zahtjevi za označavanje se mogu izmijeniti u dogovoru s Hrvatskim registrom brodova.

## 5. Sidra

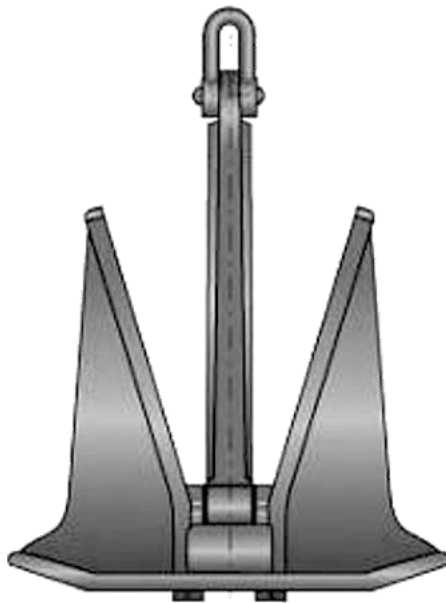
### 5.1 Općenito o sidrima

Sidro je naprava koja je najčešće izrađena od metala te služi za sidrenje plutajućega objekta [4]. Povijest sidra datira tisućljećima. Smatra se da su prva sidra najvjerojatnije bile stijene povezane užetom [10]. Stari Grci su koristili košare s kamenjem, velike vreće ispunjene pijeskom te drvene cjepanice napunjene olovom. Izgled sidra mijenjao se s godinama tako da danas postoji više vrsti. Vrste koje su uključene Pravilima za klasifikaciju broda Hrvatskog registra brodova su:

1. Obično sidro:
  - a. Sidro bez prečke,
  - b. Sidro s prečkom,
2. HHP (High Holding Power) sidro,
3. SHHP (Super High Holding Power) sidro – sidro koje ne prelazi masu veću od 1500 kg.



Slika 5-1 Sidro bez prečke [11]



Slika 5-2 HHP sidro [12]

## 5.2 Materijali za izradu sidra

Dijelovi sidra mogu biti izrađeni od čeličnog lijeva ili od kovanog čelika. U slučaju da se dijelovi poput lopatica, struka, vrtuljka ili škopca izrađuju pomoću čeličnog lijeva, taj lijev mora zadovoljavati kemijski sastav i mehanička svojstva koja su već obrađena u ovom radu. Ukoliko se koristi čelični lijev, gotovi odljevak bi trebao biti prevučen aluminijskim slojem. Ukoliko su dijelovi izrađeni od kovanog čelika poput klinova, struka, vrtuljka ili škopca oni moraju zadovoljavati mehanička svojstva te biti ispitani prema Pravilniku za obavljanje ispitivanja kovanog željeza.

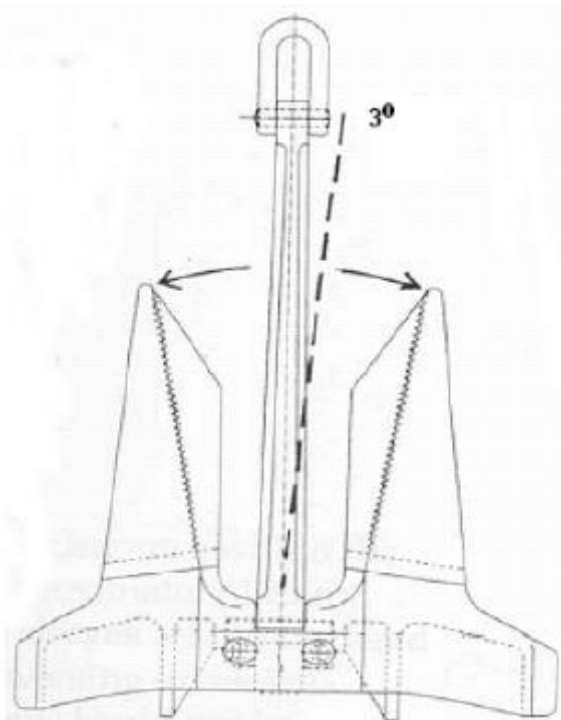
## 5.3 Proizvodnja sidra

### 5.3.1 Tolerancije

Zračnost s bilo koje strane struka između čeljusti škopca ne smije biti veća od 3 mm za mala sidra do 3 tone, 4 mm za sidra do 5 tona te 6 mm za sidra do 7 tona i ne smije prelaziti preko 12 mm za veća sidra.

Klin škopca mora biti uguran u provrt na škopcu koji mora imati zaobljenja prema van kako bi se osiguralo dobro stezanje kada se klin umetne u provrte. Tolerancija između klina i provrta ne smije biti veća od 0,5 mm za klinove do 57 mm i veća od 1 mm za klinove većih

dimenzija. Klin mora dobro sjesti i mora biti dovoljno dugačak da spriječi horizontalno gibanje. Bočno gibanje struka sidra ne smije biti veće od  $3^\circ$ .



Slika 5-3 Dopušteno bočno gibanje struka sidra [3]

### 5.3.2 Toplinska obrada

Dijelovi sidra koji su lijevani ili kovani moraju biti primjereno toplinski obrađeni. Moraju biti žareni, normalizirani ili normalizirani i poboljšani. Dijelovi sidra koji nisu iz jednog komada poput lijevanih, već su sastavljeni od dva ili više dijelova moraju obavezno biti žareni za redukciju zaostalih naprežanja nakon zavarivanja ovisno o debljini zavara. Žarenje mora biti provedeno sukladno odobrenoj tehnici zavarivanja. Temperatura žarenja za redukciju zaostalih naprežanja ne smije biti veća od temperature popuštanja osnovnog materijala.

### 5.3.3 Popravci

Svi potrebni popravci kovanih i lijevanih sidara moraju se nadgledati i izvršiti u skladu s popravcima navedenim u poglavlju 2.7. Popravci sidra koji su proizvedeni nekom drugom tehnologijom proizvodnje moraju se nadgledati te biti provedeni u skladu s odgovarajućim postupkom zavarivanja. Popravci moraju biti izvršeni od strane kvalificiranog zavarivača prateći parametre zavarivanja koji su se koristili prilikom proizvodnje.



### 5.3.4 Ispitivanje i odobravanje

U tablici 5-1 prikazano je koji programi ispitivanja su odobreni za koju vrstu materijala od kojeg je rađeno sidro, dok je u tablici 5-2 prikazano što pripada kojem programu ispitivanja.

**Tablica 5-1 Programi ispitivanja koji se primjenjuju za određeni način izrade [3]**

Ispitivanje	Način izrade		
	Lijevani dijelovi	Kovani dijelovi	Proizvedeni/zavareni dijelovi
Program A	Primjenjuje	Ne primjenjuje	Ne primjenjuje
Program B	Primjenjuje <sup>1</sup>	Primjenjuje	Primjenjuje

1) Ispitivanje udarnog rada loma provodi se radi demonstracije sa najmanje 27 J i oko 0°C

**Tablica 5-2 Prikaz ispitivanja za svaki program [3]**

Program A	Program B
Test pada	-
Udarni test čekićem	-
Vizualna provjera	Vizualna provjera
Standardna nerazorna ispitivanja	Standardna nerazorna ispitivanja
	Detaljna nerazorna ispitivanja

Test pada je test u kojem se lopatice i struk sidra podižu na visinu od 4 metra iznad čelične ploče te se ispuštaju kako bi se ispitalo da li će doći do loma.

Udarni test čekićem se provodi na lopaticama i struku pri čemu se oni bace na zemlju koristeći nemetalnu pračku, nakon čega se udarajući čekićem koji ne smije biti lakši od tri kilograma provjerava čvrstoća dijelova.

Prilikom standardnih i detaljnih nerazornih ispitivanja koriste se različite metode za pojedine dijelove što je prikazano u tablicama 5-3, 5-4 i 5-5. Najčešće metode koje se koriste su penetrantska (PT), magnetska (MT) i ultrazvučna (UT) metoda.

**Tablica 5-3 Standardna nerazorna ispitivanja HHP sidra[3]**

Mjesto pregleda	Metoda nerazornog ispitivanja
Pojilo	PT ili MT
Zavareni popravci	PT ili MT
Kovani dijelovi	Nije potrebno
Zavareni dijelovi	PT ili MT

**Tablica 5-4 Standardna nerazorna ispitivanja SHHP sidra[3]**

Mjesto pregleda	Metoda nerazornog ispitivanja
Pojilo	PT ili MT i UT
Sve površine odljevka	PT ili MT
Zavareni popravci	PT ili MT
Kovani dijelovi	Nije potrebno
Zavareni dijelovi	PT ili MT

**Tablica 5-5 Detaljna nerazorna ispitivanja za obična, HHP i SHHP sidra [3]**

Mjesto pregleda	Metoda nerazornog ispitivanja
Pojilo	PT ili MT i UT
Sve površine odljevka	PT ili MT
Nasumično odabrane površine	UT
Zavareni popravci	PT ili MT
Kovani dijelovi	Nije potrebno
Zavareni dijelovi	PT ili MT

### **5.3.5 Označavanje sidra**

Sidra koja zadovoljavaju zahtjevima moraju biti označena na struku i lopaticama. Oznaka na struku mora biti približno u ravnini s oznakama na lopaticama. Na lopaticama oznake trebaju biti udaljene otprilike dvije trećine od vrha do središnje linije krune sidra i trebaju se nalaziti na desnoj lopatici. Oznake uključuju:

- Masu sidra,
- Identifikacija poput broja ispitivanja ili broj certifikata,
- Oznaka Registra,
- Oznaka proizvođača.

Dodatno je potrebno označiti jedinstveni broj odljevka na struku ili lopatici sidra.

## 6. Lanci za sidra i dodaci

Lanci za sidra dijele se u razrede CRS-L1, CRS-L2 i CRS-L3 s obzirom na vlačnu čvrstoću čelika od kojeg su izrađene karike lanca. Proizvođač čelika za lance mora biti odobren od strane Hrvatskog registra brodova.

### 6.1 Materijali

Svi materijali koji su korišteni u proizvodnji lanaca ili dodataka moraju biti odobreni od strane Hrvatskog registra brodova. Samo čelične šipke od kojih se izrađuju lanci kategorije CRS-L1 ne trebaju biti odobreni.

#### 6.1.1 Valjanje čelične šipke

Čelične šipke za izradu karika lanaca uvijek trebaju biti dostavljene u valjanom stanju.

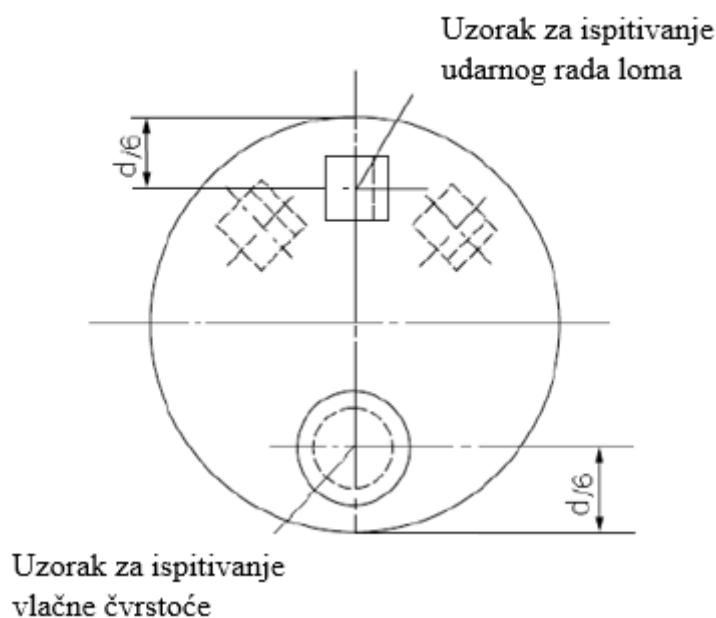
Kemijski sastav valjanih čeličnih šipki zadan je tablicom 6-1.

**Tablica 6-1 Kemijski sastav valjanih čeličnih šipki [3]**

Razred	Kemijski sastav u maksimalnom udjelu, osim ako nije posebno navedeno					
	C	Si	Mn	P	S	Al. <sup>1</sup> min
CRS-L1	0,20	0,15-0,35	min 0,40	0,040	0,040	NP
CRS-L2 <sup>2</sup>	0,24	0,15-0,55	1,60	0,035	0,035	0,020
CRS-L3 <sup>3</sup>	Sukladno s potrebnim specifikacijama					
1) Aluminijski se može zamijeniti nekim drugim elementom koji mijenja zrna 2) Ako se Hrvatski registar brodova složi, može se dodati još legiranih elemenata 3) Mora biti umireni čelik i imati sitnozrnatu strukturu NP – nije potrebno						

Ispitivanje mehaničkih svojstava provodi čeličana i rezultati tih ispitivanja moraju biti sukladni zahtijevanim mehaničkim svojstvima prikazanim u tablici 6-2. Ispitni uzorci moraju biti jednako toplinski obrađeni kao i gotovi lanci i dodaci. Za provedbu mehaničkih ispitivanja čelične šipke moraju biti sortirane prema promjeru i načinu toplinske obrade u skupine koje ne smiju prelaziti masu od 50 tona. Prije nego se uzorci uzmu, oni moraju biti podvrgnuti toplinskoj obradi kakvoj će biti podvrgnut i gotov lanac. Detalji toplinske obrade moraju biti naznačeni od strane proizvođača.

Za vlačno ispitivanje i ispitivanje udarnog rada loma uzorci moraju biti uzeti iz longitudinalnog smjera i moraju biti udaljeni  $1/6$  promjera od površine.



Slika 6-1 Mjesta za uzimanje uzoraka [3]

U donjem dijelu poprečnog presjeka prikazana je lokacija uzimanja uzorka za vlačno ispitivanje dok je na gornjem dijelu poprečnog presjeka prikazana lokacija uzimanja uzorka za ispitivanje udarnog rada loma. Dimenzije za uzimanje uzorka zadane su tablicom 4-3.

**Tablica 6-2 Mehanička ispitivanja valjane čelične šipke [3]**

Razred	$R_{eH}$ N/mm <sup>2</sup> min	$R_m$ N/mm <sup>2</sup>	$A_5$ % min	$Z$ % min	Udarni rad loma, KV	
					Ispitna temp. °C	Energija J, min
CRS-L1	NP	370 – 490	25	NP	NP	NP
CRS-L2	295	490 – 690	22	NP	0	27 <sup>1</sup>
CRS-L3	410	min 690	17	40	0 <sup>2</sup> -20	60 35

1) Udarni rad loma CRS-L2 materijala može biti odbačen u slučaju da je materijal toplinski obrađen po uputstvima tablice 6-6

2) Testiranje se normalno odvija pri 0 °C

NP – nije potrebno

Dimenzijska postojanost je vrlo važna pa stoga i promjer i zaokruženost moraju biti u granicama tolerancije, što je prikazano u tablici 6-3.

**Tablica 6-3 Dimenzijske tolerancije valjanih čeličnih šipki [3]**

Nominalni promjer, mm	Tolerancija promjera, mm	Tolerancija zaokruženosti, ( $d_{max}-d_{min}$ ) mm
Manje od 25	-0 + 1,0	0,6
25 – 35	-0 + 1,2	0,8
36 – 50	-0 + 1,6	1,1
51 – 80	-0 + 2,0	1,5
81 – 100	-0 + 2,6	1,95
101 – 120	-0 + 3,0	2,25
121 – 160	-0 + 4,0	3,00

### 6.1.2 Kovani čelik za lance za sidra i dodatke

Kovani čelik koji se koristi prilikom izrade lanaca za sidra i dodataka mora biti proizveden sukladno Pravilima za klasifikaciju brodova Hrvatskog registra brodova te njegov kemijski sastav također mora biti odobren od strane Hrvatskog registra brodova.

Materijal mora biti isporučen u valjanom obliku. Završeni proizvod kasnije se toplinski obrađuje odgovarajućim načinom toplinske obrade. U tablici 6-4 napisani su načini toplinske obrade za određene razrede lanaca i dodataka.

**Tablica 6-4 Toplinska obrada za različite razrede lanaca [3]**

Razred	Lanac	Dodaci
CRS – L1	Kao zavaren ili normaliziran	-
CRS – L2	Kao zavaren ili normaliziran <sup>1</sup>	Normaliziran
CRS – L3	Normaliziran, normaliziran i popušten ili poboljšan	Normaliziran, normaliziran i popušten ili poboljšan
1) CRS – L2 sidreni lanci kovani ili lijevani isporučuju se u normaliziranom stanju		

### 6.1.3 Čelični lijev za sidrene lance i dodatke

Čelični lijev koji se koristi prilikom izrade sidrenih lanaca i dodataka mora biti proizveden sukladno Pravilima za klasifikaciju brodova Hrvatskog registra brodova. Kemijski sastav mora biti odobren od strane Hrvatskog registra brodova te svi odljevci moraju biti toplinski obrađeni sukladno razredima u tablici 6-4.

### 6.1.4 Materijal za prečku

Prečka se radi od čelika jednakog kao i lanac ili od valjanog, lijevanog ili mekanog čelika. Korištenje drugog materijala poput sivog ili nodularnog lijeva nije dozvoljeno.

## 6.2 Konstruiranje i proizvodnja lanca i dodataka

### 6.2.1 Konstruiranje

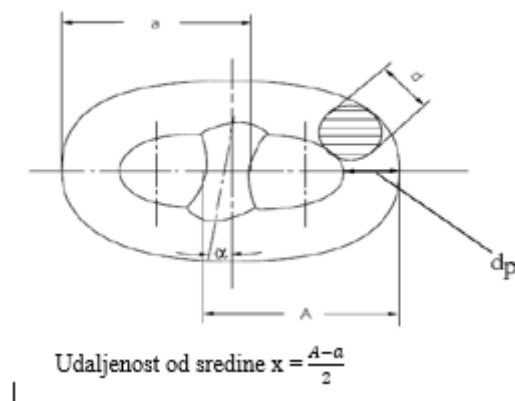
Lanci za sidra moraju biti konstruirani prema prepoznatom standardu poput standarda ISO 1704: „Ships and marine technology – Stud-link anchor chains“. Lanac mora sadržavati neparan broj karika. Tamo gdje konstrukcija ne odgovara prethodno napisanom i gdje su dodaci zavareni, tehnička dokumentacija, proces proizvodnje i proces toplinske obrade moraju se dostaviti Hrvatskom registru brodova na odobrenje.

### 6.2.2 Dimenzioniranje i dimenzijske tolerancije

Oblik i proporcije karika lanaca moraju odgovarati standardu ISO 1704: „Ships and marine technology – Stud-link anchor chains“. Ukoliko ne odgovaraju, oblik i proporcije moraju biti posebno odobreni. Odobrene tolerancije su:

- a) Promjeri izmjereni na kruni (u dp ravnini, slika 6-2) za karike manje od 40 mm iznosi 1 mm; za promjere između 40 do 84 mm iznosi 2 mm; za promjere između 84 do 122 mm iznosi 3 mm; za promjere preko 122 mm iznosi 4 mm.
- b) Za promjere koji se ne mjere od krune: promjer ne smije imati negativnu toleranciju, a pozitivna tolerancija ne smije biti preko 5% nazivnog promjera.
- c) Najviša dopuštena tolerancija prilikom mjerenja udaljenosti između pet karika iznosi +2,5%, ali ne smije biti negativna (mjereno kada je lanac opterećen).
- d) Ostale dimenzije podliježu tolerancijskom polju  $\pm 2,5\%$ , ukoliko se sve karike mogu spojiti kako bi nastao lanac.
- e) Prečke moraju biti smještene u sredini karike i pod pravim kutem iako prečke na krajevima lanaca mogu biti pomaknute od centra radi lakšeg spajanja škopca na lanac. Maksimalni pomak od sredine karike označava se sa „X“ ( $X = (A - a) / 2$ ) i on smije iznositi 10% nominalnog promjera. Maksimalni otklon označava se sa „ $\alpha$ “ i iznosi  $4^\circ$ .





Slika 6-2 Tolerancije karika[3]

Tolerancije za sve ostale dijelove iznose:

- Nominalni promjer: +5%, -0%,
- Ostale dimenzije:  $\pm 2,5\%$ .

### 6.2.3 *Proizvodnja*

Poželjno je da su prečke na lancu sučeljeno zavarene iskrenjem koristeći materijal razreda za proizvodnju šipki CRS-L1, CRS-L2 ili CRS-L3. Zabranjeno je korištenje prečki koje su proizvedene lijevanjem ili kovanjem.

Ukoliko se proizvodi lanac bez prečki, lanci razreda CRS-L1, CRS-L2 mogu se sučeljeno zavariti pritiskom, ukoliko nominalni promjer ne prelazi 26 mm.

Dodaci poput škopca i vrtuljaka moraju biti kovani ili od čeličnog lijeva najmanjeg razreda CRS – L2. Odobravanje je moguće ukoliko su dijelovi zavareni.

### 6.2.4 Zavarivanje prečki

Kako bi se prečke mogle zavarivati one moraju biti sukladne sljedećim pravilima:

- a) Prečke moraju biti napravljene od materijala koji se može zavarivati,
- b) Prečka mora biti zavarena samo na jednom kraju; suprotno od onog gdje je zavarena karika. Prečka mora dimenzijski biti tolika da stane u kariku i da nema znatnog razmaka,
- c) Zavar, ako je moguće, treba biti izveden horizontalno, od strane stručnog osoblja koristeći primjerenu aparaturu,
- d) Svi zavari moraju biti napravljeni prije završne toplinske obrade lanca,
- e) Zavari moraju biti čisti, bez nečistoća i pukotina. Svaki zavar koji ima pukotinu ili nečistoće mora se ukloniti.

### 6.2.5 Toplinska obrada

Sukladno razredu čelika, sidreni lanci i dodaci moraju se toplinski obraditi prema tablici 6-7.

Toplinska obrada se mora provesti prije bilo kakvih mehaničkih ispitivanja.

## 6.3 Mehanička ispitivanja i certifikacija lanaca

### 6.3.1 Ispitivanje nosivosti i lomne čvrstoće

Sidreni lanac nakon proizvodnje i toplinske obrade mora se podvrgnuti ispitivanju nosivosti i lomne čvrstoće pod nadzorom službene osobe i ne smije puknuti niti imati vidljive pukotine. Posebna pozornost daje se vizualnom pregledu dijelova koji su sučeljeno zavareni iskrenjem. Za ove svrhe lanci ne smiju biti obojeni niti smiju biti presvučeni antikorozivnom zaštitom.

Lanac mora biti podijeljen na manje duljine od 27,5 m te se svaki dio ispita sukladno tablici 6-5 koristeći umjerene uređaje za ispitivanje.

**Tablica 6-5 Formule za određivanje ispitivanja nosivosti i lomne čvrstoće [3]**

Vrsta ispitivanja	CRS – L1	CRS – L2	CRS – L3
Nosivost (kN)	$0,00686d^2(44-0,08d)$	$0,00981d^2(44-0,08d)$	$0,01373d^2(44-0,08d)$
Sila loma (kN)	$0,00981d^2(44-0,08d)$	$0,01373d^2(44-0,08d)$	$0,01961d^2(44-0,08d)$
<i>d</i> – nominalni promjer, mm			

Za provedbu ispitivanja lomne čvrstoće, svaki se uzorak mora sastojati od najmanje 3 karike uzete iz svake četvrte dužine sidrenog lanca i ispituje se sukladno formulama zadanim u tablici 6-5. Sidreni lanac mora biti opterećen silom loma minimalno 30 sekundi. Karike moraju biti zajedno proizvedene te zajedno toplinski obrađene. U slučaju da sidreni lanac pukne prilikom ispitivanja, uzima se drugi uzorak na istoj toj dužini sidrenog lanca te se i on ispituje. Ukoliko drugi ispitni uzorak prođe ispitivanje, smatra se da je sidreni lanac zadovoljio. Ako i drugi ispitni primjerak ne zadovolji, odbacuje se cijeli lanac.

Prilikom ispitivanja nosivosti, ako sidreni lanac ne zadovolji, uklanja se karika koja nije zadovoljila te se stavlja nova i ispitivanje se ponavlja.

Ponovno statičko vlačno ispitivanje i ispitivanje udarnog rada loma vrši se na način da se uzmu novi ispitni uzorci iz istog odljevka iz kojeg su uzeti prvotni uzorci koji nisu zadovoljili. U slučaju ponovnog neispunjavanja zahtjeva odljevci se odbijaju, osim ako je razlog neispunjavanja zahtjeva ispitivanja nepropisno napravljena toplinska obrada. Ukoliko je toplinska obrada nepropisno napravljena, mogu se uzeti novi ispitni uzorci i pravilno toplinski obraditi. Provode se ponovna ispitivanja (statičko vlačno ispitivanje i ispitivanje udarnog rada loma) i rezultati prethodnih ispitivanja se mogu zanemariti.

### **6.3.2 Mehanička ispitivanja CRS – L2 i CRS – L3 razreda**

Za razrede sidrenog lanca CRS – L2 i CRS – L3 provode se mehanička ispitivanja koja su navedena u tablici 6-6. Ispitni uzorci se uzimaju iz svake četvrte dužine lanca. Za lanac koji je napravljen kovanjem ili lijevanjem i zbog načina proizvodnje nije moguće da se cijela duljina proizvede odjednom, dijeli se po duljinama koje su zajedno toplinski obrađene. Uzorci se uzimaju isto kao što je prikazano na slici 6-1.

**Tablica 6-6 Broj mehaničkih ispitivanja za razrede, vrste sidrenog lanaca i dodataka [3]**

Razred	Metoda proizvodnje <sup>1</sup>	Stanje pri isporuci	Broj ispitnih uzoraka		
			Vlačna čvrstoća osnovnog materijala	Udarni rad loma, KV	
				Osnovni materijal	Mjesto zavara
CRS – L1	Sučeljeno zavarivanje iskrenjem	AW N	NP	NP	NP
CRS – L2	Sučeljeno zavarivanje iskrenjem	AW N	1 NP	3 NP	3 NP
	Kaljen ili lijevan	N	1	3 <sup>2</sup>	NA
CRS – L3	Sučeljeno zavarivanje iskrenjem	N NT QT	1	3	3
	Kaljen ili lijevan	N NT QT	1	3	NA

1) AW – kao zavaren, N – normaliziran, NT – normaliziran i popušten, QT – poboljšan  
2) Za lance ispitivanje lomne žilavosti nije potrebno  
NP – nije potrebno  
NA – ne primjenjuje se

Nakon provedbe odgovarajućih mehaničkih ispitivanja, rezultati ispitivanja moraju odgovarati vrijednostima u tablici 6-7.

**Tablica 6-7 Mehanička svojstva za gotov sidreni lanac i dodatke [3]**

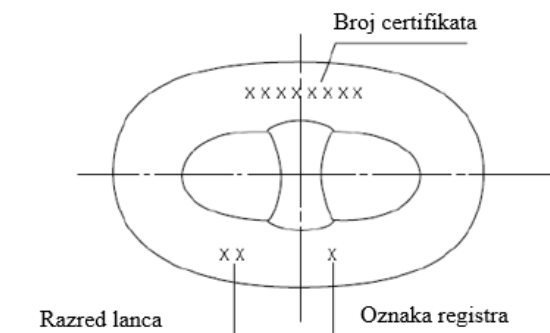
Razred	$R_{eH}$ N/mm <sup>2</sup> min	$R_m$ N/mm <sup>2</sup>	$A_5$ % min	$Z$ % min	Udarni rad loma, KV		
					Ispitna temp °C	Energija J, min	
						Osnovni materijal	Mjesto zavara
CRS-L1	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
CRS-L2	295	490 – 690	22	NP	0	27	27
CRS-L3	410	min 690	17	40	0 <sup>1</sup>	60	50
					-20	35	27

1) Ispitivanje se uobičajeno odvija pri 0°C  
NP – nije potrebno

### 6.3.3 Označavanje

Sidreni lanac koji odgovara potrebnim uvjetima mora biti označen na početku i na kraju jedne dužine najmanje sljedeće navedenim oznakama:

- Razred lanca,
- Broj certifikata,
- Oznaka registra.



**Slika 6-3 Pravilno označena karika sidrenog lanca [3]**

### **6.3.4 Certifikacija**

Sidreni lanac koji odgovara uvjetima bit će odobren od strane Hrvatskog registra brodova te označen sljedećim podacima:

- Ime proizvođača,
- Razred,
- Kemijski sastav (uključujući ukupni sadržaj aluminijske legirane čelika),
- Nominalni promjer/težina,
- Nosivost i lomna čvrstoća,
- Toplinska obrada,
- Oznake na lancu,
- Duljina,
- Mehanička svojstva, tamo gdje su primjenjiva.

## **6.4 Ispitivanje i certifikacija dodataka**

### **6.4.1 Ispitivanje nosivosti**

Svi dodaci moraju biti podvrgnuti ispitivanju nosivosti sukladno podacima zadanim u tablici 6-5 i načinom provedbe opisanom u poglavlju 6.3.1.

### **6.4.2 Ispitivanje lomne čvrstoće**

Iz svake proizvedene skupine (isti dodatak, razred, dimenzije i toplinske obrade) od 25 komada ili manje, od pojedinačnih karika, škopaca, vrtuljaka, uvećanih karika i krajnjih karika i iz svake proizvedene skupine od 50 komada ili manje od spojnih karika, po jedan primjerak podliježe ispitivanju lomne čvrstoće pri uvjetima opisanim u tablici 6-5 i načinom provedbe opisanim u poglavlju 6.3.1. Dio koji je ispitan na ovaj način ne smije biti dalje korišten. Uvećane karike i krajnje karike ne moraju biti ispitane ukoliko su proizvedene i toplinski obrađene zajedno sa sidrenim lancem.

Hrvatski registar brodova može odrediti da se ispitivanje lomne čvrstoće ne provodi u slučaju da je ispitivanje već obavljeno na dijelovima iste konstrukcije, mehanička svojstva svake skupine su dokazana i dijelovi su podvrgnuti odgovarajućem nerazornom testiranju.

### **6.4.3 Mehanička svojstva i ispitivanje**

Ukoliko nije drugačije označeno, kovani i lijevani dijelovi moraju minimalno ispunjavati mehanička svojstva zadana tablicom 6-7 nakon što su odgovarajuće toplinski obrađeni. Za ispitivanje, odljevci i kovani dijelovi koji su sličnih dimenzija i jednako su toplinski obrađeni mogu biti spojeni u istu ispitnu skupinu. Mehanička ispitivanja moraju biti provedena u nadležnosti ovlaštene osobe, ovisno o vrsti i razredu materijala koji se koristi. Iz svake ispitne serije mora se uzeti jedna ispitna epruveta za statičko vlačno ispitivanje i tri ispitne epruvete za ispitivanje udarnog rada loma sukladno tablici 6-6 te ispitivanja moraju biti sukladna pravilima o provođenju ispitivanja. Uvećane karike i krajnje karike ne moraju biti ispitane ukoliko su proizvedene i toplinski obrađene zajedno sa sidrenim lancem.

### **6.4.4 Označavanje**

Dodaci koji odgovaraju svim uvjetima moraju biti označeni na sljedeći način:

- Razred lanca,
- Broj certifikata,
- Pečat Hrvatskog registra brodova.

## 7. ZAKLJUČAK

Proučavajući Pravilnik za klasifikaciju brodova Hrvatskog registra brodova može se zaključiti kako svaka vrsta željeznog lijeva ima svoju svrhu i ulogu prilikom konstruiranja brodova. Čelični ljevovi se koriste prilikom izrade odljevaka najvećih dimenzija i masa, a gdje je potrebno da odljevci imaju visoku granicu razvlačenja i dovoljnu istezljivost. Sivi lijev ima možda najrašireniju primjenu zato što se mogu ljevati odljevci svih dimenzija i masivnosti, a proizvodnja mu je jednostavna i jeftinija nego kod drugih ljevova. Koristi se najviše prilikom izrade postolja i kućišta motora. Nodularni lijev najviše se koristi kao zamjena za čelični lijev prilikom proizvodnje srednjih i većih odljevaka. Najviše se koristi prilikom proizvodnje koljenastih i bregastih osovina motora, zupčanika itd.

U radu je proučena i proizvodnja sidara, sidrenih lanaca i dodataka. Sidro je jedan od najvažnijih dijelova broda na koji većina možda ne obraća pažnju. Samim time je njegova proizvodnja i proizvodnja sidrenog lanca s dodacima definirana Pravilnikom i izrazito kontrolirana. Postupak proizvodnje sidra je kovanjem ili lijevanjem čelika zato što su to odljevci velikih dimenzija i masa koji moraju biti dimenzijski postojani i imati dobra mehanička svojstva. Slični uvjeti proizvodnje moraju biti i prilikom proizvodnje sidrenog lanca i njegovih dodataka. Lanac mora imati dobra mehanička svojstva te ne smije puknuti.



## 8. LITERATURA

- [1] Filetin T., Kovačiček F., Indof J. : Svojstva i primjena materijala, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011.
- [2] [https://www.fsb.unizg.hr/usb\\_frontend/files/1396606171-0-fe-ljevovi\\_2012.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1396606171-0-fe-ljevovi_2012.pdf)  
(dostupno na dan 9.2.2021)
- [3] Pravila za klasifikaciju broda Hrvatskog registra brodova
- [4] <http://struna.ihjj.hr/naziv/sidro/24587/> (dostupno na dan 9.2.2021)
- [5] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Umireni\\_%C4%8Delik](https://hr.wikipedia.org/wiki/Umireni_%C4%8Delik) (dostupno na dan 11.2.2021)
- [6] <https://ctitesla.com/elektrolucno-zavarivanje/> (dostupno na dan 11.2.2021)
- [7] <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+ISO+148-1%3A2016> (dostupno na dan 12.02.2021)
- [8] <https://www.iso.org/standard/37151.html> (dostupno na dan 12.02.2021)
- [9] <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+ISO+7500-1%3A2018> (dostupno na dan 12.02.2021)
- [10] <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00253359.1927.10655436?journalCode=rmir20> (dostupno na dan 12.02.2021)
- [11] <https://pilotfits.com/products-pilotfits/boat-anchors/stockless-anchor/> (dostupno na dan 12.02.2021)
- [12] <https://pilotfits.com/products-pilotfits/boat-anchors/hhp-anchors/> (dostupno na dan 12.02.2021)
- [13] IACS No. 69 – Guidelines for non-destructive testing of marine steel castings