

ANALIZA DEFINIRANJA ZAVARENIH SPOJEVA U GRADNJI BRODA

Vuković, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:107648>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-22**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij brodogradnje

Završni rad

**ANALIZA DEFINIRANJA ZAVARENIH SPOJEVA U GRADNJI
BRODA/ SHIPBUILDING WELDING DESIGN**

Rijeka, siječanj 2024.

Vuković Luka

0069088678

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij brodogradnje

Završni rad

**ANALIZA DEFINIRANJA ZAVARENIH SPOJEVA U GRADNJI
BRODA/ SHIPBUILDING WELDING DESIGN**

Mentor: Prof. dr. sc. Marko Hadjina

Rijeka, siječanj 2024.

Vuković Luka

0069088678

Rijeka, 9. ožujka 2023.

Grana: **2.02.04 tehnologija gradnje i održavanje plovnih i pučinskih objekata**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Luka Vuković (0069088678)**
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij brodogradnje

Zadatak: **ANALIZA DEFINIRANJA ZAVARENIH SPOJEVA U GRADNJI
BRODA/SHIPBUILDING WELDING DESIGN**

Opis zadatka:

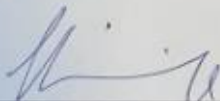
Uvodno analizirati i opisati postupke zavarivanja u brodogradnji. Opisati pripremu elemenata strukture broda za zavarivanje sa posebnim osvrtom na definiranje istoga u specijaliziranim brodograđevnim softverima. Analizirati i objasniti zahtjeve za definiranje zavarenih spojeva prema relevantnim propisima. Objasniti sadržaj knjige zavarivanja za odabrani brod. Rad popratiti relevantnom dokumentacijom. Rad izrađen u suradnji sa tvrtkom MarDesign Rijeka.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Vuković Luka

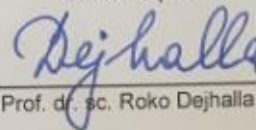
Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:



Prof. dr. sc. Marko Hadjina

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Prof. dr. sc. Roko Dejhalla

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI RADA

Sukladno članku 9. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu na preddiplomskom sveučilištu Tehničkog fakulteta, Sveučilište u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio Završni rad. Naslova teme : „ Analiza definiranja zavarenih spojeva u gradnji broda “ u razdoblju od 6. ožujka 2023 godine, do 18. siječnja 2024 godine.

Rijeka, siječanj 2024.

Vuković Luka

0069088678

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se svome mentoru prof. dr. sc. Marku Hadjini na dostupnosti, usmjeravanju, korisnim savjetima, vodstvu i pomoći pri izradi svog završnog rada.

Posebnu zahvalu upućujem tvrtki „MarDesign“ Rijeka, na nesebičnom dijeljenju informacija i korisnim podacima bez kojih ovaj rad ne bio cjelovit.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima i sestri, što su mi omogućili studiranje u Republici Hrvatskoj, pružili podršku u dobrim i lošim trenucima, te imali strpljenja i razumijevanja tijekom cjelokupnog mojeg studiranja.

Zahvaljujem se svojim prijateljima bez kojih provedeno vrijeme na fakultetu i u gradu Rijeci, ne bih mogao zamisliti te na pruženoj podršci i pomoći tijekom studiranja.

SADRŽAJ

UVOD	3
1. ZAVARIVANJE U BRODOGRADNJI	4
1.1 Općenito o zavaru	4
1.2 Zona utjecaja topline (ZUT)	5
1.3 Žlijeb.....	7
1.4 Zavareni spoj (šav)	9
2. PRIPREMA SPOJA ZA ZAVARIVANJE I PROCJENA ZAVARLJIVOSTI ČELIKA	12
2.1 Priprema spoja za zavarivanje	12
2.2 Procjena zavarljivosti čelika	14
3. POSTUPCI ZAVARIVANJA U BRODOGRADNJI.....	16
3.1 Zavarivanje električnim lukom.....	16
3.2 Ručno elektrolučno zavarivanje (REL)	20
3.3 Elektrolučno zavarivanje pod praškom (EPP).....	23
3.4 Elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti inertnog plina (MIG/MAG)	26
4. OZNAČAVANJE ZAVARENIH SPOJEVA U BRODOGRADNJI.....	30
5. OSNOVNI TIPOVI SPOJEVA U ZAVARIVAČKOJ PRAKSI	33
5.1 Sučeljni spoj.....	34
5.2 Preklopni spoj	34
5.3 Kutni spoj.....	35
5.4 Križni spoj	35
5.5 Kutni rubni spoj	36
5.6 Prirubni spoj.....	36
6. PRIKAZ SPOJEVA, DEFINICIJA I OZNAKE.....	37
7. METODE KONTROLE ZAVARIVANJA	42
7.1 Kontrola zavarenih spojeva bez razaranja	43
7.2 Kontrola zavarenih spojeva sa razaranjem	49
8. ANALIZA I ZAHTJEVI ZA DEFINIRANJE ZAVARENIH SPOJEVA	51
8.1 Dizajn zavarenog spoja prema DNV-u.....	51
8.2 Dizajniranje kutnih i sučeljnih spojeva prema DNV-u.....	53
8.3 Dimenzije kutnog zavara prema DNV-u	55
8.4 Dimenzije sučeljnog zavara prema DNV-u	57
8.5 Kontinuirani kutni zavari.....	59

8.6	Isprekidani zavari.....	59
8.7	Djelomično i potpuno provareni spoj	60
8.8	Mjesta na kojima je potrebna potpuna provarljivost	61
9.	KNJIGA ZAVARIVANJA („WELDING BOOKLET“)	63
9.1	Standard brodogradilišta.....	65
9.2	Primjena i tumačenje simbola i oznaka iz standarda brodogradilišta.....	70
10.	IACS (Međunarodno Udruženje Klasifikacijskih Društava)	73
11.	ZAKLJUČAK	75
12.	LITERATURA.....	76
13.	POPIS OZNAKA I KARTICA	77
14.	POPIS SLIKA	78
15.	POPIS TABLICA.....	81
16.	SAŽETAK.....	82
17.	SUMMARY	83

UVOD

U domeni brodogradnje, zavarivanje predstavlja ključni aspekt izrade brodova, igrajući presudnu ulogu u postizanju strukturne čvrstoće i pouzdanosti plovila. Ovaj uvod temeljit će se na analizi i opisu zavarivanja u brodogradnji, pri čemu će poseban naglasak biti stavljen na definiciju zavarivanja pomoću specijaliziranih brodograđevnih softvera.

Kroz ovo istraživanje, razmotrit ćemo kako su softverski alati postali ključni u procesu zavarivanja, omogućavajući preciznije definiranje zavarenih spojeva te unapređenje efikasnosti i kvalitete u brodogradnji.

Paralelno s tim, analizirat ćemo i objasniti zahtjeve za definiranjem zavarenih spojeva sukladno relevantnim propisima. Norme i standardi igraju ključnu ulogu u osiguravanju sigurnosti i kvalitete u brodogradnji, stoga ćemo detaljno razmotriti kako se ovi zahtjevi odražavaju na procese zavarivanja.

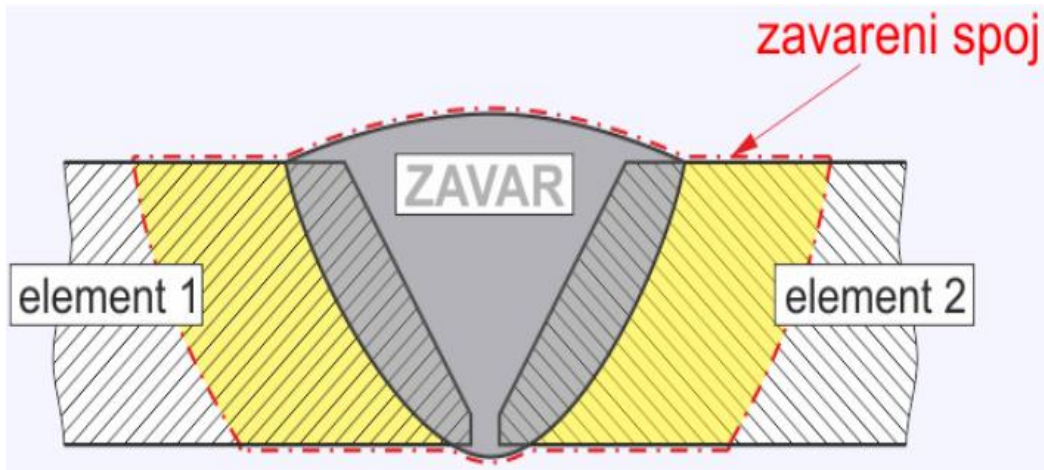
U nastavku, bit će razjašnjen sadržaj knjige zavarivanja (Welding Booklet) za odabrani tip broda – Bulk, prema DNV registru brodova (Chapter 13 Welding). Detaljan uvid u registru (DNV-a), omogućit će nam razumijevanje posebnosti i specifičnosti zavarivanja u kontekstu izgradnje Bulk-a, istražujući pritom kako se zadovoljavaju posebni uvjeti za ovaj tip plovila.

Posebno je važno naglasiti da će ovaj rad biti izrađen u suradnji s tvrtkom „MarDesign“ Rijeka, što će omogućiti pristup relevantnim informacijama, praksama i iskustvima iz stvarnog inženjerskog okruženja. Kroz ovu suradnju, očekujemo pridonos koji će nadmašiti teorijski okvir, donoseći praktična saznanja i perspektive koja proizlaze iz stvarnih izazova u brodogradnji. Slijedeći ove smjernice, analiza zavarivanja u brodogradnji će pružiti sveobuhvatan uvid u ovu ključnu fazu gradnje brodova, istražujući kako inovacije, softverski alati i suradnja s stručnjacima doprinose unapređenju kvaliteta i sigurnosti u brodograđevnoj industriji.

1. ZAVARIVANJE U BRODOGRADNJI

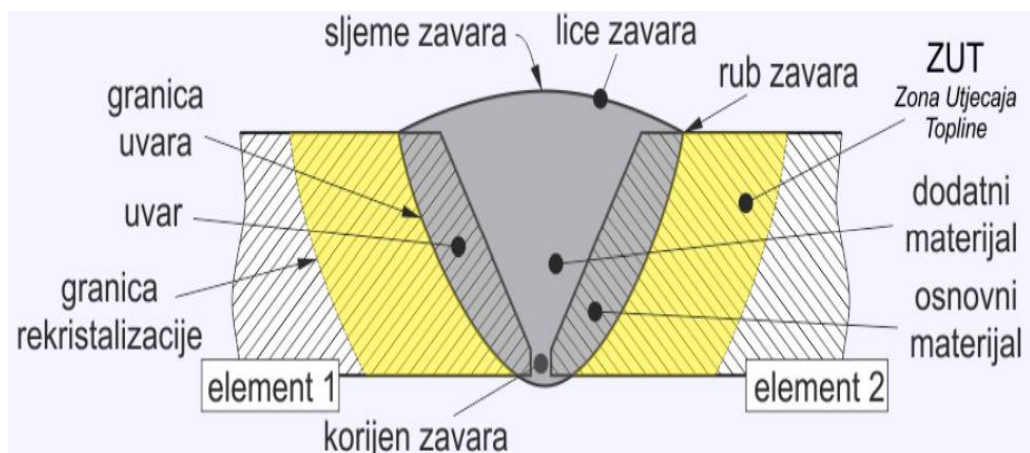
1.1 Općenito o zavaru

Zavarivanje je tehnološki proces spajanja materijala (zavar), često metala, topljenjem ili pritiskom. Postupak obično uključuje dodatni materijal (poput elektrode ili žice za zavarivanje) koji se koristi za popunjavanje spoja između dva materijala, [1].



Slika 1.1. 1: Zavar i zavareni spoj između elemenata 1 i 2

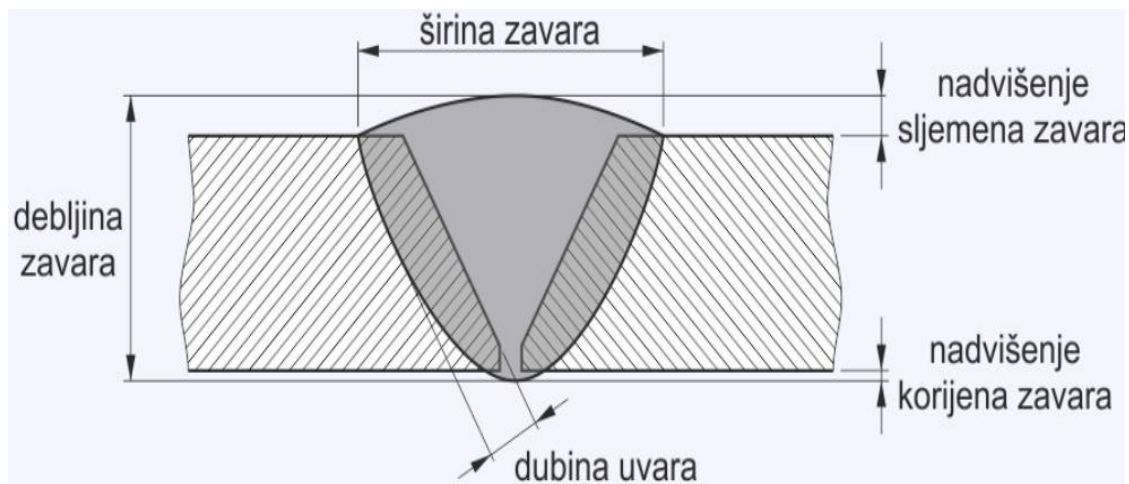
Spojeni elementi uključuju sam zavar i dijelove koji su spojeni, a to obuhvaća područje utjecaja topline (ZUT) smješteno neposredno uz zavar, [1].



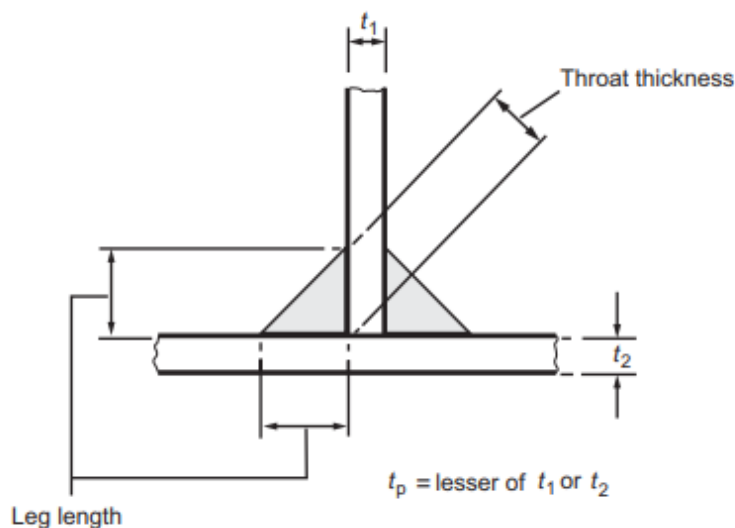
Slika 1.1. 2: Dijelovi zavarenog spoja

Osnovni materijal predstavlja materijal od kojeg je sastavljen element. Dodatni materijal, s druge strane, je onaj koji se unosi tijekom procesa zavarivanja. Uvar označava područje elementa koje je obuhvaćeno procesom taljenja. Masa zavara jednaka je zbroju mase uvara i dodatnog materijala, [1].

ZUT (Zona Utjecaja Topline) predstavlja područje tijekom zavarivanja gdje se odvijaju fazne promjene. Zavareni element opisuje element koji je spojen zavarivanjem, [1].



Slika 1.1. 3: Osnovne dimenzije zavara

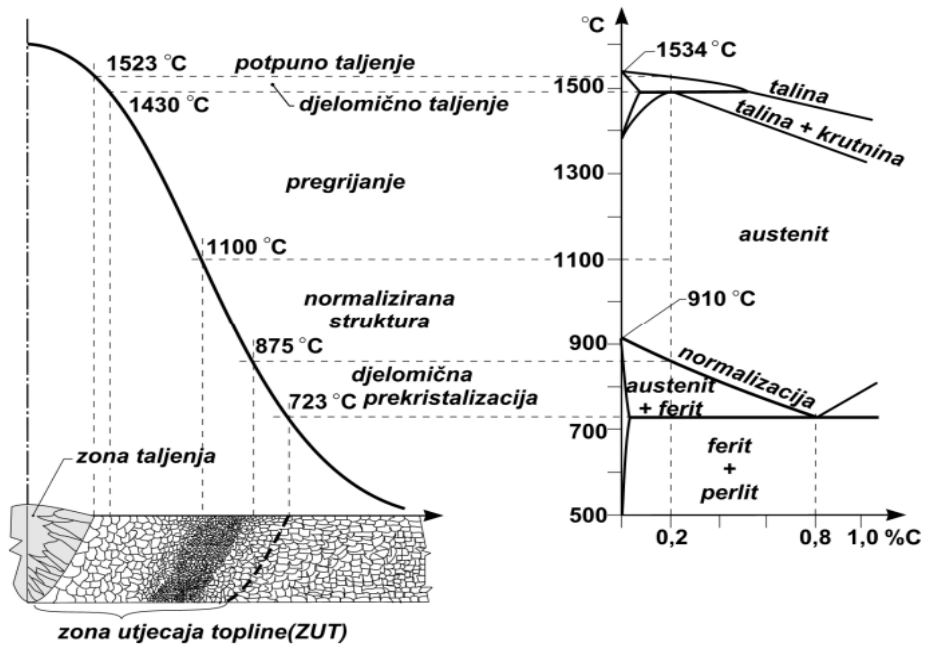


Slika 1.1. 4 Dimenzije zavara prema Lloyd registru

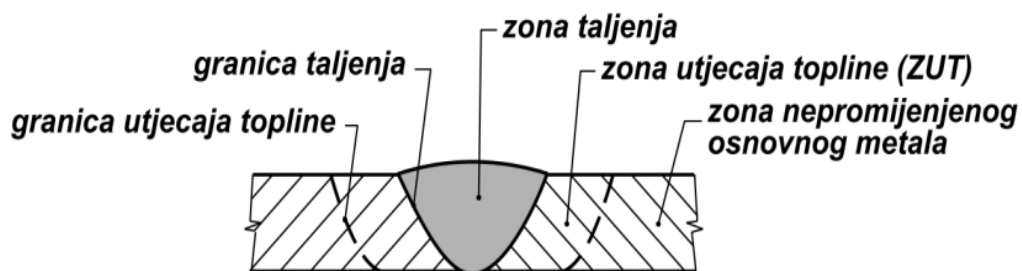
1.2 Zona utjecaja topline (ZUT)

Zona utjecaja topline (ZUT) obuhvaća rubne dijelove osnovnog metala izvan granica taljenja. U ovoj zoni, zbog povišenih temperatura, događaju se značajne strukturne promjene u osnovnom metalu, što rezultira promjenama u mehaničkim i drugim karakteristikama zavarenog spoja, [1].

U procesu zavarivanja čelika, Zona utjecaja topline (ZUT) obuhvaća područje postizanja temperatura u rasponu od 723°C do 1523°C, gdje dolazi do izraženijih strukturnih promjena, [1]



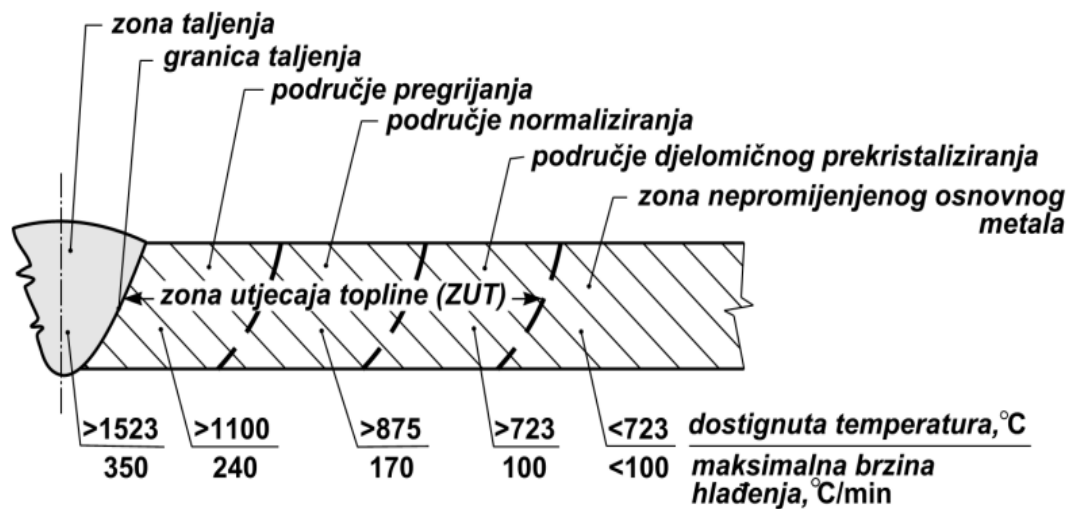
Slika 1.2. 1: Prikaz metaluške strukture zavarenog spoja ugljičnog čelika s približno 0.2% C



Slika 1.2. 2: Struktura zavarenog spoja

Unutar cijele zone utjecaja topline javljaju se različite metalurške promjene. Na temelju njihovih osobitosti, mogu se klasificirati u sljedeća karakteristična područja, [1]:

- Područje pregrijavanja, smješteno izravno uz granicu taljenja, obilježava se uglavnom krupnim zrnima, što rezultira smanjenom elastičnošću i udarnom žilavošću metala.
- Područje normalizacije ili žarenja karakterizira sitnija zrna i poboljšana mehanička svojstva zavarenog čelika.
- Područje djelomičnog prekrystaliziranja može izazvati pojavu vrlo tvrdih mjesta i pogoršanje mehaničkih svojstava.



Slika 1.2. 3: Zona utjecaja topline (ZUT)

1.3 Žlijeb

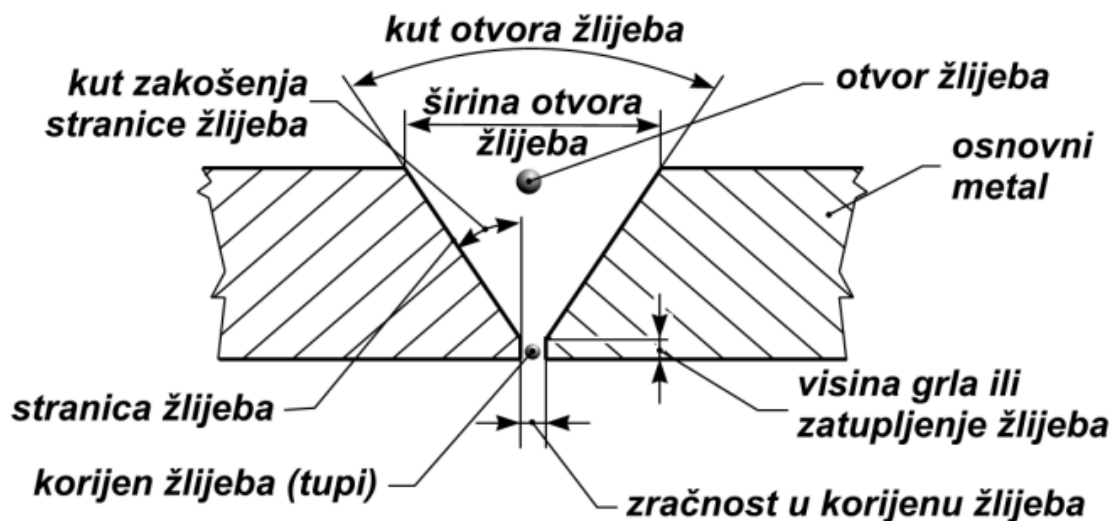
Oblikovanje žlijeba uključuje obrađene ili neobrađene rubne dijelove osnovnog metala, obično na mjestu pripremljenom za njihovo spajanje ili izvođenje zavarivanja, [1].

Dakle, imamo različite oblike i dimenzije žlijebova koje se mogu u praksi primjeniti, a o tome koji će se koristiti ovisi o elementu koji se zavaruje, ovisi o debljini elemenata kojeg treba zavariti, primijenjenom postupku zavarivanja, položaju zavarivanja, te vrsti i namjeni spoja. Iako se susreće više različitih oblika žlijebova u praksi, gotovo svi imaju zajedničke elemente, [1].

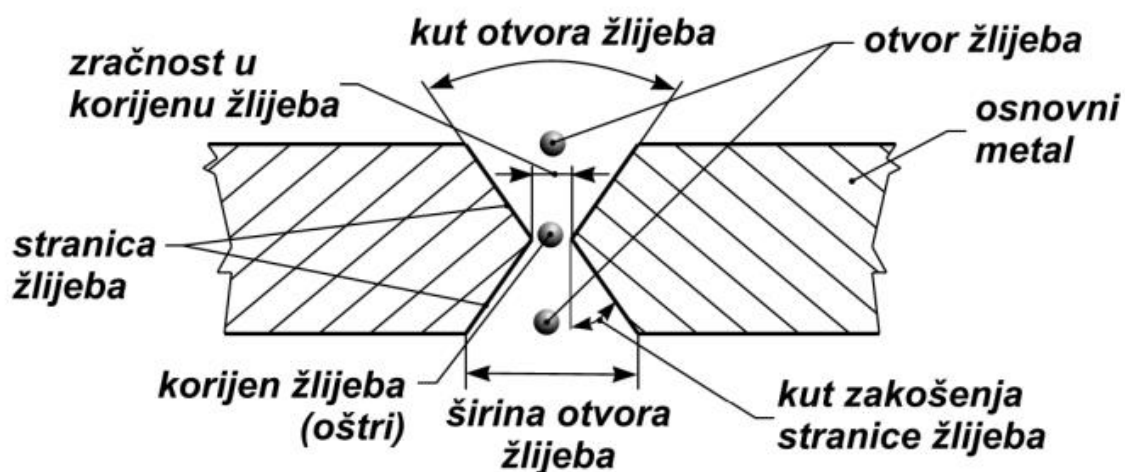
Priprema zavarenih spojeva ovisi o korištenom procesu zavarivanja. Oblikovanje spojeva predstavlja sveobuhvatnu pripremu za zavarivanje, a oblik spoja obično se određuje prema ISO-normama ili prema nekom brodograđevnom standardu (tj. brodogradilište koje gradi brod), prateći planirani postupak, [1].

U brodogradnji su najčešće korišteni sučeoni i kutni spojevi. Sučeoni spojevi primjenjuju se prilikom spajanja limova, profila i cijevi. Često se koristi sučeoni spoj s "V" oblikom žlijeba za zavarivanje. Ovaj oblik žlijeba stvara potpuno prodiranje bridova, omogućujući potpuno spajanje nakon zavarivanja. Postoje različite varijacije oblika žlijeba, s ciljem minimiziranja potrebnog dodatnog materijala. Priprema žlijeba može se izvesti mehaničkom obradom ili rezanjem pomoću različitih postupaka, [1].

U praksi, su najčešće prisutna dva tipa rezanja, dakle, ali i to ovisi od brodogradilišta do brodogradilišta (rezanje plinskim plamenom, ali i drugi kao što su postupci rezanja plazmatskim lukom, laserskim snopom te elektro-lučno rezanje ugljenom ili šupljom čeličnom elektrodom uz upotrebu stlačenog zraka). Ovisno o zahtjevima, priprema žlijeba za zavarivanje se izvodi ručno ili strojno (obično je to strojno, točnije i brže), [1].



Slika 1.3. 1: Elementi "V" žlijeba



Slika 1.3. 2 Elementi "X" žlijeba

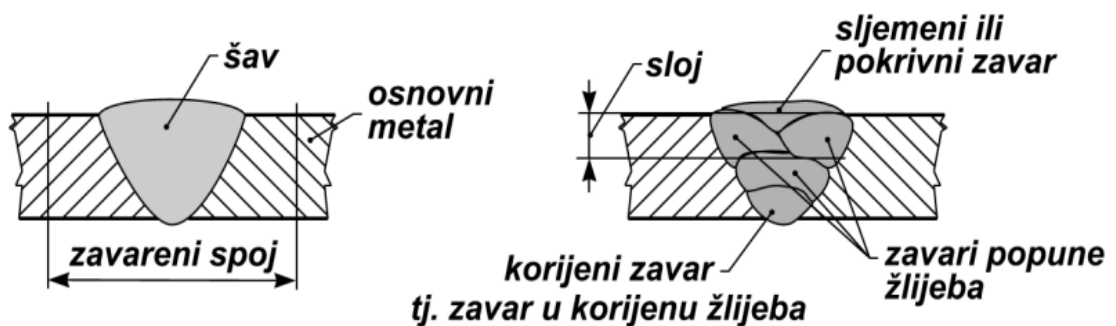
naziv	izgled žlijeba	izgled šava	naziv	izgled žlijeba	izgled šava
rubni			U		
I			J		
V			X		
HV			K		
Y			duplo U		

Slika 1.3. 3: Oblici najčešće korištenih žlijebova i odgovarajućih šavova

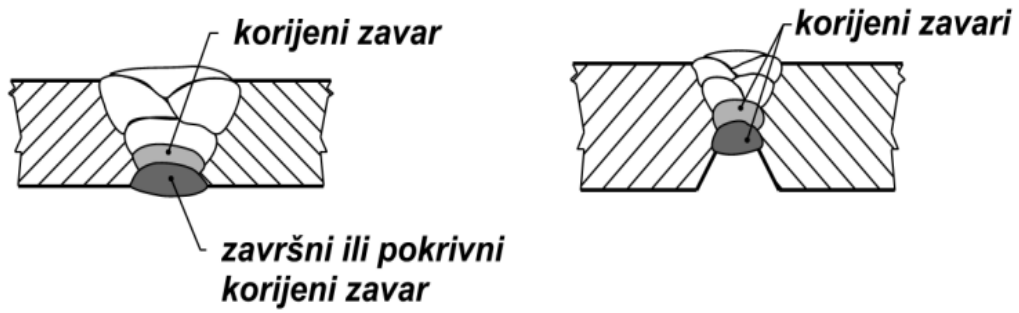
1.4 Zavareni spoj (šav)

Zavareni spoj ili šav predstavlja integralnu cjelinu koja nastaje postupkom zavarivanja, obuhvaćajući skrtnuti dio metala iz šava formiranog taljenjem, te rubne dijelove zavarenih komada, [1].

Šav je segment zavarenog spoja koji nastaje taljenjem osnovnog metala ili kombiniranim taljenjem osnovnog metala i dodatnog materijala u jednom ili više prolaza. Zavar je specifični dio šava koji se formira u jednom prolazu zavarivanja. Sloj čini jedan ili više zavara unutar određenog dijela šava. Korijeni zavara predstavljaju zavar smješten u korijenu žlijeba. Završni ili pokrivni zavar se polaže nakon korijenog zavara i koristi se za ispunjavanje žlijeba te oblikovanje konačnog šava. Sljemeni ili pokrivni zavar je posljednji zavar u šavu na strani otvora žlijeba. U šavu koji se sastoji od više zavara razlikuju se korijeni zavara, zavari popune žlijeba, sljemeni ili pokrivni zavar, te ponekad i završni ili pokrivni korijeni zavara, [1].

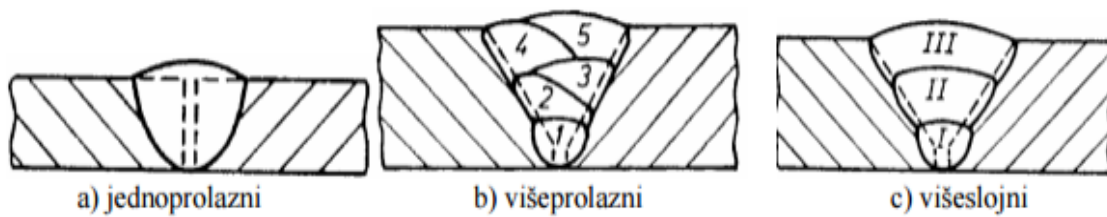


Slika 1.4. 1: Osnovni dijelovi šava

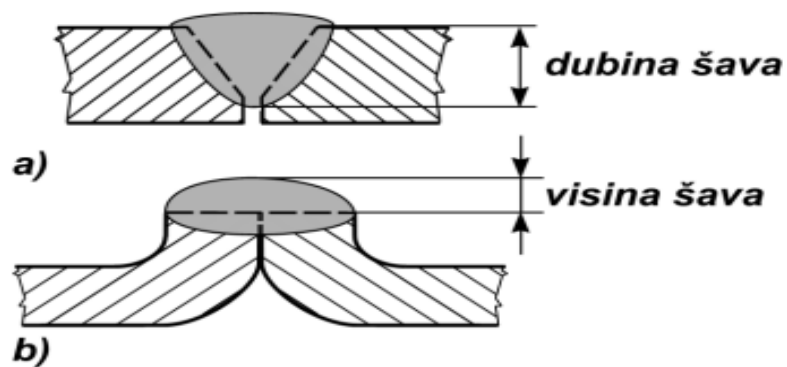


Slika 1.4. 2: Korijeni i završeni zavar

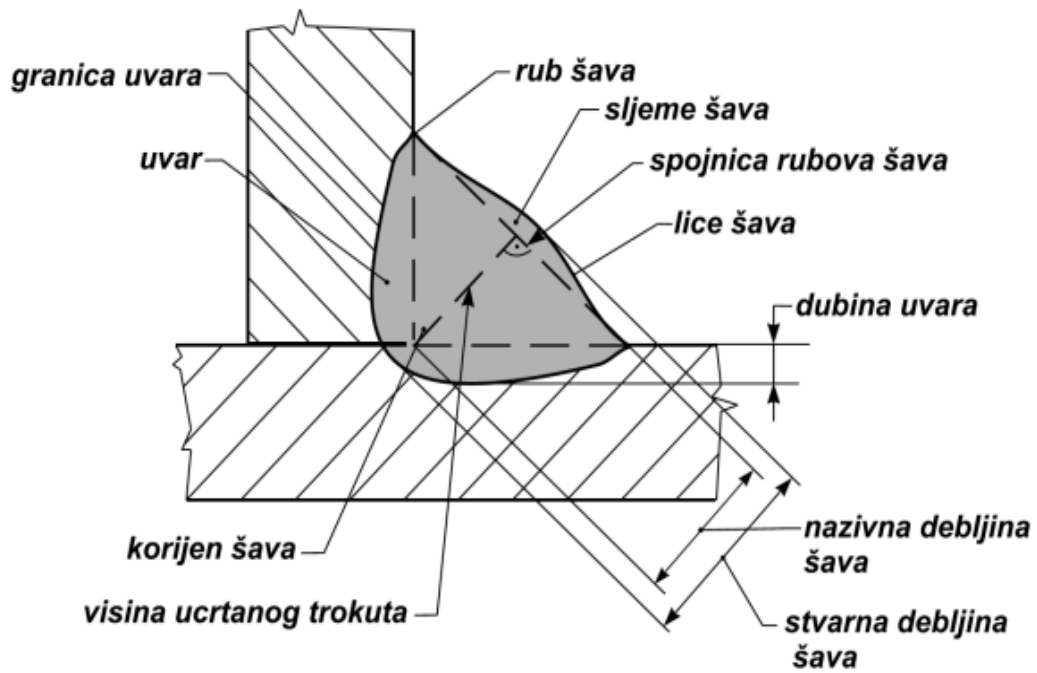
Zavarivanje više slojeva naziva se višeslojnim zavarivanjem. Svaki pojedinačni sloj može biti formiran kroz jedan ili više prolaza ili gusjenica, kao što je prikazano na slici 1.4.3.



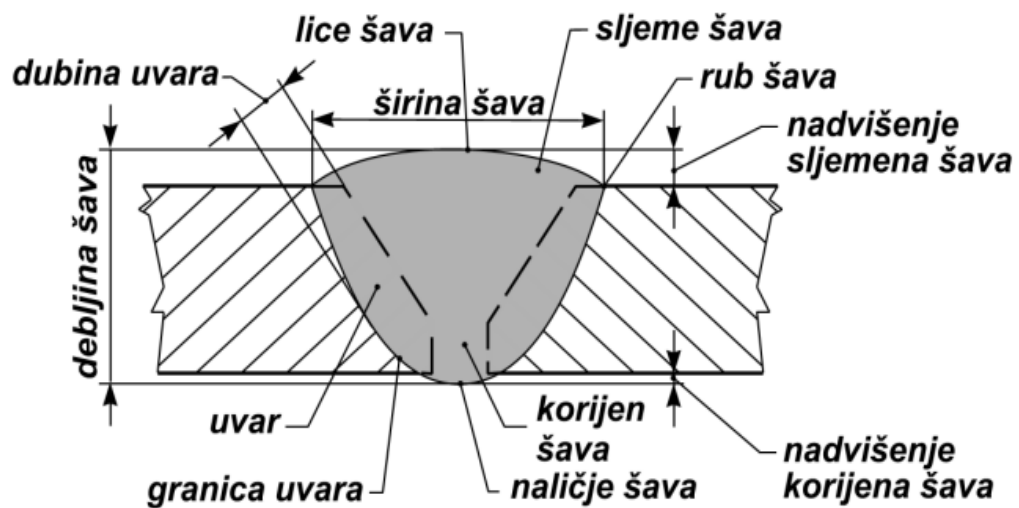
Slika 1.4. 3: Primjer višeslojnog zavarivanja



Slika 1.4. 4: Dubina i visina šava



Slika 1.4. 6: Elementi šava kutnog spoja



Slika 1.4. 5: Element šava sučelnog spoja

2. PRIPREMA SPOJA ZA ZAVARIVANJE I PROCJENA ZAVARLJIVOSTI ČELIKA

2.1 Priprema spoja za zavarivanje

Priprema žlijeba za zavarivanje se izvodi uglavnom termičkim rezanjem i strojnom obradom. Površine žlijeba moraju biti besprijekorne, bez nečistoća i grešaka. Posebna pažnja mora se posvetiti obliku spoja i zračnosti u korijenu zavara. Eventualno smanjenje zračnosti provodi se dodavanjem materijala na stranice spoja. Dijelovi koji se spajaju sučeoničnim spojem moraju biti poravnati što preciznije. Svako oštećenje uzrokovano njihovim uklanjanjem mora biti stručno popravljeno, nakon što je utvrđeno da je zavar ne kvalitetan a to utvrđujemo putem kontrole zavarivanja, [2],[3].

Mjesta koja se spajaju trebaju biti zaštićena od atmosferskih utjecaja i gdje je potrebno moraju se predgrijati. Ova praksa se posebno utvrđuje uzimajući u obzir kemijski sastav, debljinu, smjerove odvođenja topline i okolne temperature. U slučaju vanjskih temperatura ispod +5 °C, potrebno je poduzeti dodatne radnje. Tamo gdje je moguće, zavarivački radovi se ne bi smjeli izvoditi ispod -10 °C. Zavarivanje se u pravilu izvodi u optimalnom položaju, uz osiguravanje redoslijeda zavarivanja koji minimizira zaostala naprezanja i deformacije, [2],[3].

Nije dopušteno zavarivanje preko puknutih zavara. Umjesto toga, puknute zavare treba ukloniti prije novog zavarivanja. Zavari moraju imati čistu i pravilnu površinu s blagim prijelazom na osnovni materijal, [2],[3].

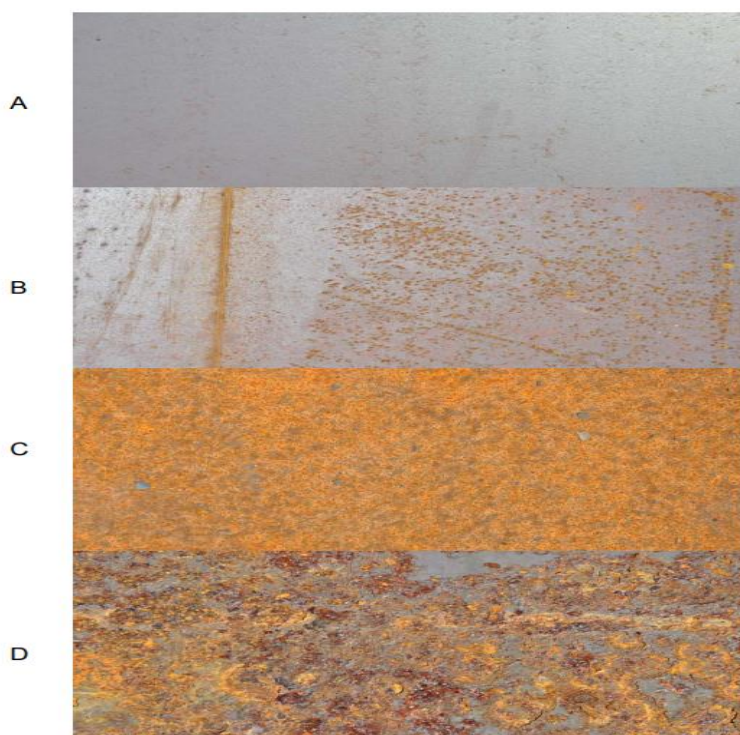
Tijekom izvedbe, važno je uzeti u obzir pristupačnost zavarenom spoju, položaj zavarivanja i redoslijed zavarivanja. Posebna pažnja mora se posvetiti obliku zavarenog spoja i redoslijedu zavarivanja kako bi se izbjegla značajna zaostala naprezanja koja mogu uzrokovati kasnije deformacije, [2],[3].

Priprema površine prije zavarivanja ima ključnu ulogu u postizanju optimalnog vijeka trajanja zavara. Dobra zaštita zahtijeva temeljitu predobradu metalne površine prije samog zavarivanja limova. Ova predobrada uključuje uklanjanje hrđe, okujine, vlage, prašine, boje i svega ostalog što bi moglo ometati stvaranje kvalitetnog zavara između dviju površina, [2],[3].

Za čišćenje površina koriste se različite metode. Najčešća metoda je mlazom abraziva kojom se obično koristeći kremenim pijesak, zrnca elektrokorunda, čelične sačme, sječene hladno vučene čelične žice, lom tvrdog lijeva, staklene perle, i slično dobro očiste i pripreme površine za zavarivanje. Mlaz se obično generira komprimiranim zrakom, a pjeskarenje se može izvesti i mlazom vodene emulzije. Za ocjenu stanja površine koristi se vizualni standard ISO 8503. Stupanj površinske hrapavosti prilagođava se zahtjevima premaza, [2],[3].

Izgled površine čeličnih limova pristiglih u brodogradilište definira se standardom ISO 8501-1 u četiri kategorije, a kategorije A, B, C i D, prikazane na slici 2.1.1, [2],[3]:

- **A** – Površina je kompletno pokrivena s okujinom i korozijom u malim količinama. Ova kategorija ukazuje na prisutnost minimalne količine korozije i okujine.
- **B** – Površina je počela korodirati, a okujina se počela odvajati. To označava veći stupanj korozije i odvajanje okujine, ali još uvijek nije u ozbiljnom stanju.
- **C** – Okujina se odvojila, a površina je prekrivena korozijom, pri čemu je vidljiva rupičasta korozija u malim količinama. Ova kategorija ukazuje na ozbiljnije stanje korozije.
- **D** – Okujina se odvojila, površina je prekrivena korozijom, a vidljiva je rupičasta korozija po cijeloj površini. Ova kategorija označava najviši stupanj korozije i oštećenja. U brodogradilištima, na novogradnjama se smiju koristiti samo limovi kvalitete A i B, što znači da se preferiraju površine s manje vidljive korozije i odvajanja okujine.



Slika 2.1. 1: Izgled limova A, B, C i D kategorije prema standardu ISO 8501-1, [11]

2.2 Procjena zavarljivosti čelika

Na zavarljivost čelika najviše utječe sadržaj ugljika, tzv. ekvivalent ugljika Ce, [1].

Bolje zavarljivi čelici < 0,24% C. < Potrebne posebne mjere kao npr. predgrijavanje, dogrijavanje, i sl.

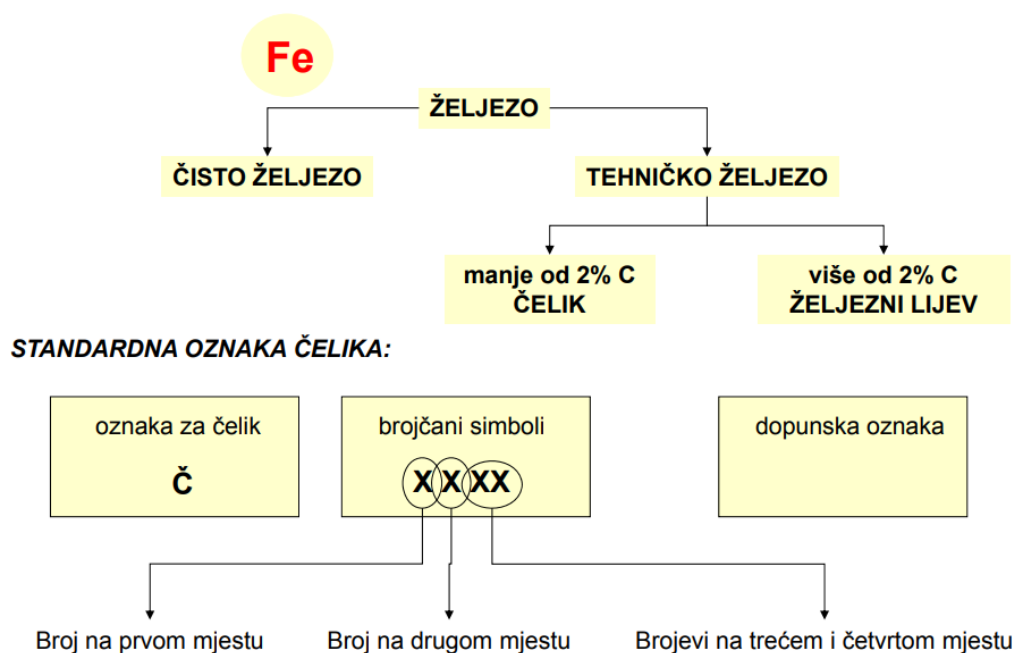
Sve bi čelike mogli grubo razvrstati među:

Dobro zavarljivi: Č 1216

Ograničeno zavarljivi: Č 0216, Č 0363, Č 0362, Č 0361,
Č 0461, Č 0471, Č 0483, Č 0482, Č 0481,
Č 0563, Č 0562, Č 0561.

Loše zavarljivi: Č 0000, Č 0460, Č 0545, Č 0645, Č 0745,

Dodavanjem ugljika čeliku značajno se poboljšavaju mehanička svojstva, ali istovremeno se smanjuje njegova što negativno utječe na zavarljivost. Debljina zavarivanih dijelova također utječe na zavarljivost ugljičnih i niskolegiranih čelika. Što su dijelovi deblji, toplina se brže odvodi u okolne zone zavarivanog spoja, što rezultira povećanom brzinom hlađenja i povećava mogućnost pojave pukotina, [1].



Slika 2.2. 1: Procjena zavarljivosti na temelju oznake čelika

Tablica 1: Procjena zavarljivosti na temelju oznake čelika, [1]

Broj na prvom mjestu	Broj na drugom mjestu		Brojevi na trećem i četvrtom mjestu		
0 = nema garantirani kemijski sastav	0	=	bez utvrđenih mehaničkih svojstava	0 do 44	čelici s negarantiranom čistoćom
	1	=	do 330 N/mm ²		
	2	=	340 do 360 N/mm ²	45 do 89	čelici s garantiranim sadržajem nekog elementa
	3	=	370 do 390 N/mm ²		
	4	=	400 do 490 N/mm ²		
	5	=	500 do 590 N/mm ²		
	6	=	600 do 690 N/mm ²	90 do 99	slobodno
7	=	700 N/mm ² i više			

Broj na prvom mjestu	Broj na drugom mjestu		Brojevi na trećem i četvrtom mjestu		
1 = propisan sastav ugljika	npr. 3 za 0,28% C, tj. koristi se približno deseterostruka vrijednost		0 do 19	čelici koji nisu namijenjeni za toplinsku obradu	
Označava najutjecajniiji element	2	Si	Unosi se brojčani simbol za drugi najutjecajniiji legirajući element	20 do 29	čelici za cementiranje
	3	Mn		30 do 39	čelici za poboljšanje
	4	Cr		40 do 49	ugljični i niskolegirani čelici za alate
	5	Ni		50 do 59	Visokolegirani čelici za alate
	6	W			
	7	V		60 do 69	čelici s posebnim fizikalnim svojstvima
	8	Mo			
	9	ostalo			
Brojčani simboli mogu se zamijeniti bojom:			70 do 79	čelici otporni na kemikalije i visoke temperature	
0	crna	5			zeleno
1	bijela	6			plava
2	crvena	7			ljubičasta
3	narančasta	8			smeđa
4	žuta	9			siva
			80 do 89	slobodno	
			90 do 99	čelici za automate i ostali čelici	

Procjena zavarljivosti na temelju oznake čelika.

Č 0000: *nema garantirani kemijski sastav, nema garantirana mehanička svojstva, nema garantiranu čistoću, pa se ne može dati nikakva procjena zavarljivosti najbolje je takav čelik isključiti iz svakog oblika zavarenih konstrukcija.*

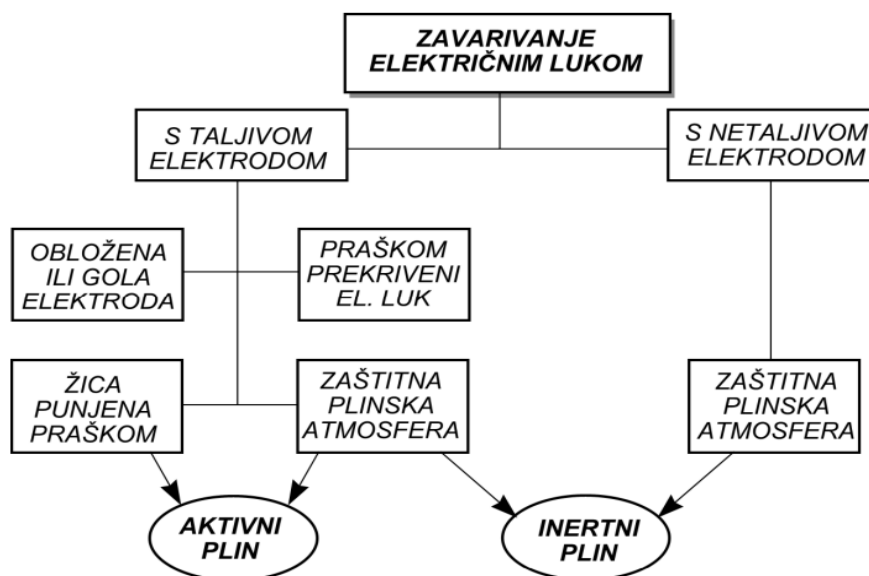
Č 0363: *vlačna čvrstoća je 370 do 390 N/mm², nema garantirani kemijski sastav, nije prihvatljiv prema zahtjevima Hrvatskog registra brodova, zbog niske vlačne čvrstoće i, stoga, vjerojatno male količine ugljika ne mora biti loše zavarljiv.*

3. POSTUPCI ZAVARIVANJA U BRODOGRADNJI

U brodogradnji poznati i najviše se koriste sljedeći postupci zavarivanja električnim lukom, ručno elektrolučno zavarivanje (REL), elektrolučno zavarivanje pod praškom (EPP) i elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina (MIG/MAG).

3.1 Zavarivanje električnim lukom

Zavarivanje električnim lukom, ili elektrolučno zavarivanje, predstavlja najrašireniji skup postupaka zavarivanja taljenjem. U ovom procesu, električna energija koristi se kao izvor topline za lokalno taljenje i spajanje metala, pretvarajući se u toplinsku energiju unutar električnog luka. Postupak koji se danas najviše koristi u brodogradnji. Osnovna podjela ovog procesa svodi se na postupke elektrolučnog zavarivanja s taljivom i s netaljivom elektrodom, [4].



Slika 3.1. 1: Zavarivanje električnim lukom s taljivom/netaljivom elektrodom

Električni luk u postupku elektrolučnog zavarivanja topi mjesto spajanja i samu elektrodu. Brza krutnja taline nastaje kako se luk pomakne duž zavara. Atmosfera električnog luka sastoji se od djelomično ioniziranih plinova, koji se kroz luk prelijevaju u kapljice troske. Električni luk je osjetljiv na strujanja zraka i magnetska polja, jer djeluje kao plinoviti električni vodič, [4].

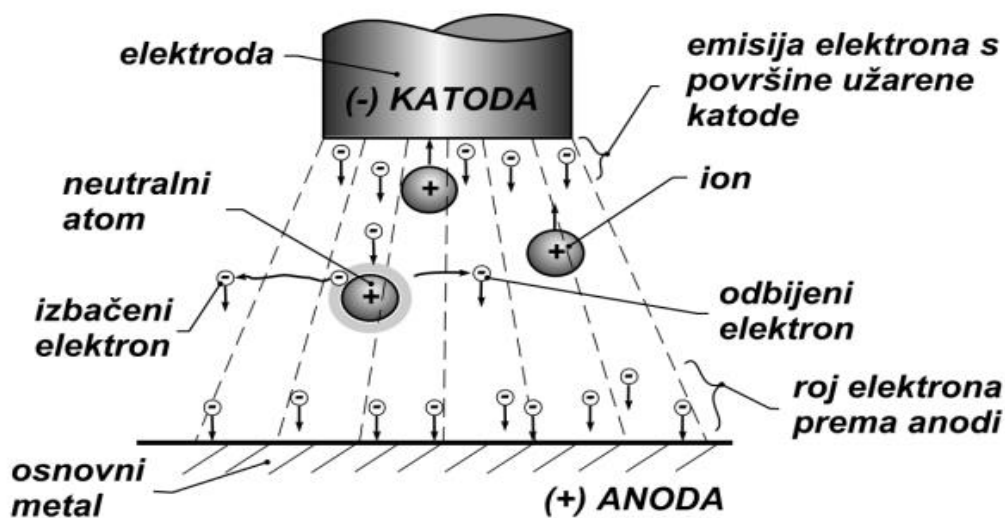
Uspostavljanje luka obično se postiže kratkim spojem između elektrode i zavarivanog metala. Na mjestu kratkog spoja, prolazi struja velike jakosti koja rastapa dodirno mjesto i zagrijava formirani rastaljeni mostić, [4].

Rastaljeni mostić eksplozivno isparava uslijed pregrijavanja, a metalne pare obogaćuju atmosferu metalnim ionima, [4].

Luk izmjenične struje (AC) smatra se najstabilnijim jer se pali i gasi s frekvencijom mreže. Međutim, magnetsko polje nepovoljno utječe na luk istosmjerne struje (DC). Fizikalne pojave u zavarivačkom luku su složene, ali se mogu pojednostaviti. Negativna elektroda (katoda) emitira elektrone u luk. U tankom sloju uz katodu postoji pad napona, a gradijent električnog polja je veoma visok. Ako se u tom sloju nalaze tvari s niskim potencijalom ionizacije, luk će biti stabilniji. Metali, poput kalija, natrija i litija, imaju nizak napon ionizacije, dok plinovi, poput argona i helija, imaju visok napon, [4].

Visoke temperature u luku dovode do pobuđivanja atoma i molekula, što rezultira zračenjem u širokom spektru. Luk emitira zračenje od ultraljubičastog do infracrvenog dijela spektra (330 do 7000 nm) i stvara malu količinu ozona u zraku, [4].

Zbog intenzivnog zračenja, luk se mora promatrati kroz odgovarajuća zaštitna zatamnjena stakla, a radnici bi trebali biti prekriveni zaštitnom odjećom kako bi se koža zaštitila od ultraljubičastog zračenja, [4].



Slika 3.1. 2: Katoda/Anoda

Samo jakost struje zavarivanja za određenu vrstu elektrode utječe brzina taljenja. Uži dio luk prodire dublje u materijal, dok širi luk zagrijava šire područje zavara i rezultira plićim zavarom s manje taljenja. Rastaljeni metal elektrode prelazi u zavar u obliku kapljica različitih veličina., [4].

Kapi rastaljenog metala obično su zaštićene od kisika i dušika iz zraka pomoću rastaljene skrame troske koja ih obavija. Također, zaštitni plinovi se mogu koristiti kako bi se uklonio zrak iz atmosfere luka. Unatoč naporima, potpuna eliminacija ulaska zraka u atmosferu luka nije moguća, što može rezultirati odgaranjem dijela legiranih elemenata, posebice onih s visokim afinitetom prema kisiku, [4].

Kod zavarivanja u zatvorenom prostoru, atmosfera je mirna, omogućujući upotrebu bilo kojeg načina zaštite atmosfere luka. S druge strane, kod montažnih radova na otvorenom, kapljice se štite isključivo troskom koji ih obavija, budući da vjetar lako može odnijeti plinsku zaštitu. Ako se postigne dobra zaštita pomoću odgovarajućih šatora i zaslona, moguće je zavarivati i uz plinsku zaštitu, [4].

Osnovni čimbenici, koji se moraju razmotriti prilikom zavarivanja nekim postupkom, [4]:

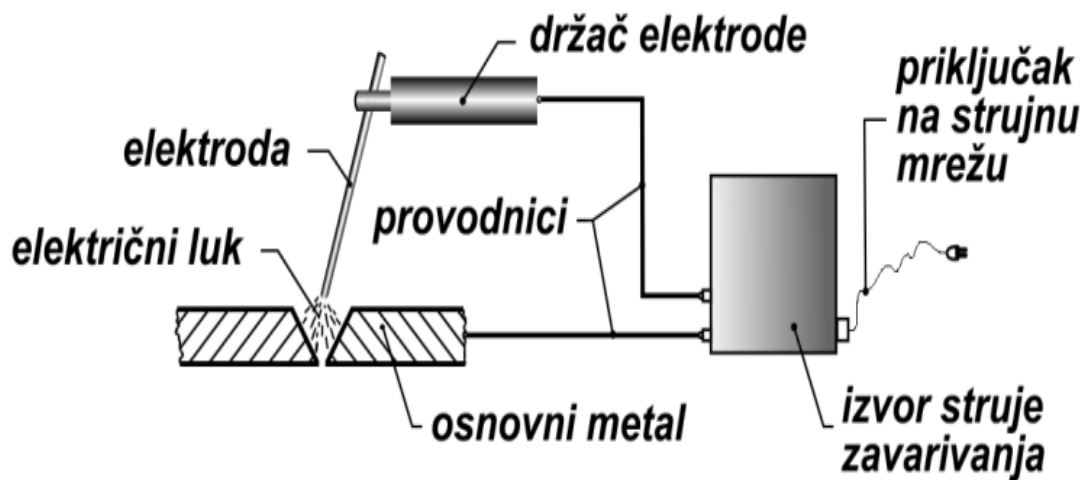
- Vrsta i debljina osnovnog metala,
- Elementi pripreme spoja za zavarivanje,
- Vrsta i promjer elektrode,
- Vrsta, polaritet i jakost struje zavarivanja,
- Dužina odnosno napon električnog luka,
- Brzina napredovanja električnog luka,
- Temperaturna ograničenja i dopustiv unos topline,
- Redoslijed zavarivanja,
- Položaj spoja pri zavarivanju, i
- Zahtijevana kvaliteta i ispitivanja zavarenog spoja.

Iskustva iz prakse pokazuju da su prednosti elektrolučnog zavarivanja slijedeća, [4]:

- izuzetna jednostavnost kako pripreme tako i samog postupka zavarivanja,
- lako premjesta i jednostavna oprema,
- relativno niski troškovi, i
- moguće zavarivanje i u vrlo skućene i ogranićene prostore, te kod otežanog pristupa mjestu zavarivanog spoja.

Za provođenje elektrolučnog zavarivanja potrebna je slijedeća oprema, [4]:

- izvor izmjenićne ili istosmjerne struje,
- elektrićni provodnici za prikljućivanje držaća elektrode i zavarivanog komada, i
- zaštitna odjeća i maska zavarivaća.



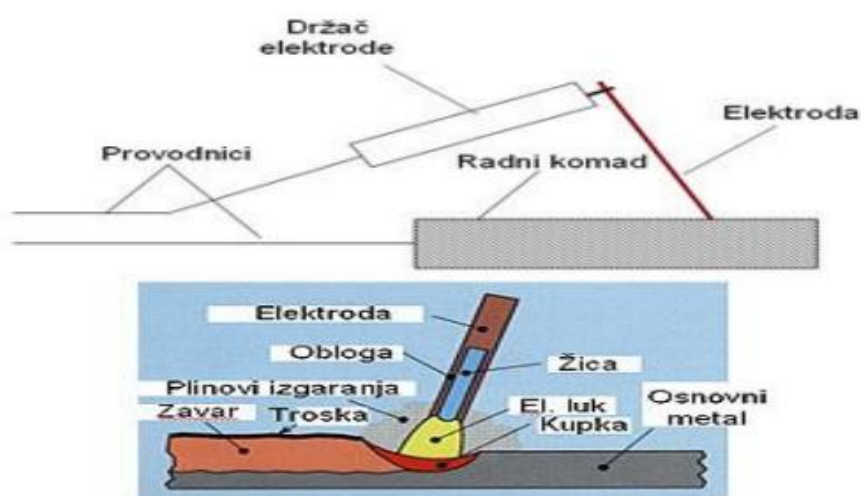
Slika 3.1. 3: Zavarivanje s obloženom ili golom taljivom elektrodom

3.2 Ručno elektrolučno zavarivanje (REL)

Postupak ručnog elektrolučnog zavarivanja (REL) podrazumijeva ručno zavarivanje gdje se električni luk generira između obložene elektrode i metala koji se spaja. Energija koju daje električni luk se prenosi na osnovni material i ta energija ga topi (metal koji se zavaruje) i obloženu elektrodu (dodatni materijal), rezultirajući formiranjem zavarenog spoja, [5].

Princip ručnog elektrolučnog zavarivanja temelji se na stvaranju električnog luka između metalne obložene elektrode koja se topli od osnovnog materijala. Električna energija se dobiva iz transformatora ili ispravljača. U električnom luku, električna energija se pretvara u toplinsku, [5].

Taljenjem jezgre i obloge elektrode generira se odgovarajuća količina rastaljenog materijala, troske i plina. Tekuća troska prekriva metalnu kupku dok kapljice prolaze kroz električni luk, dok dimni plinovi nastali iz komponentata obloge dodatno štite metalne kapljice. Zahvaljujući ovom dvostrukom mehanizmu zaštite, ovaj postupak je izuzetno siguran za zavarivanje, čak i na otvorenom prostoru, [5].



Slika 3.2. 1: REL postupak zavarivanja

Utjecaj zavarivača na kvalitetu zavarenog spoja u ručnom elektrolučnom zavarivanju je vrlo velik. Razlog tome leži u činjenici da veliki broj utjecajnih elemenata i parametara ovisi o vještini i iskustvu samog zavarivača. Stoga je kod ovog postupka od iznimne važnosti posvetiti posebnu pažnju stjecanju znanja i vještina zavarivača kako bi se osigurala visoka kvaliteta zavarenog spoja, [5].

Utjecajni parametri kod ručnog elektrolučnog zavarivanja su, [5]:

1. Jakost struje zavarivanja varira ovisno o različitim faktorima, uključujući tip i promjer elektrode, vrstu spoja, debljinu osnovnog materijala te položaj zavarivanja. Kako povećavamo dimenziju electrode, tako se povećava jakost struje zavarivanja, dakle, potrebna je veća energija (toplina) za taljenje elektrode. Uobičajeno se za elektrode normalnog stupnja iskorištenja koristi jakost struje od otprilike 40 A/mm promjera elektrode.
2. Dužina električnog luka odnosi se na udaljenost između jezgre elektrode i osnovnog materijala te ovisi o vrsti elektrode. Prekomjerno povećanje dužine električnog luka može rezultirati slabijim zagrijavanjem materijala, smanjenom zaštitom rastaljenog metala te povećanim gubicima materijala zbog prskanja. Kratak električni luk dobro zagrijava osnovni materijal i pruža duboki provar.
3. Brzina zavarivanja ovisi o različitim faktorima, uključujući tehniku rada, vrstu i dimenzije spoja, vrstu osnovnog materijala i tip obloge. Ako tijekom zavarivanja dolazi do poprečnih kretanja elektrode, brzina zavarivanja obično je manja.
4. Nagib elektrode utječe na dužinu električnog luka i penetraciju. Ako je elektroda nagnjena prema osnovnom materijalu, dužina električnog luka postaje veća, što posebno negativno utječe pri radu s bazičnim elektrodama. S druge strane, ako je elektroda postavljena okomito, dužina električnog luka je kraća, povećava se snaga luka, što rezultira većom penetracijom.
5. Temperatura predgrijavanja prvenstveno ovisi o osnovnog materijala i debljini istog. Općenito, povećanjem sadržaja ugljika u čeliku ili povećanjem postotka drugih legiranih elemenata, zavarljivost čelika se smanjuje, što zahtijeva višu temperaturu predgrijavanja.

Obloga elektrode u procesu zavarivanja obavlja tri složene funkcije, [5]:

- Električna funkcija obloge utječe na stabilnost električnog luka i služi za paljenje.
- Fizikalna funkcija obloge utječe na zaštitu taline od zraka. Plinovi koji se oslobađaju iz obloge djeluju kao zaštita, sprječavajući oksidaciju rastaljenog metala i osiguravajući povoljne uvjete za zavarivanje.
- Metalurška funkcija obloge uključuje komponente koje vrše legiranje metala zavara, doprinoseći određenim svojstvima zavarenog spoja. Također, obloga može utjecati na deoksidaciju taline, poboljšavajući metalurške karakteristike spoja.

Prednosti ručnog elektrolučnog zavarivanja su, [5]:

- Elektrolučni postupak omogućuje zavarivanje različitih metala, pružajući fleksibilnost u primjeni na različitim materijalima,
- Oprema potrebna za elektrolučno zavarivanje često je ekonomičnija u usporedbi s opremom za MIG/MAG i EPP,
- Mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja,
- Elektrolučno zavarivanje je prikladno za rad na terenu, posebno tamo gdje nije dostupna električna energija, jer se često koristi s prijenosnim generatorima,
- Postupak je poznat po jednostavnom rukovanju opremom, što olakšava rad čak i manje iskusnim zavarivačima, i
- Elektrolučno zavarivanje može proizvesti zavarene spojeve s dobrim mehaničkim svojstvima, uz pravilnu primjenu postupka.

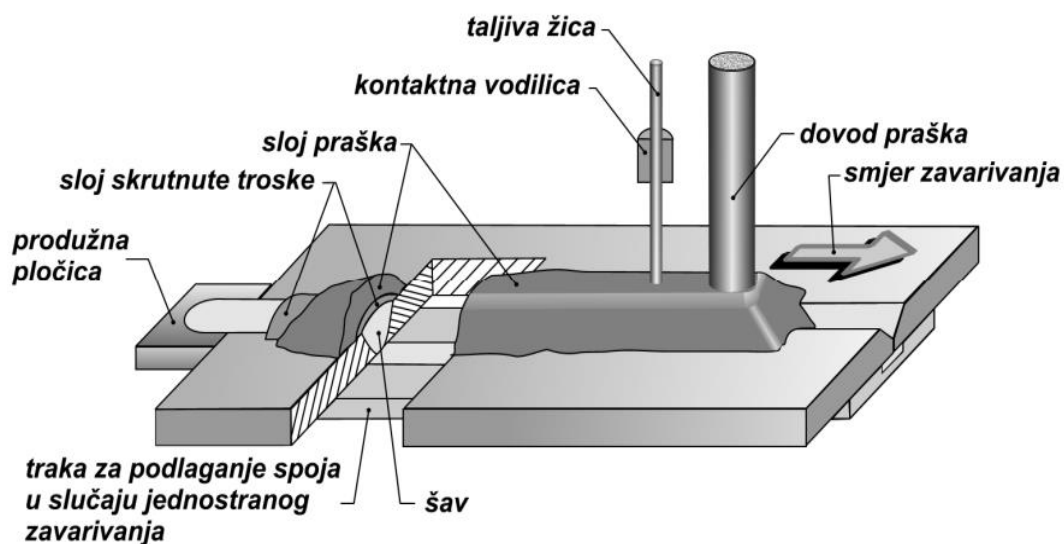
Pored evidentnih prednosti REL zavarivanje ima i slijedeće nedostatke, [5]:

- Ručni postupak, a kvaliteta zavara ovisi o iskustvu zavarivača,
- Tijekom zavarivanja se stvaraju velike količine dimova, za šta je potrebna ventilacija prostora,
- Intenzivni i neugodni bljeskovi električnog luka, i
- Po produktivnosti spada među sporije postupcima.

Ručnog elektrolučnog zavarivanja (REL) kao postupak zavarivanja se koristi u montaži i predmontaži broda.

3.3 Elektrolučno zavarivanje pod praškom (EPP)

EPP (elektrolučno zavarivanje pod praškom) postupak zavarivanja koristi električni luk koji je uvijek skriven i gotovo neprimjetan tijekom procesa, čime se značajno smanjuje izravna izloženost svjetlosnom zračenju, kao i rasprskavanje rastaljenih čestica metala i troske, uz minimalnu pojavu dima. Električni luk nastaje između osnovnog materijala i metalne elektrode koja se koristi u obliku namotane žice na kolutu, a njezino pomicanje na radno mjesto zavarivanja kontrolira se pogonskim mehanizmom. Tijekom zavarivanja, električni luk je zaštićen slojem praška za zavarivanje koji se topi, stvarajući trosku koja obavlja različite funkcije, slično kao i troska iz obloge elektrode. Nakon zavarivanja, prašak se uklanja, a troska se odvaja od zavarenog spoja. Ovaj postupak omogućuje visoku kontrolu i minimalno onečišćenje radnog okoliša, [5].



Slika 3.3. 1: Prikaz EPP zavarivanja

Za zavarivanje se koristi jedna žica sa praškom, no radi poboljšanja učinkovitosti postupka, moguće je istovremeno koristiti dvije ili tri žice, kao i kombinaciju izmjenične i istosmjerne struje. Ove varijante omogućuju veća strujna opterećenja i rad pri većim brzinama zavarivanja. Rezultat su visokokvalitetni zavareni spojevi, a sam postupak omogućuje brzo zavarivanje. Primjenjuje se kako za sučeone i kutne spojeve, tako i za navarivanje, [5].

Osnovne značajke postupka elektrolučnog zavarivanja pod praškom su, [5]:

- Velika brzina zavarivanja, približno 0,12 – 0,18 kg/min rastaljenog dodatnog metala, što je 2 – 5 puta više nego za ručno elektrolučno zavarivanje u položenom položaju.
- Potrošak praška i taljive žice približno je jednak.
- Potrebno je dobro čišćenje od naslage troske nakon svakog prolaza električnog luka, a neistaljeni dio praška može se ponovo koristiti.
- Mogućnost automatiziranja i mehaniziranja postupka.
- Znatne uštede dodatnog materijala poglavito zaštitnog praška.
- Ujednačena kvaliteta i lijep izgled površine zavara.
- Mogućnost zavarivanja limova većih debljina (najčešće za limove debljine 4 – 30 mm), i
- Nema izravnih štetnih zračenja.

Kod EPP-a se koriste dvije vrste žice i to, puna ili punjena žica i isto tako traka kao dodatni materijal za zavarivanje EPP-om. Površina elektrodne žice je bakrena kako bi se osigurala zaštita od korozije i poboljšalo provođenje električne struje, [5].

Prema načinu proizvodnje prašci za EPP se dijele na, [5]:

1. Taljeni prašci - proizvodnja taljenih prašaka uključuje zagrijavanje sirovina do temperature taljenja u elektrolučnim ili kupolnim pećima. Nakon završenog procesa taljenja, prašak se granulira, često u vodi, a po potrebi se prisilno suši.
2. Aglomeriranih prašaka – proizvodnja je slična elektrodama. Priprema sirovina za aglomerirane praške potpuno odgovara pripremi sirovina za obloge elektroda. Kako bi se postigla homogenost materijala, koristi se suho miješanje, dok se mokro miješanje provodi dodavanjem vodenog stakla u količini od otprilike 15 %.
3. Aglomerirani prašak - predstavlja heterogeni proizvod u kojem su pojedine komponente zadržale svoj izvorni karakter u odnosu jedna na drugu. Zrna aglomeriranog praška su homogena. Značajna prednost ovih prašaka je u tome što pojedine komponente reagiraju tijekom zavarivanja. Nedostatak praška je osjetljivost na vlagu. Mješavinski prašci proizvode se kombiniranjem dviju ili više vrsta praška, uz uvjet da masa i granulacija svakog pojedinog praška budu približno jednake.

Prednosti EPP postupka su, [5]:

- Znatno povećane brzine zavarivanja i značajno veća produktivnost u usporedbi s MIG/MAG i REL postupkom zavarivanja.
- EPP je automatski postupak zavarivanja, tako da kvalitet ne ovisi o čovjeku
- Kvalitetan estetski izgled zavara.
- Nema otpada žice („čik-a“), te gubitka zbog prskanja kapljica u okolinu.
- Jednostavno uklanjanje troske i troska se može ponovo koristiti, i
- Vrijeme potrebno za obuku operatera je značajno kraće u usporedbi s obukom iskusnog zavarivača za REL postupak.

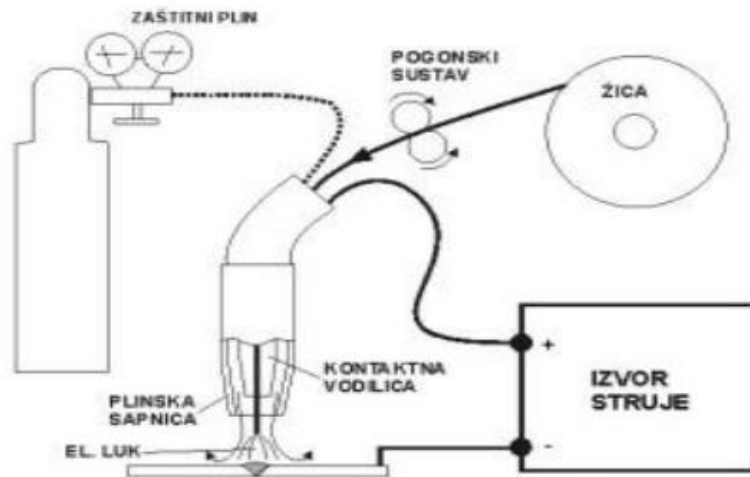
Nedostaci EPP postupka su, [5]:

- Oprema za zavarivanje ima veću cijenu u usporedbi s MAG i REL postupkom zavarivanja.
- Mehanička svojstva zavarenog spoja su slabija u usporedbi s MIG/MAG i REL zavarivanjem.
- Tijekom zavarivanja je nemoguće kontrolirati zavar zbog velike jakosti struje koja proizvodi svjetlost velike intenzivnosti, onda se zavar prati putem (X-zrakama i video kamerama).
- U tehnološkoj liniji koja koristi EPP automate, obično je potrebna dodatna mehanizacija poput okretaljki, okretno-nagibnih stolova, pozicionera i konzola.
- Složeniji uređaj, i
- Mogućnost izvođenja zavarivanja ili navarivanja samo na vodoravnim ili vrlo blago nagnutim površinama.

EPP (elektrolučno pod praškom) kao postupak zavarivanja najviše se koristi na panel liniji (zavarivanje limova sučeljno) i za zavarivanje brodske oplata broda.

3.4 Elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti inertnog plina (MIG/MAG)

Postupak elektrolučnog zavarivanja taljivom elektrodom u atmosferi plina podrazumijeva uspostavu i održavanje električnog luka između taljive žice i radnog komada koji se zavaruje.



Slika 3.4. 1: Prikaz MIG/MAG postupka zavarivanja

Zbog djelovanja topline električkog luka, žica (koja se dovodi konstantnom brzinom) i osnovni materijal na mjestu zavarivanja tope se, stvarajući zavareni spoj. Postupak se odvija u atmosferi plina poput ugljičnog dioksida (CO_2), argona (Ar) ili njihovih mješavina, [6].

Ovom tehnikom mogu se zavarivati različite vrste materijala, uključujući konstrukcijske čelike, nehrđajuće čelike, vatrootporne čelike, aluminij itd., te raznovrsne metale. Prilikom zavarivanja koristi se ili puna ili praškom punjena žica, [6].

U brodogradilištima se utvrdilo da je praškom punjena žica bolji izbor jer omogućuje veću količinu nataljenog metala u istom vremenskom intervalu, smanjuje mogućnost grešaka i prskanja te omogućuje održavanje konstantnih parametara zavarivanja prilikom promjene položaja. Nedostatak praškom punjene žice leži u većoj koncentraciji topline i povećanoj količini razvijenih plinova iz praška, [6].

Uređaji za MIG/MAG zavarivanje sastoje se: od izvora struje, uređaja za dodavanje žice, upravljanja protokom zaštitnog plina, upravljačkog sustava, pištolja za zavarivanje i sustava za hlađenje, kako je prikazano na slici 3.4.1, [6].

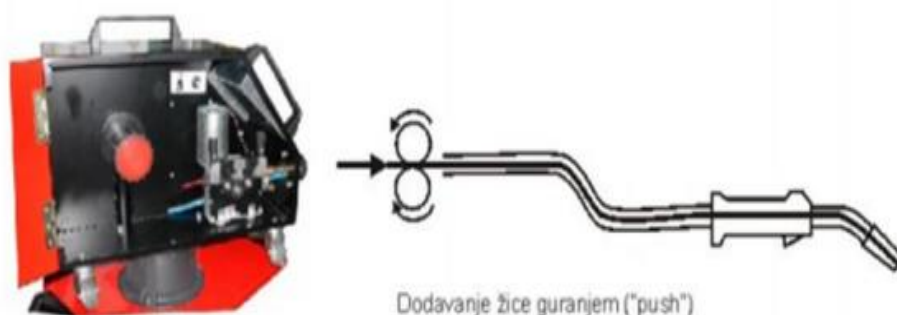
Raznolikost uređaja za MIG/MAG zavarivanje proteže se od vrlo jednostavnih do programabilnih uređaja opremljenih ugrađenim računalom i obimnom bazom podataka parametara zavarivanja. Prilikom odabira odgovarajućeg uređaja, važni faktori uključuju namjenu, zahtjeve korisnika te posebno financijske mogućnosti, [6].

Glavni parametri kod elektrolučnog zavarivanja taljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina su, [6]:

- Orijentacijski raspon napona zavarivanja (U) tokom procesa zavarivanja je od 16 do 28 V.
- Raspon jakosti struje zavarivanja (I) tokom procesa zavarivanja varira ovisno o promjeru i brzini žice za zavarivanje.
- Orijentacijski raspon brzine zavarivanja (v) varira ovisno o primijenjenoj tehnici zavarivanja, promjeru žice za zavarivanje i parametrima zavarivanja.
- Količina zaštitnog plina, i
- “ d “ promjer žice zavarivanja.

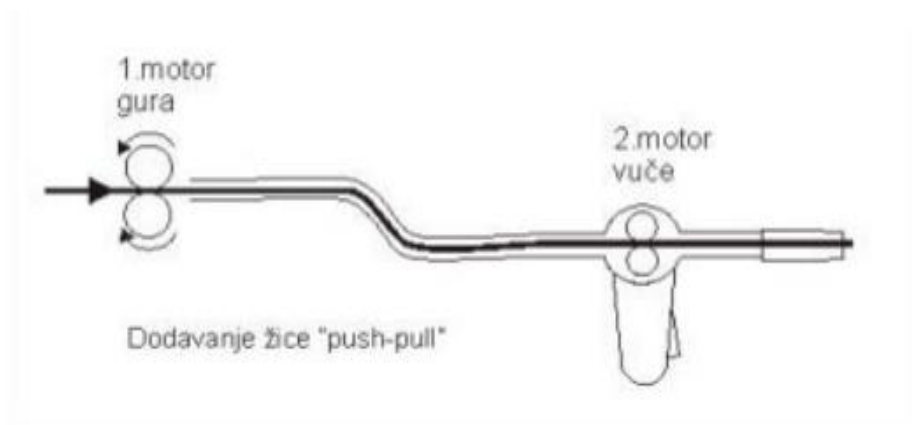
Za dodavanje žice se najčešće koriste dva načina, [6]:

1. Postupak "push" ili A10 koristi kontroliranu brzinu za guranje žice kroz vodilicu žice u gorioniku do mjesta zavarivanja. Elektronički regulirani istosmjerni motor osigurava kontroliranu brzinu, dok 2 ili 4 pogonska kotačića vođena kroz kalibrirane utore omogućavaju siguran prijenos žice različitih promjera. Sustav se integrira u zajedničko kućište kod kompaktnih uređaja. Ovaj učinkovit način omogućava rad s različitim žicama, uključujući i praškom punjene žice, te omogućava sigurno dodavanje na udaljenostima od 3 do 4 m od izvora, često korišten u praksi.



Slika 3.4. 2: Dodavanje žice metodom guranjem ("push")

2. Slika 3.4.3 prikazuje postupak metodom "Push-pull", gdje se žica kontroliranom brzinom gura kroz vodilicu pomoću pogonskih kotačića, a zatim vuče kroz pogonske kotačiće u gorioniku do mjesta zavarivanja. Drugi pogonski motor, smješten u ručki gorionika (uglavnom je električni). Ovaj sustav omogućava stalnu zategnutost žice u vodilici. Međutim, nedostatak ovog postupka je povećana cijena i težina sustava gorionik/kabel, posebice pri većim strujama i udaljenostima. Stoga se često koristi za zavarivanje aluminija, posebice u situacijama gdje druga rješenja nisu moguća. Žice za MIG/MAG postupak dolaze u obliku punih i praškom punjenih, standardiziranih promjera (mm).



Slika 3.4. 3: Dodavanje žice metodom "push-pull"

Prednosti MIG/MAG postupka zavarivanja, [6]:

- Postupak je razvio širok spektar dodatnih materijala za zavarivanje.
- Cijena opreme je niža u usporedbi s EPP postupkom zavarivanja (ali malo viša u odnosu na REL postupak).
- Omogućuje zavarivanje u svim položajima.
- Smanjeni su gubici vremena zavarivača (nema potrebe za izmjenom elektrode kao kod REL zavarivanja, manje čišćenja zavara).
- Pogodan je za automatizaciju i robotizaciju, i
- Osigurava visokokvalitetan zavar i dobra mehanička svojstva zavara.

Nedostaci MIG/MAG postupka zavarivanja, [6]:

- Kvaliteta zavara i dalje ovisi o vještini zavarivača.
- Oprema uređaja je skupa.
- Pri zavarivanju se javlja snažno bljeskanje, a oslobađaju se plinovi, stoga je potrebna dobra ventilacija prostora.
- Dugotrajan rad ostavlja štetne posljedice na zdravlje zavarivača, ukoliko je zavarivač dugotrajno izložen, uključujući reumu i oštećenja dišnog sustava, i
- Postoji opasnost od naljepljivanja.

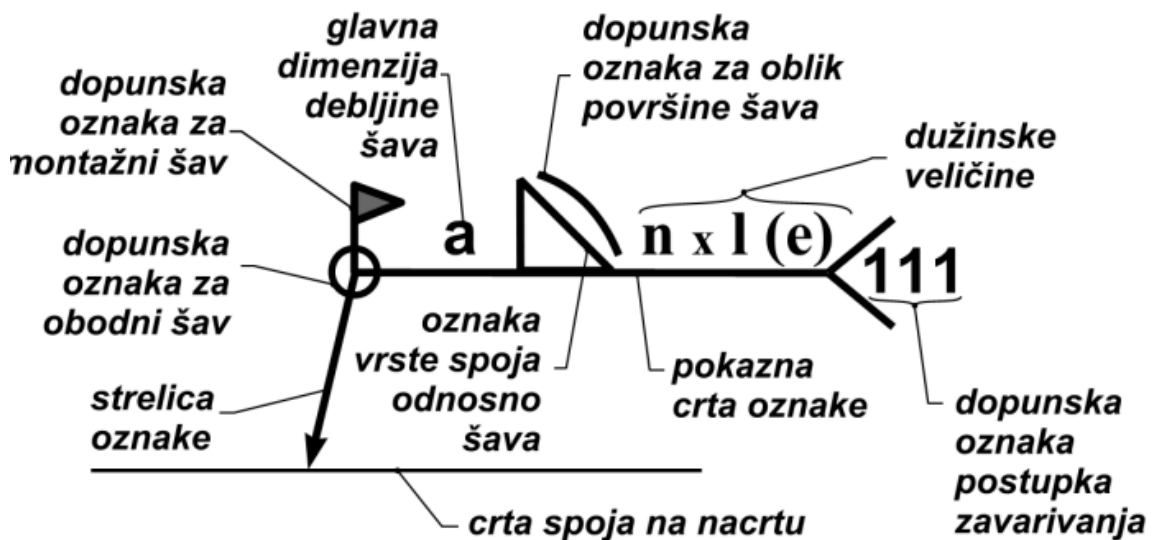
MIG/MAG postupka zavarivanja se uglavnom koristi u montaži i predmontaži broda, isto kao REL postupak zavarivanja tj. tamo gdje nije moguće automatskim postupkom, onda se primjenjuje poluautomatski postupak zavarivanja.

4. OZNAČAVANJE ZAVARENIH SPOJEVA U BRODOGRADNJI













Prikazivanje i označavanje zavarenih spojeva u nacrtima vrši se pojednostavljeno, sukladno normama, primjenom jednoznačnih sustavnih oznaka, [1].

S takvim oznakama pruža se potpuna uputa za pripremu i izvođenje svakog pojedinog spoja. Posebno se specificira vrsta spoja, oblik žlijeba, dimenzije šava, oblik površine šava, postupak zavarivanja i druge relevantne informacije, [1].




U nekim se slučajevima, kada se sve potrebne informacije ne mogu prenijeti isključivo uobičajenom oznakom zavarenog spoja, dodatno u nacрте unose odgovarajući detalji i napomene. U praksi će se koristiti samo oni elementi oznake, koji su potrebni da bi se jednoznačno odredio pojedini zavareni spoj, [1].







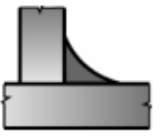



Slika 4. 1: Elementi oznake zavarenog spoja

	Sučeljni spoj s I šavom		Sučeljni spoj prirubljenih elemenata
	Jednostrani V šav		Jednostrani V šav s jednom skošenom stranicom (1/2V)
	Jednostrani Y šav		Jednostrani Y šav s jednom skošenom stranicom (1/2Y)
	Jednostrani U šav		Jednostrani J šav
	Zavar u korijenu žlijeba		Zavar u otvoru
	Kutni zavar odnosno šav		Točkasti zavar

Slika 4. 2: Osnovne oznake zavarenog spoja (šava)

Oblik površine šava	Oznaka
Ravna obično obrađena površina šava	
Šav s nadvišenjem	
Šav s ulegnućem	

Slika 4. 3: Dopunske oznake za oblik površine šava

Naziv vrste šava	Prikaz poprečnog presjeka spoja	Oznaka
Jednostrani V ravni šav		
Dvostrani V šav s nadvišenjem površine		
Kutni zavar odnosno šav s ulegnućem površine		
Jednostrani V ravni šav s ravnim zavarom u korijenu žlijeba		

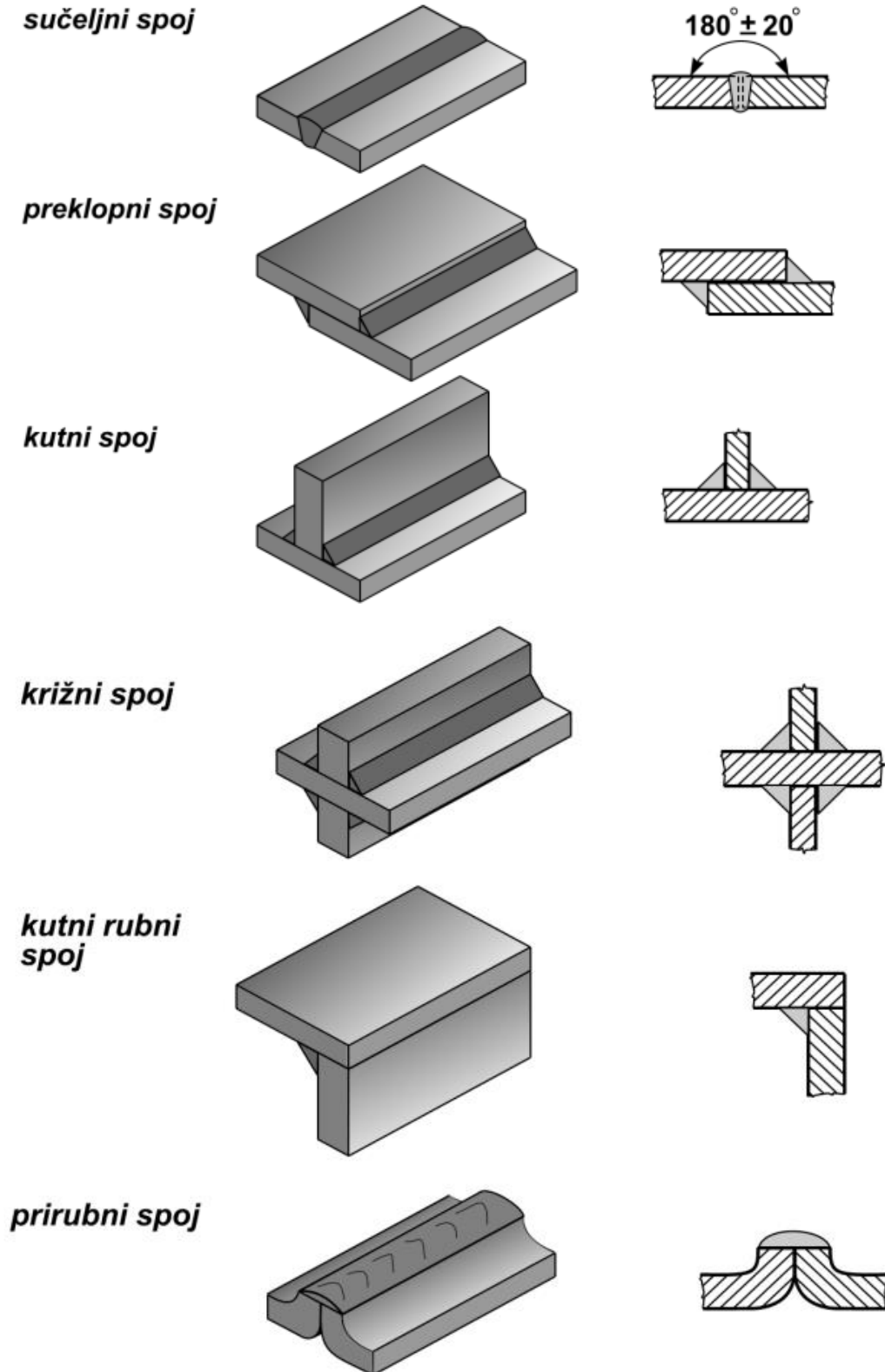
Slika 4. 4: Primjeri za dopunsko označavanje oblika površine šava

Oznaka postupka	Postupak zavarivanja
111	elektrolučno zavarivanje s obloženom elektrodom
112	elektrolučno zavarivanje s gravitacijskim uređajem
114	elektrolučno zavarivanje s praškom punjenom žicom
121	zavarivanje EPP postupkom s taljivom žicom
131	elektrolučno zavarivanje u zaštitnoj atmosferi inertnog plina tj. MIG
135	elektrolučno zavarivanje u zaštitnoj atmosferi aktivnog plina tj. MAG
141	elektrolučno zavarivanje s volframovom elektrodom u zaštitnoj atmosferi inertnog plina tj. TIG
15	zavarivanje plazmatskim lukom
18	ostali postupci zavarivanja električnim lukom
2	elektrotoporno zavarivanje
311	zavarivanje plamenom mješavine kisika i acetilena
4	zavarivanje pritiskom

Slika 4. 5: Dopunska oznaka predviđenog postupka zavarivanja (po standardima)

5. OSNOVNI TIPOVI SPOJEVA U ZAVARIVAČKOJ PRAKSI

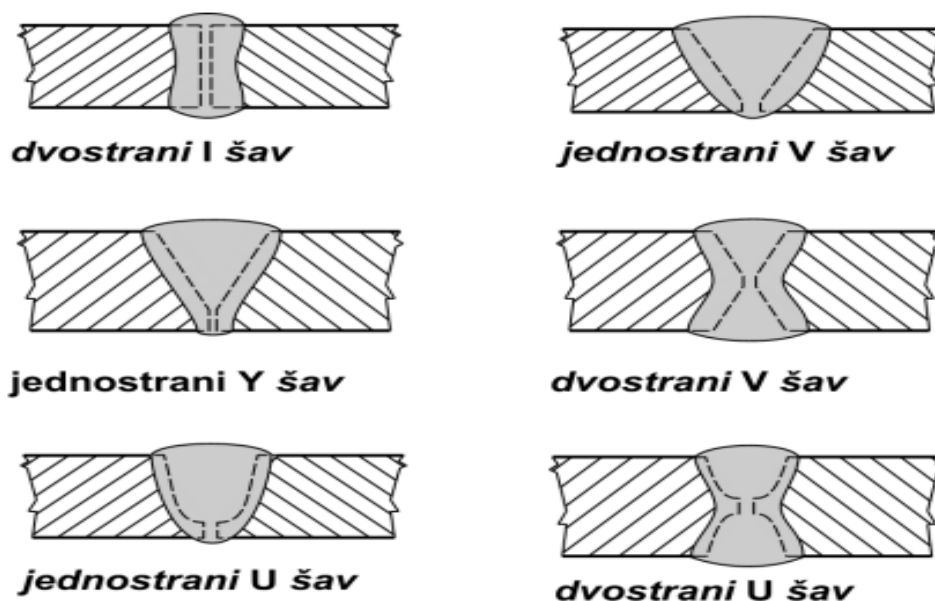
Osnovni tipovi spojeva u zavarivačkoj praksi su sučeljni spoj, preklopni spoj, kutni spoj, križni spoj, kutni rubni spoj i prirubni spoj, kako je navedeno na slici 5, [1].



Slika 1: Osnovni tipovi spojeva, [1]

5.1 Sučeljni spoj

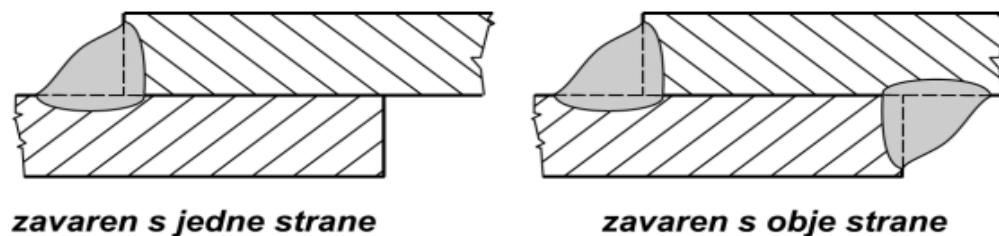
Sučeljni spoj nastaje spajanjem dijelova čiji se krajevi sučeljavaju, a najčešći kut zavarivanja je 180° . Ovaj spoj je jednostavno provjerljiv i može se rendgenski snimati, a zavarivanje se može izvoditi s jedne strane ili s obje strane. Dimenzije sučelnog spoja obično nisu problematične jer je debljina šava određena debljinom osnovnog materijala. Važno je pažljivo pripremiti rubove spoja kako bi se omogućilo dobro prodiranje s minimalnim deformacijama i naprezanjima u spoju, [1].



Slika 5. 1: Sučeljni spojevi

5.2 Preklopni spoj

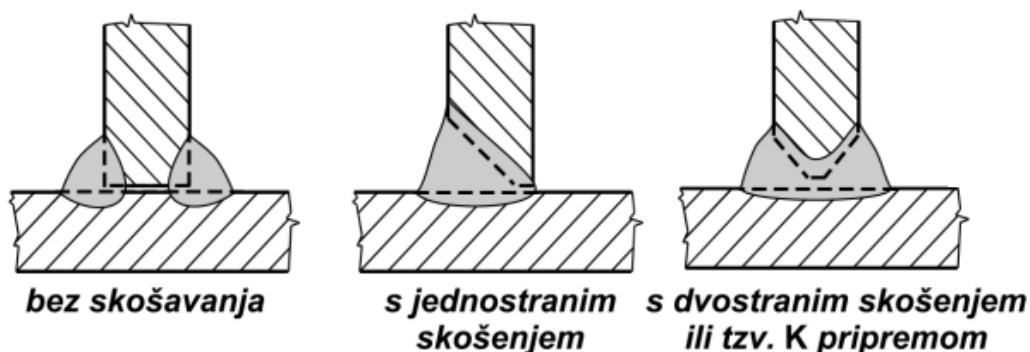
Priprema spoja preklapanjem rubova je jednostavna i ne zahtijeva posebno precizno poravnanje dijelova koji se spajaju. Preklopni spoj koji je zavaren s obje strane može izdržati znatno veća opterećenja u usporedbi sa spojem koji je zavaren samo s jedne strane, [1].



Slika 5. 2: Preklopni spoj

5.3 Kutni spoj

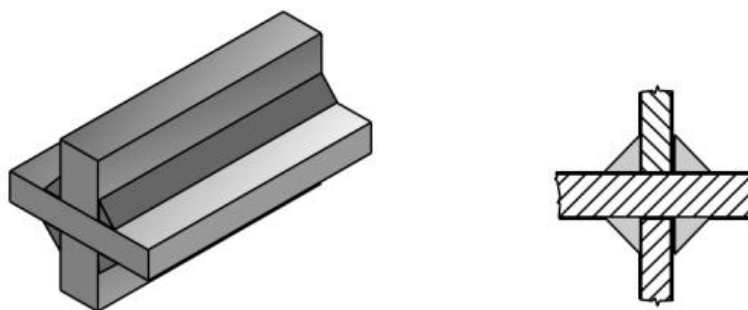
Kutni spoj se izvodi zavarivanjem samo s jedne strane, koji je pogodan za zavarivanje debljih komada limova. Izvedba kutnog spoja se može izvesti bez skošavanja stranice ruba zavarivanog elementa, a također se izvodi s jednostranim ili dvostranim skošenjem. Kutni spoj s jednostranim skošenjem se koristi kod zavarivanje limova debljine do 12 mm, kada se zavarivanje izvodi samo s jedne strane, dok su kutni spojevi s dvostranim skošenjem prikladni za debljine do 40 mm, [1].



Slika 5. 3: Kutni spoj

5.4 Križni spoj

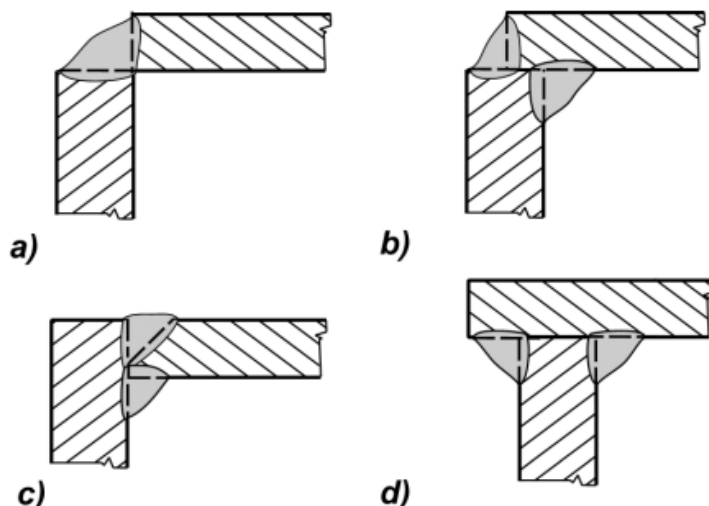
Križni spoj predstavlja poseban oblik kutnog spoja, dijeleći s njim sve osnovne elemente. Ključna karakteristika križnog spoja jest prisutnost jednog kontinuiranog elementa, dok se drugi prekida i nastavlja s druge strane spoja. Ovaj tip spoja često se primjenjuje u većim metalnim konstrukcijama, kao što su brodovi i različite kutijaste konstrukcije opremljene unutrašnjim uzdužnim i poprečnim elementima, [1].



Slika 5. 4: Križni spoj

5.5 Kutni rubni spoj

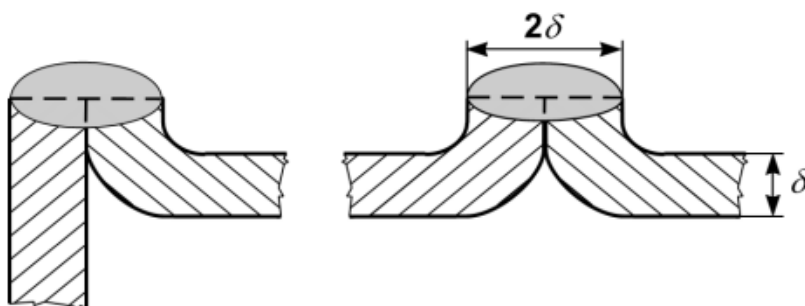
Kutni rubni spojevi često se koriste u sastavljanju pojedinih dijelova strojeva, izrade kućišta, kutijastih konstrukcija i sličnih sklopova, [1].



Slika 5. 5: Kutni rubni spoj

5.6 Prirubni spoj

Prirubni spojevi se uglavnom primjenjuju za tanke limove debljine do 4 mm i za spojeve koji nisu izloženi velikim opterećenjima. Ovim načinom spajanja, prirubljivanjem limova, postiže se ukupna širina polja za polaganje zvara jednaka dvostrukoj debljini spojenih dijelova, što značajno olakšava rad zavarivaču pri vođenju izvora topline i kontroliranju taline, [1].



Slika 5. 6: Prirubni spoj

6. PRIKAZ SPOJEVA, DEFINICIJA I OZNAKE

Poglavlje prikaz spojeva, definicija i oznake donosi u Tablicama 2. do 11. detaljan i jasan prikaz svih osnovnih elemenata sučelnog i rubnog spoja, kutnog spoja i dvostranog kutnog šava, jednostranog/dvostranog kutnog šava, točkastog i okruglog šava u otvorima, jednostranog/dvostranog I, V, Y i U šava, jednostranog/dvostranog V sa dva lima različite debljina i kombiniranog jednostranog V šava i kutnog zavora s jednom skošenom stranicom, kao osnovnim oblicima zavarivanja koje se koriste u brodogradnji.

Tablica 2: Sučeljni i rubni spoj, [1]

NAZIV	PRIKAZ SPOJA	DEFINICIJE I OZNAKE
Sučeljni spoj		 $s = \text{dubina šava}$
Rubni spoj		$s = \text{visina šava}$

Tablica 3: Kutni spoj i dvostrani kutni šav, [1]

NAZIV	PRIKAZ SPOJA	DEFINICIJE I OZNAKE
Kutni spoj		$a = \text{visina najvećeg trokuta koji se može ucrtati u presjek šava tj. debljina šava}$
Dvostrani kutni šav		

Tablica 4: Jednostrani/dvostrani kutni šav, [1]

NAZIV	PRIKAZ SPOJA	DEFINICIJE I OZNAKE
Jednostrani isprekidani kutni šav		<p>a = debljina šava odnosno zavora l = dužina zavora e = korak zavora n = broj zavora</p> <p>$a \nabla n \times l(e)$</p>
Dvostrani isprekidani naizmjenični kutni šav		
Spoj sa izrezima (skalopima) i obilazećim kutnim zavarima		

Tablica 5: Točkasti i okrugli šav u otvorima, [1]

NAZIV	PRIKAZ SPOJA	DEFINICIJE I OZNAKE
Šav sa zavarima u dugoljastim otvorima		<p>c = širina otvora</p> <p>$c \sqcap n \times l(e)$</p>
Šav sa zavarima u okruglim otvorima		<p>d = promjer otvora</p> <p>$d \sqcap n \times l(e)$</p>
Točkasti šav		<p>d = promjer točke</p> <p>$d \bigcirc n \times l(e)$</p>

Tablica 6: Jednostrani/dvostrani "I" šav, [1]

NAZIV	PRIKAZ	OZNAKA SPOJA	
		NA NACRTU	NA LIMU
Jednostrani I šav	<p>2 do 3</p> <p>1 za debljinu 2 mm 1,5 za 2,5 do 3 mm</p>		
Jednostrani I šav sa žlijebljenjem korijena i pokrivnim korijenim zavarom	<p>3 do 6</p> <p>1,5 za $\delta = 3$ mm 2,0 za $\delta = 3$ do 5 mm 2,5 za $\delta = 6$ mm</p>		
Dvostrani I šav izveden automatom	<p>5 do 15,5</p> <p>0</p>		

Tablica 7: Jednostrani "V" šav, [1]

NAZIV	PRIKAZ	OZNAKA SPOJA	
		NA NACRTU	NA LIMU
Jednostrani V šav	<p>50 do 60°</p> <p>5,5 do 19</p> <p>2 za $\delta = 5,5$ do 8 mm 3 za $\delta = 9$ do 19 mm</p>		
Jednostrani V šav sa žlijebljenjem korijena i pokrivnim korijenim zavarom	<p>50 do 60°</p> <p>5,5 do 25 mm</p> <p>3 do 7</p> <p>2 do 3 mm</p>		
Jednostrani V šav s podloženom trakom	<p>40 do 50°</p> <p>5,5 do 19</p> <p>3</p> <p>4 do 6</p> <p>20</p> <p>traka</p>		

Tablica 8: Jednostrani/dvostrani "Y" šav, [1]

NAZIV	PRIKAZ	OZNAKA SPOJA	
		NA NACRTU	NA LIMU
Jednostrani V šav izveden automatom			
Jednostrani Y šav izveden automatom			
Dvostrani Y šav izveden automatom			

Tablica 9: Jednostrani/dvostrani "U" šav, [1]

NAZIV	PRIKAZ	OZNAKA SPOJA	
		NA NACRTU	NA LIMU
Jednostrani U šav sa korijenim zavarom i žlijebljenjem korijena			
Dvostrani U šav sa žlijebljenjem korijena			

Tablica 10: Jednostrani/dvostrani "V" šav s dva lima različite debljine, [1]

NAZIV	PRIKAZ	OZNAKA SPOJA	
		NA NACRTU	NA LIMU
Jednostrani V šav s dva lima različite debljine			
Dvostrani V šav sa žlijebljenjem korijena			

Tablica 11: Kombinirani jednostrani "V" šav i kutni zavar s jednom skošenom stranicom, [1]

NAZIV	PRIKAZ	OZNAKA SPOJA	
		NA NACRTU	NA LIMU
Jednostrani V šav s jednom skošenom stranicom			
Kombinirani jednostrani V šav i kutni zavar			

7. METODE KONTROLE ZAVARIVANJA

Kontrola zavarivanja u postupku gradnje broda je veoma važan proces od čije metode u konačnici ovisi i kvaliteta samog proizvoda. Svi zavareni spojevi, kao jedinke ili kao cijelokupna konstrukcija zavarivanja, moraju u potpunosti zadovoljiti sve unaprijed postavljene uvjete kvalitete. Uvjete kvalitete i metode kontrole zavarivanja u fazama projektovanja i gradnje brodova propisuju prvenstveno klasifikacijski zavodi, zatim nadzorni organi i brodogradilišta. Kvaliteta zavara, odnosno zavarenog spoja i čitave konstrukcije broda, postiže se odgovarajućom pripremom radova, uporabom odgovarajućih osnovnih i dodatnih materijala, osiguranjem primjene propisane tehnologije rada i stručnim i verificiranim zavarivačima, [7].

Kontrola zavarenih spojeva prilikom izvedbe podjela se vrši na, [7]:

- kontrolu postupka prije zavarivanja,
- kontrolu postupka za vrijeme izvođenja zavarivanja, i
- kontrolu postupka nakon završetka zavarivanja.

Kontrola prije zavarivanja, obuhvaća, [7]:

- kontrolu osnovnog i dodatnog materijala,
- kontrolu atesta zavarivača i verifikaciju postupka zavarivanja, i
- kontrolu pripreme za zavarivanje.

Prije samog početka izvođenja radova zavarivanja bilo u radionicama predmontaže ili na samom brodu, treba prvenstveno kontrolirati kvalitetu pripreme spoja za zavarivanje, po slijedećem, [7]:

- oblik žlijeba za zavarivanje,
- zračnost između pojedinih elemenata, posebno kod sučeljenih i kutnih spojeva, i
- čistoću žlijeba s obzirom na masnoće, okujinu i sl.

Nakon zavarivanja kontrola obuhvaća sve poznate načine kontrole već zavarenog spoja. U brodogradnji se uglavnom koristi metoda bez razaranja zavarenog spoja, [7].

U praksi su poznate i provode se dvije metode kontrole kvalitete metoda bez razaranja i metodama sa razaranjem zavarenog spoja, [7].

7.1 Kontrola zavarenih spojeva bez razaranja

Kontrola zavarenih spojeva bez razaranja, kako joj i samo ima kaže, svojom metodom ne utječe direktno mehanički na svojstva zavarenog spoja i obuhvaća, [7]:

1. Vizualnu kontrolu
2. Kontrolu nepropusnosti
3. Radiografsku kontrolu
4. Ultrazvučnu kontrolu
5. Kontrolu magnetskim ispitivanjima
6. Kontrolu penetrantskim tekućinama

1. Vizualna kontrola zavarenih spojeva

Vizualnu kontrolu zavarenih spojeva, certificirani kontrolor provodi neposrednim uvidom i pregledom svih karakterističnih površinskih geometrijskih oblika i dimenzija svih zavarenih spojeva i cjelokupne zavarene konstrukcije po svim elementima zavara. Posebito vrši pregled karakterističnih grešaka lica zavara koji mogu nastati ako se zavarivač ne drži propisanog procesa rada, kao što su, [7]:

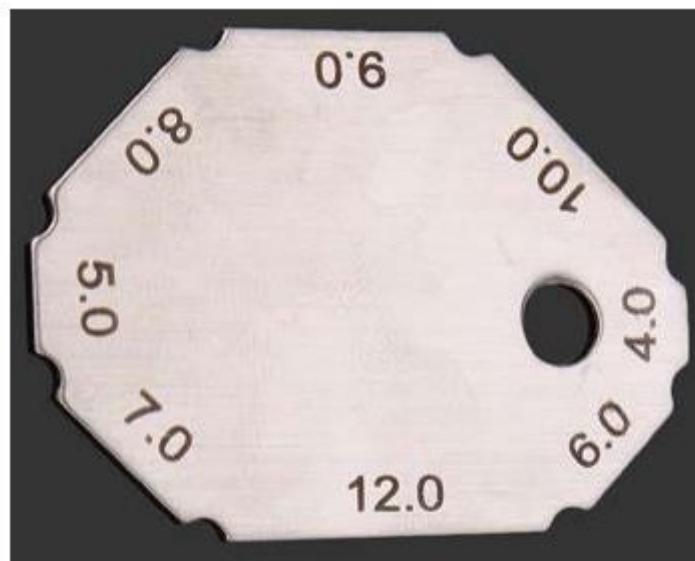
- Ugorine ili rubni (ugorine)
- Poroznost i pukotine na površini zavara
- Izbočenje zavara ili udubljenje kutnih zavara izvan dozvoljenog
- Nejednolikost krakova kutno zavarenih spojeva, i
- Odstupanja zavarenih spojeva u odnosu na zadate dimenzije na nacrtima.

Uspješno obavljena vizualna kontrola i pregled brodske konstrukcije, temelj je uspješnog verificiranja od strane klasifikacijskih zavoda, a zatim i predaju nadzornim organima brodovlasnika, [7].



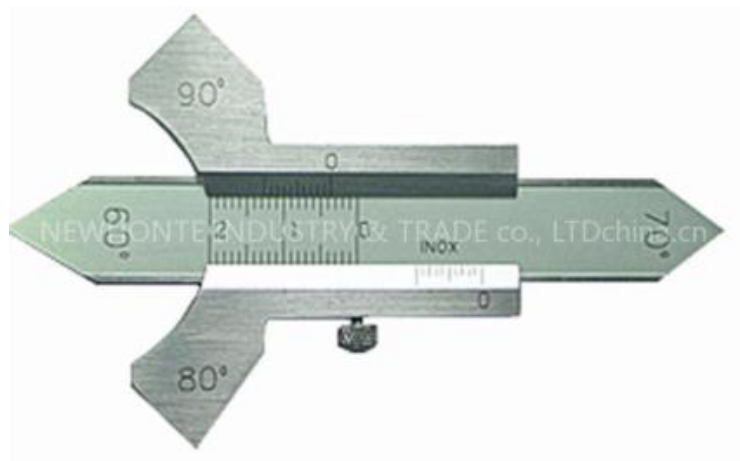
Slika 7.1. 1.: Pomagala kod direktne vizualne kontrole (povećalo lijevo, zrcalo desno)

Za vizualnu kontrolu i pregled zavarenih spojeva bez razaranja koriste se dva poznata mjerila za dimenzijsku kontrolu zavora: mjerilo za provjeru debljine kutnog zavarenog spoja i mjerilo sa nonijusom. Mjerilom za provjeru debljine kutnog zavarenog spoja moguća je jednostavna i brza provjera u kojim se granicama nalazi debljina kutnog zavarenog spoja, [7].



Slika 7.1. 2: Mjerilo za provjeru debljine kutnog zavarenog spoja

Mjerilo s nonijusom, nam omogućava mjerenje debljine kutnog zavarenog spoja do 90° , zatim nadvišenje sučeonog zavarenog spoja, te provjera kuteva od 60° , 70° , 80° i 90° kod pripreme mjesta sučeonog zavarenog spoja, [7].



Slika 7.1. 3: Mjerilo s nonijusom

2. Kontrola nepropusnosti zavarenih spojeva

Nakon završetka metode vizualne kontrole zavarenih spojeva i brodske strukture kontrolira se nepropusnost brodske strukture (tankovi). Kontrola nepropusnosti izvodi se jednostavno polijevanjem konstrukcije mlazom vode, stavljanjem prostora pod tlak zraka ili vode, ili pak ispitivanjem pomoću petroleja i krede, [7].

Kontrola nepropusnosti stavljanjem prostora pod tlak zraka ili vode se obavlja tako da se brodska prostorija napuni zrakom ili vodom na tlak od obično 0.2 bar, a zatim se s vanjske strane prostora kontroliraju svi zavareni spojevi na eventualna propuštanja. Pri ispitivanju zrakom radi lakšeg otkrivanja propuštanja, svi zavareni spojevi se s vanjske strane premazuju sapunicom, gdje pojava mjehurića pokazuju nedopustivu propusnost zavarenih spojeva, [7].

3. Radiografska kontrola zavarenih spojeva

Radiografskom kontrolom tj. radiografskom metodom ispitivanja otkrivaju se greške zavarenog spoja na pukotine, prisustvo troske, poroznost i neprovarenog korijena zavara. Kontrola se obavlja uspomoću rendgen-uređaja X (iks) zracima ili uređaja s radioaktivnim izotopima Γ (gama) zracima. Uspješnost ovakvog vida kontrole ovisi o debljini i vrsti materijala koji se ispituje jer je dubina prodiranja radio zraka manja što je materijal deblji, te se na uređajima moraju odrediti intenzitet jačine radio zraka i vrijeme njihovog djelovanja zapis podataka (film), [7].

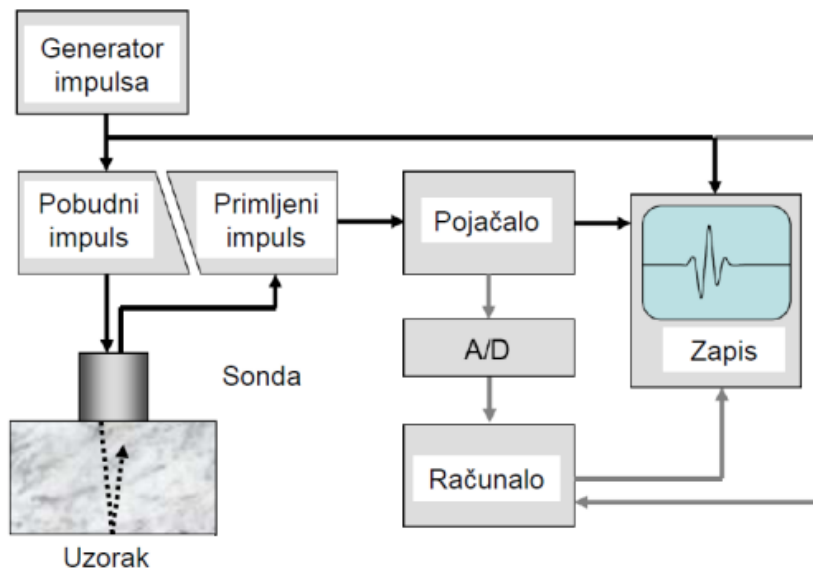
Ako se radio zraci, bilo rendgenski ili gama zraci, određene jačine usmjere prema zavarenom spoju, sa čije suprotne strane se nalazi film, u odnosu na kvalitetu zavara na filmu nakon obrade (razvijanje, fiksiranje, ispiranje vodom i sušenje) mogu nastati slijedeći podaci kontrole zavara, [7]:

- Manje zacrnjenje na mjestu zavara i jače zacrnjenje okolne zone zavarivanja - pokazuje da nadvišenje zavara nije izbrušeno u ravnini s površinom osnovnog materijala koji se zavaruje jer će zrake nakon prolaska biti manje snage na mjestu nadvišenja, a veće snage pokraj nadvišenja.
- Jednoliko zacrnjenje - se pojavljuje kada je nadvišenje zavara fino izbrušeno u ravnini s površinom osnovnog materijala zavarivanja pa zrake jednakom snagom prodiru kroz zavareni spoj i susjednu zonu, i
- Mrlje i jača zacrnjenja filma - se javljaju u zavarenom spoju koji ima neke greške pa zrake neujednačeno prolaze kroz zavar, lakše na mjestu greške i teže na mjestima isoravnog zavara. Na osnovi oblika, položaja i inteziteta mrlja i zacrnjenja na filmu može točno utvrditi o kakvim se greškama radi.

4. Ultrazvučna kontrola zavarenih spojeva

Kontrola zavarenih spojeva ultrazvukom provodi se posebnim uređajem tj. generatorom ultrazvučnih valova odašiljanjem ultrazvučnih impulsa u materijal. Mjerenjem vremenskog intervala između početnog impulsa i odjeka u mikrosekundama dobivaju se željeni podaci mjerenja. Sastoji od aparata s ekranom, vibratora i visokofrekventnog generatora za stvaranje impulsa, [7].

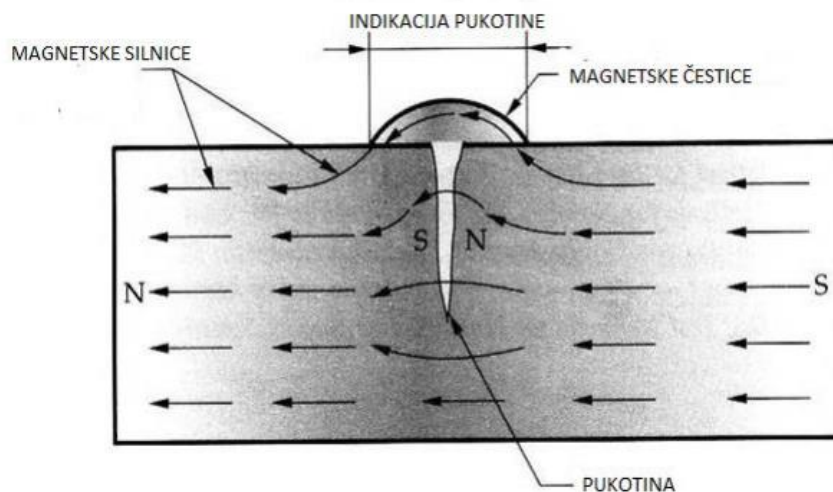
Mjere se obavlja na način da se vibratorom ili glavom uređaja povlači po površini zavarenog spoja u koji se upućuju okomito ili pod kutom ultrazvučni valovi. Ako ultrazvučni impuls naiđe na grešku u zavaru tj. prepreku, jedan dio energije se reflektira i vraća u primač zvuka vibratora što se registrira i očitava kao vertikalna svijetla linija na ekranu aparata. Ovaj način ispitivanja je veoma efikasan i pouzdan jer se mogu se otkriti sve greške zavarivanja, bez obzira na njihov oblik i veličinu, jer kvaliteta izmjerenih podataka ne ovisi o debljini materijala, [7].



Slika 7.1. 4: Shema ultrazvučnog sustava

5. Kontrola zavarenih spojeva magnetskim ispitivanjem

Kontrola zavarenih spojeva magnetskim ispitivanjem primjenjiva je samo na magnetskim materijalima. Isključivo služi za otkrivanje grešaka koje se nalaze neposredno ispod površine zavarenog spoja. Utjecajem elektromagneta na površinu zavarenog spoja i osnovnog materijala očitava se gustoća magnetskih silnica koje se razvijaju između polova elektromagneta. Na mjestu eventualne greške silnice se gomilaju u gušći snop pokazujući indikaciju pukotine u zavaru. Još bolja vizualna indikacija se ostvaruje kada se ispitivana površina popraska vrlo sitnim česticama željeznog praha nakvašenih petrolejom. Na mjestima gomilanja magnetskih silnica gomila se i željezni prah, što znači da je na tom mjestu greška. Ovakav postupak je pouzdan za otkrivanje grešaka na površini zavora jer kvaliteta podataka opada sa povećanjem dubine ispitivanog radnog komada, [7].



Slika 7.1. 5: Princip rada metode ispitivanja magnetskim česticama

6. Kontrola zavarenih spojeva penetrantskim tekućinama

Svojstvo nekih tekućina koje imaju sposobnost dubokog penetriranja u najtanje površinske pukotine i poroznost upotrebljava se kao metoda kontrole da bi se otkrile površinske greške. Kontrola je uspješna u otkrivanju grešaka zavarivanja koje se rasprostiru po presjeku materijala, ali koje obavezno dopiru do površine. Kao penetranti koriste se obojene ili fluorescentne tekućine, [7].

Postupak prilikom ispitivanja je precizno propisan jer od njega ovisi i kvaliteta same metode. Prvo se zavareni spoj i okolna površina moraju odmastiti i očistiti od svih ostalih nečistoća a zatim se prskanjem nanese obojena tekućina tj. penetrant. Nakon nanošenja obojene tekućine pričekava se 5 - 15 minuta da ona ispolji svoje dejstvo pa se nakon toga ispere višak koji nije prodro u eventualne pukotine. Zatim se na ispitivanu površinu nanese suhi koji ima zadatak da na površinu materijala izvuče prethodno nanese penetrant. Ako na zavarenom spoju ima pukotina ili oštećenja ona se jasno očituju u formi obojenih obrisa bijeloj podlozi, [7].



Slika 7.1. 6: Ispitivanje penetrantskim tekućinama

7.2 Kontrola zavarenih spojeva sa razaranjem

Kontrolom, odnosno ispitivanjem razaranjem zavarenih spojeva obično se provjeravaju mehaničke i tehnološke osobine, te struktura zavarenih spojeva. Metoda se provodi posebno izrađenim epruvetama, koje se mogu uzeti na nekoliko načina, [7]:

- Uzimanjem posebnih ploča, namjerno dodanih na spoj koji se zavaruje
- Uzimanjem podesnih otpadaka, i
- Uzimanjem posebnih ploča, zavarenih u istim uvjetima, s istim dodatnim i pomoćnim materijalom, kojim se zavaruje konstrukcija.

Veoma je važno za točnost kontrole da se uzorci zavare u istim uvjetima kao i sama konstrukcija zavarivanja. Mora se koristiti isti osnovni i dodatni materijalom, i isti verificirani zavarivači, [7].

Postoje dva načina kontrola zavarenih spojeva razaranjem: kontrola sučeljeno zavarenih spojeva i kontrola spojeva zavarenih kutnim zavarom, [7].

1. Kontrola razaranjem sučeljeno zavarenih spojeva

Kontrola razaranjem sučeljeno zavarenih spojeva obuhvaća višestruka ispitivanja po slijedećem, [7]:

- Ispitivanja na vlak
- Ispitivanja savijanjem
- Ispitivanja udarne žilavosti
- Ispitivanja tvrdoće
- Ispitivanja dinamičke čvrstoće, i
- Ispitivanja makrostrukture i mikrostrukture.

Ispitivanjem na vlak zavarenih spojeva ustanovljava se čvrstoće zavarenog spoja kao cjeline. Za prva ispitivanja upotrebljuju se epruvete s paralelnim bokovima, a zatim epruvete s udubljenim bokovima, [7].

Ispitivanja savijanjem obavlja se radi provjere deformacijskih sposobnosti zavarenih spojeva tj. njihova plastičnost, [7].

Ispitivanjem otpornosti na udar provodi se s ciljem određivanje otpornosti zavarenog spoja, na mjestu zavar dva elementa, [7].

Analiza sučeljnih spojeva obuhvaća mjerenje tvrdoće materijala zavara i prijelazne zone, i tvrdoće osnovnog materijala, [7].

Analiza dinamičke čvrstoće provodi se s namjerom utvrđivanje čvrstoće zavarenih spojeva pod utjecajem promjenjivog opterećenja, na dva načina i to: na cjelinu i ispitivanje zavara na dinamičku čvrstoću, [7].

Istraživanje strukture na makro i mikro razini provodi se s ciljem kako bi se identificirale moguće pogreške u samoj strukturi zavarenog spoja. Makroispitivanjem analizira se dubina uvara kako bi se identificirale pukotine, i nedostaci u procesu zavarivanja. Mikroispitivanjem se pruža detaljniji uvid u vrstu strukture zavara i zone utjecaja topline (ZUT), [7].

2. Kontrola razaranjem kutno zavarenih spojeva

Postoji više metoda kontrole razaranjem kutno zavarenih spojeva po slijedećem, [7]:

- Križni spojevi se podvrgavaju se ispitivanju na vlak
- Ispitivanje smicanjem preklopnih spojeva
- Ispitivanje dinamičke čvrstoće preklopnih i križnih spojeva
- Ispitivanje tvrdoće je također dio procesa, i
- Makrostrukturna i mikrostrukturna ispitivanja su standardni koraci.

Metoda bez razaranja danas je najčešće primjenjivana u praksi za kontrolu zavarenih spojeva.

8. ANALIZA I ZAHTJEVI ZA DEFINIRANJE ZAVARENIH SPOJEVA

Registar brodova je sustav koji bilježi i upravlja informacijama o plovilima, brodovima i drugim pomorskim objektima. Ova evidencija obuhvaća razne podatke o brodovima, uključujući tehničke karakteristike, vlasničke informacije, sigurnosne aspekte, klasifikacije, povijest registracije i druge relevantne podatke. Važnost registra brodova leži u nekoliko ključnih aspekata: sigurnost plovidbe, pomorsko pravo, vlasništvo i pravni aspekti, financijski aspekti, praćenje stanja brodova, međunarodna suradnja i zaštita okoliša. Registracija brodova pridonosi održavanju reda, sigurnosti i pravne transparentnosti u pomorskom sektoru. Ono je važno je kako za vlasnike brodova, tako i za države i organizacije koje sudjeluju u pomorskim aktivnostima. Evidencija registra brodova u oblasti tehničkih karakteristika posebnu pozornost pridaje analizi i zahtjevima za definiranje zavarenih spojeva konstrukcije brodova. Na primjeru registra brodova DNT (Det Norske Veritas) ova oblast biće nadalje detaljno objašnjena.

8.1 Dizajn zavarenog spoja prema DNV-u

Dizajn zavarenog spoja prema određenom registru brodova, kao što je npr. DNV (Part 3 chapter 13 Welding) podložan je određenim standardima i smjernicama koje propisuje dotični registar. Detalji o zavarenom spoju uključuju materijale, metode zavarivanja, kontrolu kvalitete i druge tehničke specifikacije. Važno je napomenuti da su specifičnosti dizajna zavarenog spoja uvijek određene konkretnim projektom i uvjetima, [9].

Općenito pregled koraka koji bi mogli biti uključeni u dizajn zavarenog spoja prema DNV standardima, [9]:

1. Materijal:

- Odabir materijala za zavareni spoj treba biti u skladu s propisima DNV-a i specifičnim zahtjevima projekta.
- Specifikacije materijala, uključujući tip čelika ili drugih legura, debljina materijala i kemijske sastave, trebaju biti jasno definirane.

2. Priprema materijala:

- Prije zavarivanja, materijal se treba pripremiti, uključujući čišćenje, uklanjanje oksida i drugih nečistoća.
- Priprema rubova zavarenih dijelova također je važna, a to može uključivati rezanje, brušenje ili druge postupke obrade.

3. Zavarivanje

- Određivanje odgovarajuće tehnike zavarivanja prema DNV standardima.
- Pravilno postavljanje zavara, uz primjenu odgovarajuće temperature i parametara zavarivanja.

4. Kontrola kvalitete

- Provođenje inspekcije zavarenog spoja prema propisima DNV-a (od strane inženjera koji imaju položen tečaj za kontrolu zavarenog spoja IWE).
- Korištenje raznih metoda za kontrolu zavarenog spoja kako bi se osigurala integritet zavarenog spoja.

5. Certifikacija

- Podnošenje dokumentacije i rezultata ispitivanja DNV-u radi certifikacije.
- Osiguranje da su svi aspekti zavarenog spoja u skladu s propisima i standardima DNV-a.

6. Pratnja

- Praćenje izvedbe zavarenog spoja tijekom vremena kako bi se osigurala dugotrajna pouzdanost i sigurnost. Važno je napomenuti da su specifičnosti dizajna zavarenog spoja uvijek određene konkretnim projektom i uvjetima.

8.2 Dizajniranje kutnih i sučeljnih spojeva prema DNV-u

Dizajniranje kutnih i sučeljnih spojeva prema DNV-ovim pravilima zahtijeva pažljivo razmatranje različitih aspekata kako bi se osigurala sigurnost, pouzdanost i usklađenost s relevantnim standardima. Općeniti koraci i aspekti koji se obično uzimaju u obzir prilikom dizajniranja takvih spojeva, [9]:

1. Razumijevanje zahtjeva:

- Proučavanje DNV-ovih pravila, smjernica i specifičnih zahtjeva za dizajn kutnih i sučeljnih spojeva. To uključuje definiranje tipova spojeva, materijala, parametara zavarivanja i kontrola kvalitete.

2. Proračun opterećenja:

- Analiza opterećenja na spoju kako bi se odredila potrebna čvrstoća i nosivost. Ovo uključuje statičke i dinamičke analize, kao i analize na zamor materijala.

3. Materijal:

- Odabir odgovarajućih materijala koji zadovoljavaju specifične zahtjeve DNV-a. Uključuje razmatranje čvrstoće, otpornosti na koroziju i druge karakteristike materijala.

4. Zavarivanje.

- Definiranje postupaka zavarivanja u skladu s DNV-ovim standardima. To uključuje odabir postupaka, materijala za zavarivanje, tehnike zavarivanja i kontrolu kvalitete zavarivanja.

5. Dimenzioniranje spoja:

- Određivanje geometrije spoja, debljine materijala, duljine spoja i drugih dimenzija kako bi se osigurala potrebna nosivost i čvrstoća spoja.

6. Kontrola kvalitete.

- Planiranje i implementacija postupaka kontrole kvalitete koji uključuju inspekcije, ispitivanje materijala i zavarenih spojeva te druge metode kako bi se osigurala visoka kvaliteta spoja.

7. Otpornost na koroziju:

- Razmatranje zaštite od korozije, uključujući odgovarajuće premaze i materijale koji su otporni na koroziju, kako bi se produžio životni vijek spoja.

8. Dinamički uvjeti:

- Uzimanje u obzir dinamičkih uvjeta, kao što su udari valova ili druge dinamičke sile, koje mogu utjecati na spoj tijekom eksploatacije.

9. Održivost i servisabilnost:

- Razmatranje održivosti spoja tijekom vremena i mogućnost popravaka ili zamjene ako je potrebno.

10. Dokumentacija i certifikacija:

- Priprema dokumentacije koja odgovara DNV standardima podnošenje potrebnih informacija za certifikaciju.

8.3 Dimenzije kutnog zavora prema DNV-u

Dimenzije kutnog zavora prema DNV-u su veličina kraka zavora (w), stvarna duljina šava zavora (l), faktor zavora (c) i debljina (tp), [8].

Veličina kraka kutnih zavora (w) na T-priključcima koji se formiraju kontinuiranim ili isprekidanim kutnim zavarima sa svake strane, dobiva se iz sljedeće jednačbe, [8]:

$$w = tp \times C \times s \ l + 1.5 \text{ mm}$$

Tumač oznaka:

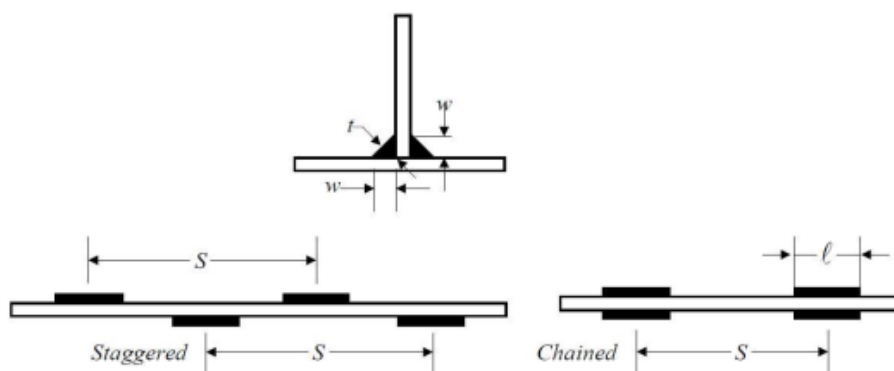
w - veličina kraka zavora, u milimetrima,

l - stvarna duljina šava zavora u milimetrima,

s - udaljenost središta kutnih zavora,

tp - debljina tanjeg od dva elementa koji se spajaju, i

C - faktor zavora.



Slika 8.3. 1: Dimenzije kutnog zavora prema DNV-u

Dalje, vrijednost w ne bi trebala biti manja od $0,3 \ tp$ ili $3,5 \text{ mm}$. Širina šava ne smije biti ispod $0,7 \ w$. Prilikom izračuna faktora zavora, duljina kraka usklađenog kutnog zavora treba se odabrati kao navedena duljina kraka ili $0,7 \ tp + 2,0 \text{ mm}$, [8].

U situacijama gdje se planira primijeniti kontinuirano kutno zavarivanje, duljinu kraka kutnih zavora treba odrediti iz navedene jednačbe, uz uvjet da je omjer s/l jednak 1, [8].

Kada je riječ o isprekidanom zavarivanju s debljinom lima manjom od 7 mm, zavari trebaju biti pravilno raspoređeni stepenasto, u obliku "cik-cak", [8].

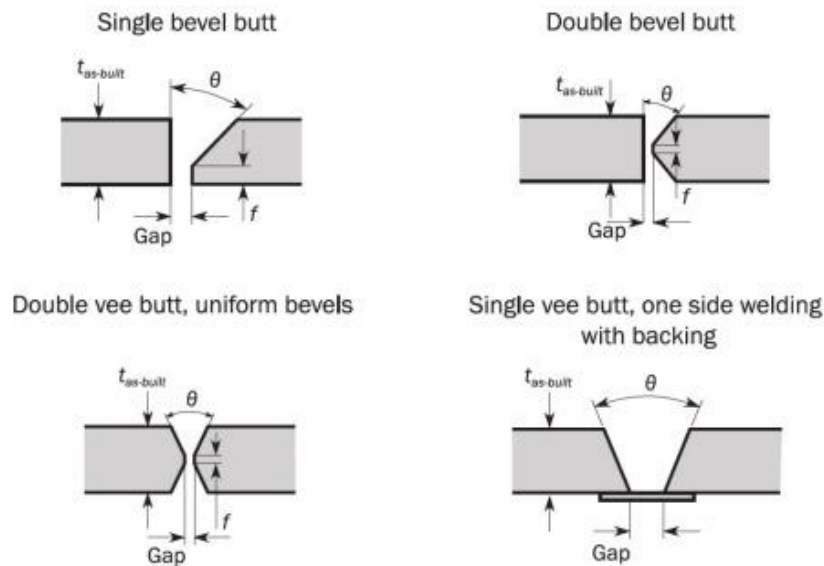
Zavareni spoj treba imati duljinu od najmanje 75 mm ako je debljina materijala 7 mm ili više, te ne smije biti manji od 65 mm za tanje materijale. Duljina nezavarenog dijela ne smije premašiti 32 puta debljinu materijala. Faktor zavara je konstanta koja se određuje iz odgovarajućih tablica, [8].

Tablica 12: Faktor zavarivanja C, [8]

	Aluminij	Čelik
<i>Rebra, transverze i uzdužni nosači na oplati</i>		
Na dnu na 3L/8	0,25 DC	0,25 DC
Na dnu na L/4, V < 25 čvorova	0,18 DC	0,16 DC
Na mjestu vijka ili podupirača osovine	0,25 DC	0,25 DC
U strojarnici	0,20	0,20
Drugdje	0,16	0,14
<i>Rebra, transverze i uzdužni nosači na dvodnu</i>		
U strojarnici	0,25 DC	0,25 DC
Na dvodnu drugdje	0,14	0,12
Na oplati drugdje	0,14	0,12
<i>Rebra, transverze i uzdužni nosači na nosačima dvodna</i>		
	0,30 DC	0,30 DC
<i>Nosači dna na pregradama i transverzama ili rebrima</i>		
	0,30 DC	0,30 DC
<i>Uzdužni elementi na oplati</i>		
Dno i bok na 3L/8, V > 25 čvorova	0,25 DC	0,25 DC
Dno i bok na 3L/4, V < 25 čvorova	0,18 DC	0,16 DC
Na mjestu vijka ili podupirača osovine	0,25 DC	0,25 DC
Drugdje	0,14	0,12
Na krajevima	0,50 DC	0,50 DC
<i>Bočni, palubni i nosači pregrade, transverze i proveze na oplati</i>		
Oplata na L/4	0,16 DC	0,14 DC
Na palubi i pregradama dalje od tankova	0,16	0,14
Na palubi i pregradama kod tankova	0,16	0,14
<i>Grede, uzdužni elementi i ukrepe</i>		
Na palubi	0,14	0,12
Na granicama tankova i kućica	0,14	0,12
Na vodonepropusnim pregradama i bokovima kućica	0,14	0,12
Na krajevima	0,50 DC	0,50 DC
Temelji motora na oplati	0,50 DC	0,50 DC
<i>Pregrade i granice tankova</i>		
Unutarnji tank	0,16	0,14
Vodonepropusni ili izloženi tank	0,38 DC	0,38 DC
<i>Rubni dijelovi palube</i>		
Unutarnji	0,25	0,25
Otporni na vremenske uvjete	0,38 DC	0,38 DC
Paluba čvrstoće	0,38 DC	0,38 DC
<i>Kormila</i>		
Membrana do bočnog opločenja	0,30	0,30
Vertikalna membrana na horizontalnu	0,50 DC	0,50 DC
Glavna membrana	0,50 DC	0,50 DC
<i>Nosači osovine na izbočine i dupler</i>		
	100%	100%
DC = double continuous, dvostruki neprekinuti		

8.4 Dimenzije sučelnog zavora prema DNV-u

Sučeljni spoj se u brodogradnji najčešće koristi kod zavarivanje brodske oplata tj. kod limova na panel liniji – EPP postupak zavarivanja. Proračun koji se odnosi na sučeljni spoj, nije tako kompliciran jer prvenstveno ovisi o debljini materijala koji se zavaruje, [8].



Slika 8.4. 1: Dimenzije sučelnog zavora prema DNV-u

Single bevel butt – spoj sa jednostrukim žlijebom

Double bevel butt – spoj sa dvostranim jednostrukim žlijebom

Zavarivanje s jedne strane na stalnu podlogu u sučelju je moguće tek nakon pažljivog razmatranja, posebno na mjestima gdje se opterećenje smatra niskim. Ovo zavarivanje nije dozvoljeno unutar spremnika. Kod zavarivanja limova čija je razlika u debljini jednaka ili veća od 4 mm, obično dolazi do sužavanja deblje ploče. Glavna funkcija sučelnog spoja je povezivanje limova oplata broda, [8].



Slika 8.4. 2: Priprema za sučeljni spoj



Slika 8.4. 3: Izveden sučeljni spoj

8.5 Kontinuirani kutni zavari

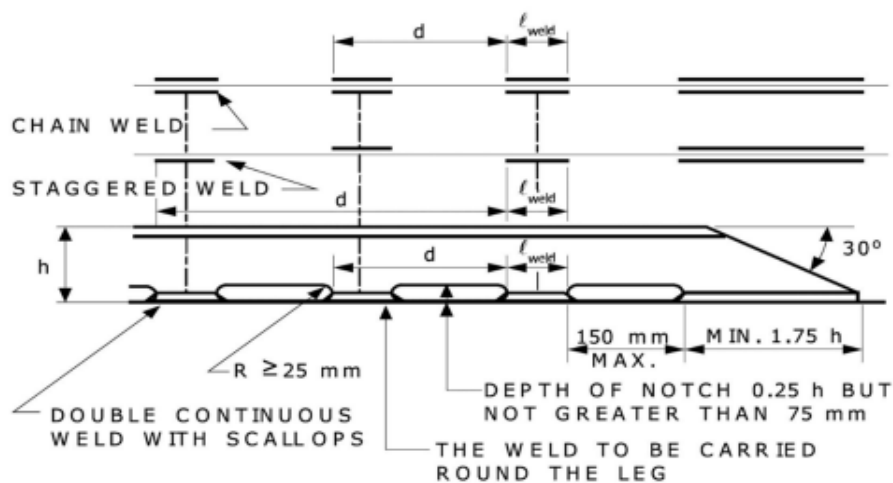
Kontinuirani kutni zavari koriste se na sljedećim mjestima, [8]:

- Na spoju podveze i opločenja,
- Granice nepropusnih paluba, uključujući poklopce grotala i stubišta,
- Granice tankova i vodonepropusnih odjeljaka,
- Ukrepe i primarni elementi čvrstoće na granicama tankova,
- Sve primarne i sekundarne elemente na krmi i pramcu,
- Zavari na svim krajnjim spojevima ukrepa, uključujući nosače, uške i skalope
- Svi preklopni spojevi trupa
- Primarni elementi čvrstoće u spoju sa ukrepama oplata dna na $0,3 L$
- Završni spoj upora, i
- Pražnjice grotala u spoju sa oplatom palube

8.6 Isprekidani zavari

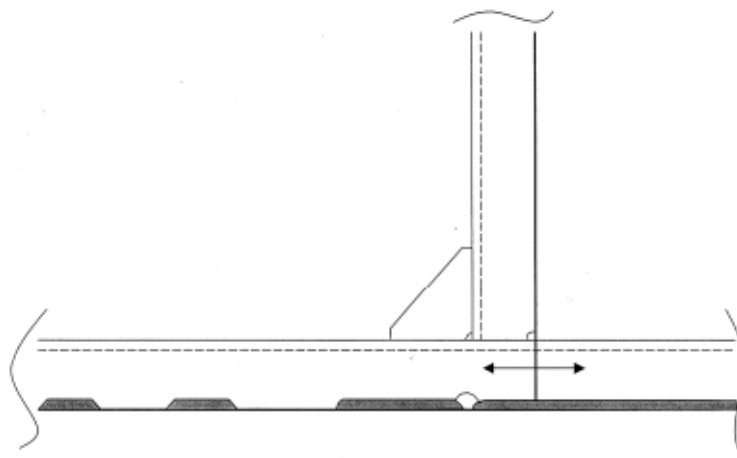
Tamo gdje nije nužno provoditi kontinuirano zavarivanje, opcija je primijeniti isprekidano zavarivanje. Kako je prikazano na slici 8.6.1, imamo različite tipova isprekidanih zavora, [8]:

- Lančani zavar (Chain weld)
- Raspoređeni zavar (Staggered weld)
- Skalop zavar (Double continuous)



Slika 8.6. 1: Isprekidani zavar prema DNV-u

Lančani i kontinuirani zavar se koristi u vodonepropusna područja uglavnom u dvodnu broda, tj, gdje se tankovi nalaze za pitku vodu, gorivo, ulje itd, [8].



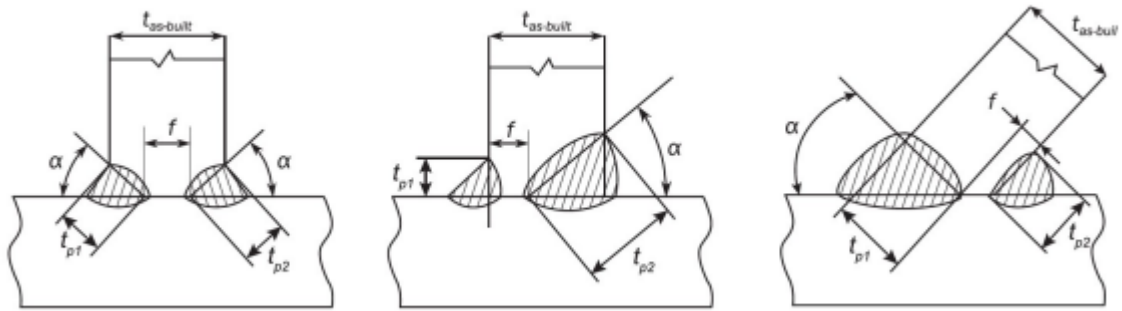
Slika 8.6. 2: Završetak zavora kod tankova

Kada su grede, ukrepi, rebra, i slično, isprekidano zavareni i prolaze kroz nosače, podveze, preporučuje se postavljanje para usklađenih isprekidanih zavora za svaku stranu presjeka. Dodatno, grede, ukrepi i rebra trebaju biti učinkovito spojeni s nosačima, podvezama i provezama. Gdje je dopušteno isprekidano zavarivanje, za svaki deseti raspon, preporučuje se primjena dvostrukih kontinuiranih zavora, [8].

8.7 Djelomično i potpuno provareni spoj

Na područjima s visokim vlačnim napreznjima ili u područjima koja se smatraju kritičnima, preporučuje se upotreba potpuno ili djelomično provarenih zavora. Kod potpunog provarenja, važno je ukloniti korijensku površinu, na primjer, putem žljebljenja prije same operacije zavarivanja, [8].

Za zavare s djelomičnim prodiranjem, širina korijenske površine (f) obično se određuje unutar raspona od 3 mm do $t_{as-built}/3$. Kut zavora dizajniran je kako bi osigurao prodiranje zrna zavarivanja do korijena utora (α), uobičajeno između 40° i 60° . Zavaren spoj s djelomičnim ili potpunim prodiranjem treba pokrivati korijen utora, [8].

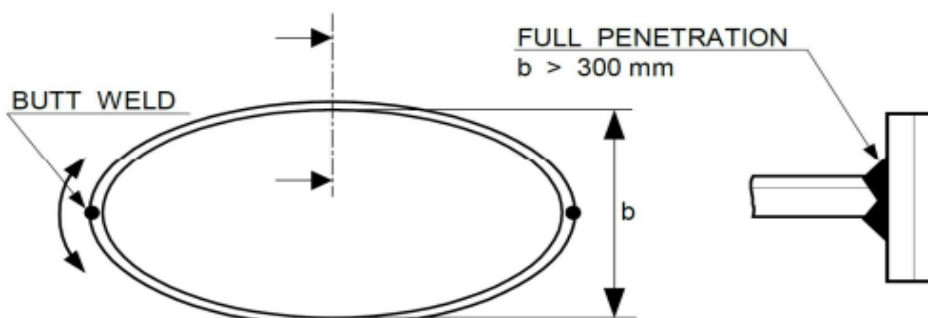


Slika 8.7. 1: Djelimično provaren spoj

8.8 Mjesta na kojima je potrebna potpuna provarljivost

Potpuna provarljivost zavar se preporučuje primijeniti na sljedećim mjestima, [8]:

- Oplata pražnjice grotla s zakrivljenim rubom u kutovima otvaranja palube zavaruje se na oplatu palube, kako je objašnjeno na slici 8.8.1.
- Integracija okomite pregrade s donjom oplatom i oplatom dna teretnog prostora.
- Za otvore veće od 300 mm, slika 8.8.1 preporučuje primjenu rubnog ojačanja ili prodora cijevi na čvrstu palubu, strmu ploču i unutarnju oplatu dna, s udaljenost od $0,6 L$ u sredini broda.
- Postolja dizalice i pripadajući nosači.
- Ujedinjenje rogova kormila i nosača osovine s oplatom u spoju.
- Ako se smatraju kritičnima, zahtjevi za potpunom provarljivošću zavara mogu se primijeniti na oplatu bočne strane kormila i područje spoja trupa i kormila, kao i na druge spojeve.
- Ako se smatraju kritičnima, potpuna provarljivost zavara može biti obavezna i za ostale spojeve.



Slika 8.8. 1: Provar palube i dna

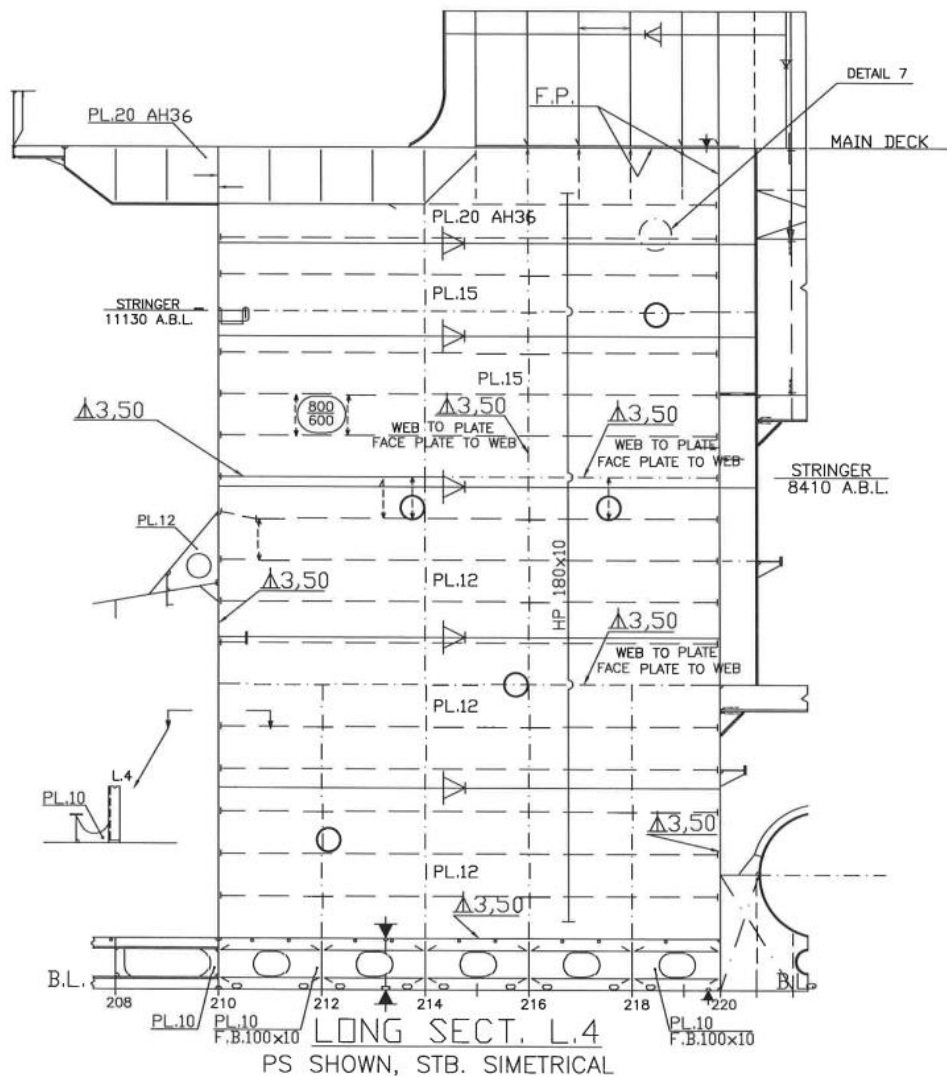


Slika 8.8.2: Primjer nepropusnog kutnog spoja

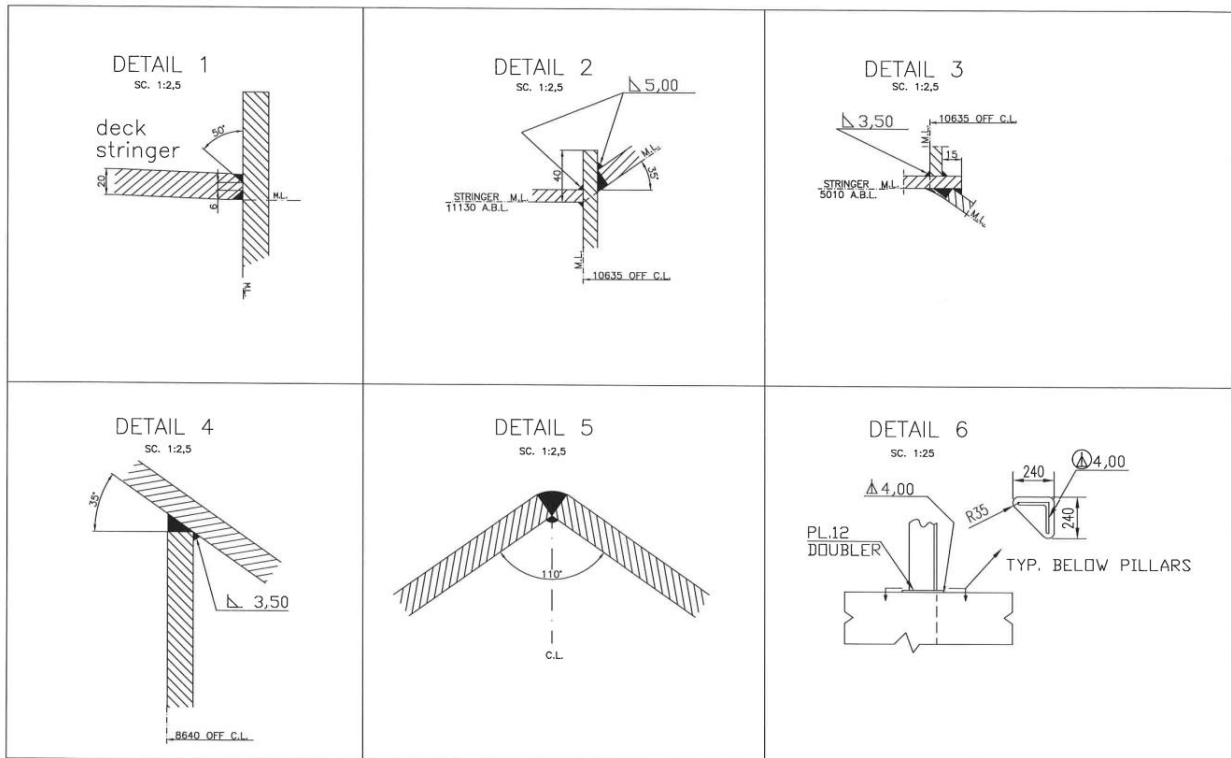
9. KNJIGA ZAVARIVANJA („WELDING BOOKLET“)

Prilikom gradnje broda potrebno je definirati postupke zavarivanja, vrijednosti i faktore kutnog zavarivanja te pripreme pojedinih spojeva. Sukladno tom zahtjevu kreira se dokument koji se naziva Knjiga zavarivanja ili „Welding booklet“. Takav dokument mora biti odobren od strane Registra pod kojim se odobrava i vodi gradnja broda.

Dokument sadrži karakteristične presjeka broda i detalje na kojima je naznačeno na koji način će biti zavareni pojedini spojevi tj. dijelovi broda, kao skup pravila koja se primjenjuju i označavaju na svakom pojedinačnom presjeku.



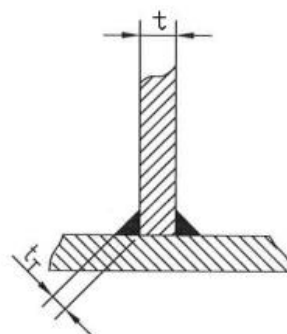
Slika 9. 1: Primjer presjeka iz Knjige zavarivanja (Uzdužni presjek na LP720mm/CL), [13]



Slika 9. 2: Primjer detalja iz Knjige zavarivanja, [13]

Dokumentom se također propisuje kojom veličinom kutnog zavara i kojim faktorom zavarivanja će se zavarivati međusobno okomiti ili pod nekim kutom postavljene limovi. To su tablice koje prikazuju odnos tj. ovisnost debljine grla zavara o debljini limova koji se zavaruju.

Kutni zavarci su za proračun najzahtjevniji jer se mora voditi računa o svim parametrima kako bi na siguran način elementi bili spojeni.



t - As-built thickness of abutting plate, mm

t_r - Throat thickness, mm

GENERAL DETAIL

Slika 9. 3: Detalj kutnog zavara i način označavanja iz Knjige zavarivanja, [13]

DOUBLE CONTINUOUS FILLET WELD THROAT THICKNESS (mm)

ITEM	REMARKS	WELD FACTOR	t _{pl} (mm)																
			6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0		
General application:																			
Watertight plate boundaries		0,34	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	4,00	4,50	5,00	5,00	5,50	6,00	6,00	6,50	7,00	
Non-tight plate boundaries		0,13	3,00	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	
Longitudinals, frames, beams, and other secondary members to shell, deck or bulkhead plating	in tanks	0,10	3,00	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	
	in way of end connections	0,21	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	4,00	4,00	4,00	
Panel stiffeners, etc.		0,10	3,00	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	
Overlap welds generally		0,27	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	4,00	4,00	4,50	4,50	5,00	5,00	5,50		
Longitudinals of the flat-bar type to plating		0,21	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	4,00	4,00	4,00		
Bottom construction in way of holds:																			
Non-tight centre girder to keel		0,27	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	4,00	4,00	4,50	4,50	5,00	5,00	5,50		
Non-tight centre girder to inner bottom	no scallops	0,21	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	4,00	4,00	4,00		
Non-tight boundaries of floors, girders and brackets	in way of 0.2 x span at ends	0,21	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	4,00	4,00	4,00		
	in way of brackets at lower end of main frame	0,27	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	4,00	4,00	4,50	4,50	5,00	5,00	5,50		
Connection of floors to inner bottom in way of plane or corrugated bulkheads supported on inner bottom. The supporting floors are to be continuously welded to the inner bottom.	- weld size based on floor thickness - weld material compatible with floor material	0,44	3,00	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00		
Hull framing:																			
Webs of web frames and stringers	to shell and inner hull	0,16	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50		
	to face plate	0,13	3,00	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50		
Tank side brackets to shell and inner bottom		0,34	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50	4,00	4,50	5,00	5,00	5,50	6,00	6,00	6,50	7,00		

Slika 9. 4: Primjer izgleda tablice faktora i veličine zavora iz Knjige zavarivanja, [13]

9.1 Standard brodogradilišta

Nadalje svako brodogradilište primjenjuje svoje standarde koji su povezani s Knjigom zavarivanja na način da se oznake i simboli definirane u standardima primjenjuju tj označavaju na karakterističnim presjecima kao uputa za daljnju primjenu.

Standardom se propisuju postupci zavarivanja, priprema spojeva za zavarivanje i oblici žlijebova koji se primjenjuju u izradi trupa broda.

Standardom su definirane tolerancije kao kriterij prihvatljivosti kvalitete u oblikovanju žlijeba.

Redoslijed prikazivanja pojedinih priprema u Standardu definiraju ujedno i prioritet u primjeni. Koji žlijeb će se primijeniti ovisi o:

- Debljini osnovnog materijala
- Vrsti osnovnog materijala
- Postupku zavarivanja
- Položaju zavarivanja
- Vrsti i namjeni zavarenog spoja

Standardom je definirana oznaka postupka zavarivanja, [14]:

- Brojkom u skladu sa oznakama Euro Norme
- Slovimu u skladu prema oznakama koje se koriste u svakodnevnoj praksi
- Slovimu u skladu prema oznakama engleskog govornog područja

111, REL, SMAW – REL Ručno Elektro – Lučni postupak zavarivanja obloženom elektrodom (SMAW – Shielded Metal Arc Welding)

121, EPP, SAW – EPP Elektro – Lučni postupak zavarivanja Pod Praškom (SAW – Submerged Arc Welding)

131, MIG, MIG – MIG Metal Inert Gas, Elektro – Lučni postupak zavarivanja, puna žica u zaštiti inertnog plina (Ar), (MIG – Metal Inert Gas)

135, MAG, MAG – MAG Metal Activ Gas, Elektro – Lučni postupak zavarivanja, puna žica u zaštiti aktivnog plina (CO₂), (MAG – Metal Activ Gas)

136, MAG, FCAW – MAG Metal Activ Gas, Elektro – Lučni postupak zavarivanja, praškom punjena žica u zaštiti aktivnog plina (CO₂), (FCAW – Flux Cored Arc Welding)

73, EGI, EGW – EGI Electro Gas Welding, Elektro – Lučni postupak zavarivanja, praškom punjena žica, u zaštiti aktivnog plina (CO₂), u vertikalnom položaju automat, (EGW – Electro Gas Welding)

Tumač oznaka, [14]:

A – zavarivanje se izvodi automatom,

P – zavarivanje se izvodi poluautomatom,

R – zavarivanje se izvodi ručnom tehnikom,

K – keramička podloga za zavarivanje

Ž – žlijebljenje korijenskog zavara

JZ – jednostrano zavarivanje

DZ – dvostrano zavarivanje

DP – djelomično protaljivanje po presjeku, odnosno duboko protaljivanje deep penetration (eng.)

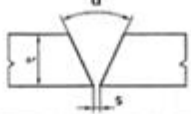
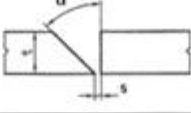
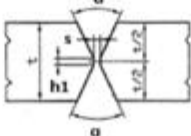
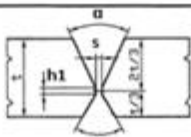
FP – potpuno protaljivanje po presjeku, full penetration (eng.)

oznaka	postupak zavariv.	način izvedbe	naziv spoja	priprema spoja - žljeba	dimenzije žljeba – tolerancije u izvođenju prije zavarivanja												napomena
					t	tol	s	tol	h_1	tol	α	tol	β	tol	β_1	tol	
PVK-1	136 MAG	P	sučeljeni V-spoj		>5	-	6	+2			40°	+5°	180°	+10			- zavariti jednostrano - može se primijeniti i za t>25 mm ako nije moguć pristup sa druge strane - za t>15 mm $\alpha = 45^\circ$ - FP potpuno protaljen - za β veći od zadanih tolerancija primijeniti okruglu keram. podlogu i zavariti dvostrano
	PVK-1					do	s25	-2				-0°	-20				
PVK-2	136 MAG	P	sučeljeni 1/2 V-spoj		>5	-	6	+2			40°	+5°	180°	+10			- zavariti jednostrano - može se primijeniti i za t>25 mm ako nije moguć pristup sa druge strane - za t>15 mm $\alpha = 45^\circ$ - FP potpuno protaljen - za β veći od zadanih tolerancija primijeniti okruglu keram. podlogu i zavariti dvostrano
	PVK-2					do	s25	-2				-0°	-20				
PXX-1	136 MAG	P	sučeljeni X-spoj		>	-	6	+2			45°	+5°					- zavariti dvostrano - FP potpuno protaljen
	PXX-1					25	-2					-0°					
PXX-2	136 MAG	P	sučeljeni X-spoj nesimetričan		>	-	6	+2			45°	+5°					- zavariti dvostrano - FP potpuno protaljen
	PXX-2					25	-2					-0°					

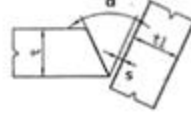
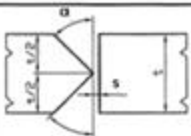
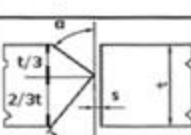
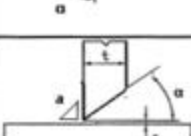
Slika 9. 5: Primjer detalja zavarenih spojeva iz standarda brodogradilišta, [14]

oznaka	postupak zavariv.	način izvedbe	naziv spoja	priprema spoja - žljeba	dimenzije žljeba – tolerancije u izvođenju prije zavarivanja												napomena
					t	tol	s	tol	h_1	tol	α	tol	β	tol	β_1	tol	
PT-5	136 MAG	P	kutni T-spoj		>	-	0	+2	$\frac{t}{3}$	0	45°	+5°					- zavariti dvostrano - DP djelomično protaljen
	PT-5					20	-2	min. 5	-2	-0°							
PT-6	136 MAG	P	kutni T-spoj		>	-	0	+2	$\frac{t}{3}$	0	45°	+5°	50°	+5°	$\leq 30^\circ$		- zavariti dvostrano - DP djelomično protaljen
	PT-6					20	-2	min. 5	-2	-0°	-0°						
PT-7	136 MAG	P	kutni T-spoj		>	-	0	+2	$\frac{t}{3}$	0	50°				$> 30^\circ$		- zavariti dvostrano - DP djelomično protaljen
	PT-7					20	-2	min. 5	-2								
PF-2	136 MAG	P	kutni T-spoj		sve	-	0	+2									- zavariti dvostrano ili jednostrano - sve debljine lima - a = dimenzija zavara
	PF-2																

Slika 9. 6: Primjer detalja zavarenih spojeva iz standarda brodogradilišta, [14]

oznaka	postupak zavariv.	način izvedbe	naziv spoja	priprema spoja - žljeba	dimenzije žljeba – tolerancije u izvođenju prije zavarivanja										napomena	
					t	tol	s	tol	h_1	tol	α	tol	β	tol		
RV-1	111 REL	R	sučeljeni V-spoj		>5	-	2	±2				50°	±5°			- zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
	RV-1				$\frac{1}{25}$											
RV-2	111 REL	R	sučeljeni 1/2V-spoj		>5	-	2	±2				50°	±5°			- zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
	RV-2				$\frac{1}{25}$											
RX-1	111 REL	R	sučeljeni X-spoj		>	-	2	±2	0	+2	50°	±5°			- zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen	
	RK-1				$\frac{1}{25}$											
RX-2	111 REL	R	sučeljeni X-spoj nesimetričan		>	-	2	±2	0	+2	50°	±5°			- zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen	
	RK-2				$\frac{1}{25}$											

Slika 9. 7: Primjer detalja zavarenih spojeva iz standarda brodogradilišta, [14]

oznaka	postupak zavariv.	način izvedbe	naziv spoja	priprema spoja - žljeba	dimenzije žljeba – tolerancije u izvođenju prije zavarivanja										napomena
					t	tol	s	tol	h_1	tol	α	tol	β	tol	
RV-3	111 REL	R	sučeljeni V-spoj		>5	-	2	±2				50°	±5°		- zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
	RV-3				$\frac{1}{25}$										
RK-1	111 REL	R	sučeljeni K-spoj		>	-	2	±2				50°	±5°		- zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
	RK-1				$\frac{1}{25}$										
RK-2	111 REL	R	sučeljeni K-spoj nesimetričan		>	-	2	±2				50°	±5°		- zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
	RK-2				$\frac{1}{25}$										
RT-1	111 REL	R	kutni T-spoj		>5	-	2	±2				50°	±5°		- zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
	RT-1				$\frac{1}{25}$										

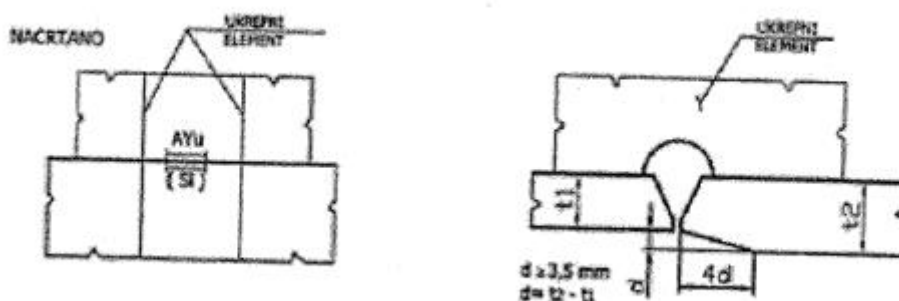
Slika 9. 8: Primjer detalja zavarenih spojeva iz standarda brodogradilišta, [14]

Načini i označavanje stanjenja, [14]:

S – Stanjenje, znači da je potrebno izvesti stanjenje lima u omjeru 1 : 4, stanjenje izvesti za $d \geq 3,5$ mm.

Si – Stanjenje izvana, znači da je stanjenje ruba lima potrebno izvesti na strani gdje nema ulrepnih elemenata odnosno na strani suprotnoj strani trasiranja.

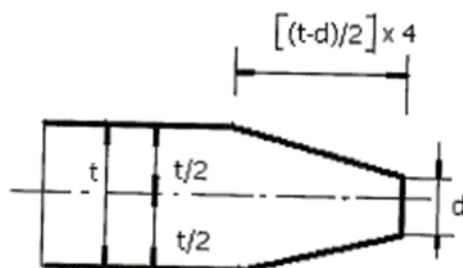
Su – Stanjenje iznutra, znači da je stanjenje ruba lima potrebno izvesti na strani gdje ima ukrepnih elemenata, odnosno na strani trasiranja.



Slika 9. 9: Stanjenje s jedne strane, [14]

Obostrano simetrično stanjenje:

Si/Su d – oznaka znači obostrano simetrično stanjenje

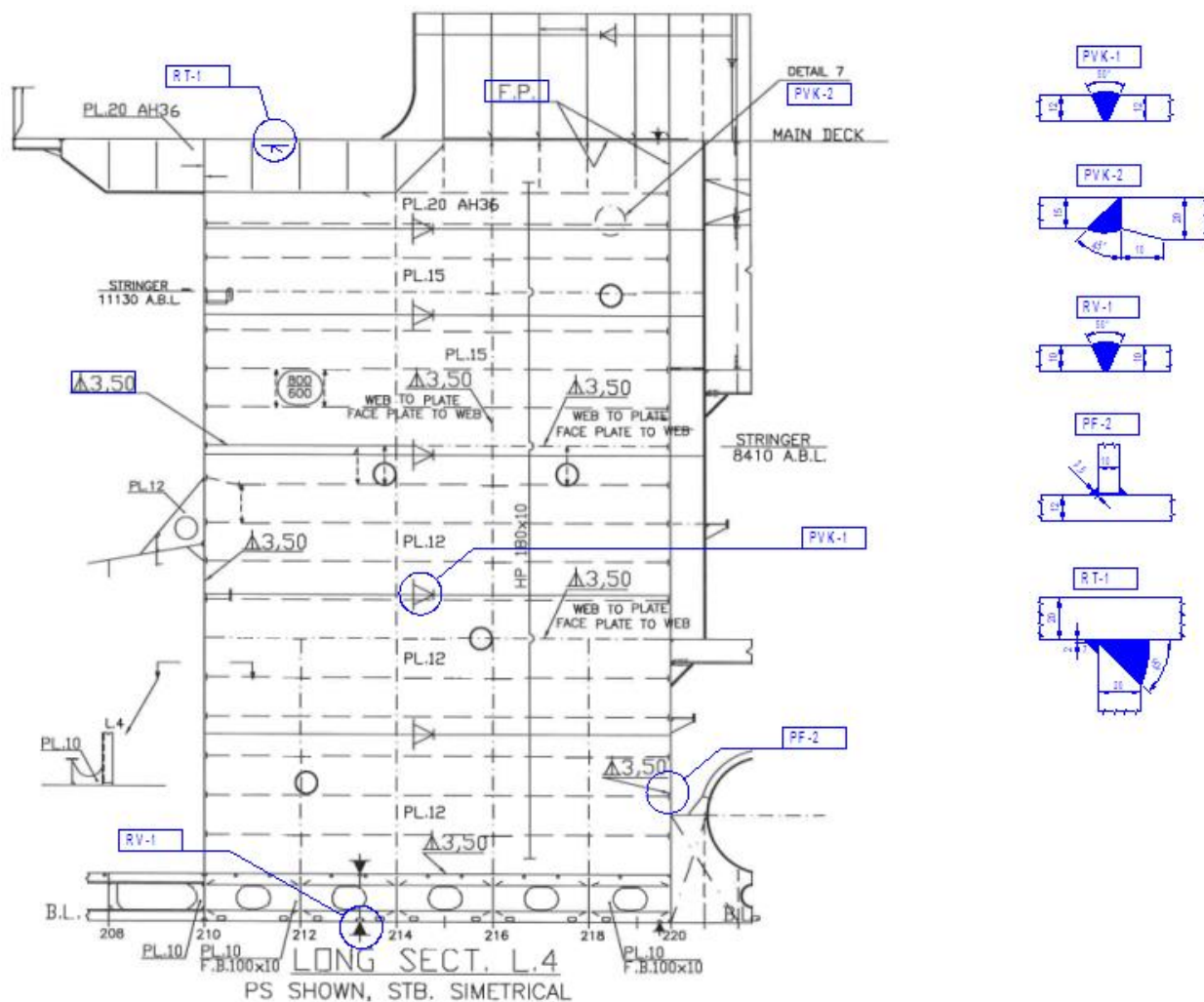


Slika 9. 10: Obostrano simetrično stanjenje, [14]

Napomena: Svi ostali slučajevi koji nisu simetrični prikazuju se detaljem nacрта.

9.2 Primjena i tumačenje simbola i oznaka iz standarda brodogradilišta

Presjek koji prethodno prikazan na slici 9. 1: Primjer karakterističnog presjeka iz Knjige zavarivanja (Uzdužni presjek na LP720mm/CL) je korišten za podlogu tj. pojašnjenje kako se tumače simboli i oznake iz standarda kako bi se razumjelo na koji način se daju upute za provedbu kroz ostale presjeke te cjelokupnu dokumentaciju. Istaknuti simboli i oznake su istaknuti plavom bojom, a potom su dana pojašnjenja.



Slika 9. 11: Primjer presjeka iz Knjige zavarivanja (Uzdužni presjek na LP720mm/CL), primjena standarda, [13]

Primijenjene su sljedeće oznake i simboli, [14]:

Sučeljeni V spoj:

- oznaka PVK – 1
- postupak zavarivanja: MAG, jednostrano
- način izvedbe zavarivanja: poluautomatom
- debljina limova: $t = 5,5 - 25$ mm
- $s = 6$ mm , tolerancija ± 2 mm
- ostale dimenzije: $a = 40^\circ$ (tol. = 0), $b = 180^\circ$ (tol. = + 10/-20mm)

Sučeljeni polovični V spoj:

- oznaka PVK – 2
- postupak zavarivanja: MAG, jednostrano
- način izvedbe zavarivanja: poluautomatom
- debljina limova: $t = 5,5 - 25$ mm
- $s = 6$ mm , tolerancija ± 2 mm
- ostale dimenzije: $a = 40^\circ$ (tol. = 0), $b = 180^\circ$ (tol. = + 10/-20 mm)

Sučeljeni V spoj:
(sekcijski spoj)

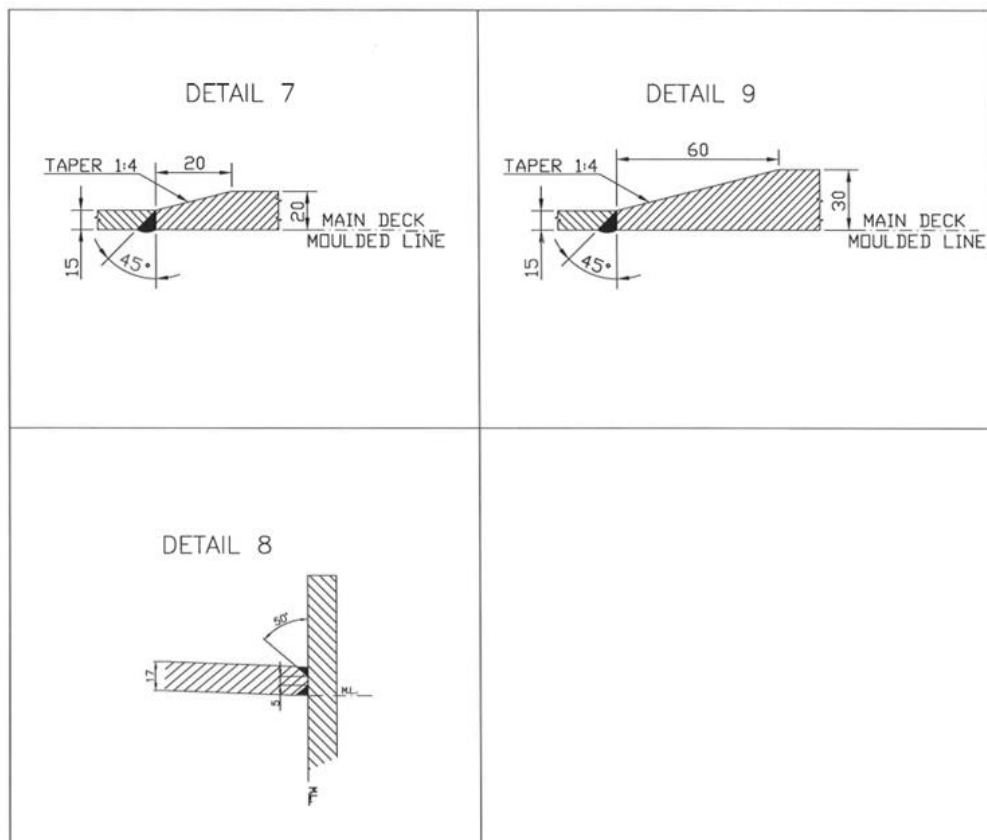
- oznaka RV – 1
- postupak zavarivanja: REL, dvostrano
- način izvedbe zavarivanja: ručno
- debljina limova: $t = 0 - 25$ mm
- $s = 2$ mm , tolerancija ± 2 mm
- ostale dimenzije: $a = 50^\circ$ (tol. = $\pm 5^\circ$)

Kutni T-spoj:

- oznaka PF – 2, npr. $a =$ dimenzija zavara $\Delta 3,50$
- postupak zavarivanja: MAG, dvostrano ili jednostrano
- način izvedbe zavarivanja: poluautomatom
- tolerancija ± 2 mm

Kutni T-spoj:

- oznaka RT – 1
- postupak zavarivanja: REL, dvostrano
- način izvedbe zavarivanja: ručno
- debljina limova: $t = 5,0 - 20 \text{ mm}$
- tolerancija $\pm 2 \text{ mm}$
- FP potpuno protaljen



Slika 9. 12: Detalj primjene skošenja i stanjenja s jedne strane iz Knjige zavarivanja , primjena standarda, [14]

10. IACS (Međunarodno Udruženje Klasifikacijskih Društava)

IACS (Međunarodno udruženje klasifikacijskih društava) je neprofitna članica organizacija koja utvrđuje minimalne tehničke standarde i zahtjeve vezane uz pomorsku sigurnost i zaštitu okoliša. Također, osigurava dosljednu primjenu tih standarda kroz svoje zadatke, stručno osoblje i projektne timove. IACS provodi odgovornosti putem sheme certifikacije sustava kvalitete (Quality System Certification Scheme - QSCS), koju svi članovi moraju poštovati, osiguravajući profesionalni integritet i održavanje visokih standarda, [9].

IACS ima priznatu ulogu glavnog tehničkog savjetnika od strane IMO-a (Međunarodna pomorska organizacija). Više od 90% svjetskog teretnog prijevoza podvrgnuto je pravilima i standardima klasifikacijskog dizajna, konstrukcije i usklađenosti tijekom životnog vijeka, postavljenih od strane jedanaest društava članica IACS-a. Norme i standardi se također odnose na zavarivanje, [9].



Guidance:

For materials exceeding 25mm in thickness for which the test temperature is -60°C or lower, the application of specially treated steel or steels in accordance with Table 3 may be necessary.

Table 3 Plates, sections and forgings ⁽¹⁾ for cargo tanks, secondary barriers and process pressure vessels for design temperatures below -55°C and down to -165°C . ⁽²⁾ Maximum thickness 25mm. ⁽³⁾

Minimum design temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Chemical composition ⁽⁴⁾ and heat treatment	Impact test temperature ($^{\circ}\text{C}$)
-60	1.5% nickel steel - normalized	-65
-65	2.25% nickel steel - normalized or normalized and tempered ⁽⁵⁾	-70
-90	3.5% nickel steel - normalized or normalized and tempered ⁽⁵⁾	-95
-105	5% nickel steel - normalized or normalized and tempered ^{(5), (6)}	-110
-165	9% nickel steel - double normalized and tempered or quenched and tempered	-196
-165	Austenitic steels (e.g. types 304, 304L, 316, 316L, 321, and 347) Solution treated ⁽⁷⁾	-196
-165	Aluminium alloys; e.g. type 5083 annealed	Not required
-165	Austenitic Fe-Ni alloy. (36% nickel) Heat treatment as agreed	Not required
TENSILE AND TOUGHNESS (IMPACT) TEST REQUIREMENTS		
PLATES	Each "piece" to be tested.	
SECTIONS	Batch test.	
CHARPY V-NOTCH TEST		
PLATES	Transverse test pieces. Minimum average energy value E _{27J}	
SECTIONS AND FORGINGS	Longitudinal test pieces. Minimum average energy value E _{41J}	

Slika 10. 1: Primjer 1 IACS, [9]

Table 5 Plates and sections for hull structures required by G1.9.1 and G1.9.4

Minimum design temperature of hull structure (°C)	Maximum thickness (mm) for steel grades in accordance with W1.2.8						
	A	B	D	E	AH	DH	EH
0 and above ⁽¹⁾							
-5 and above ⁽²⁾				Normal practice			
down to -5	15	25	30	50	25	45	50
down to -10	X	20	25	50	20	40	50
down to -20	X	X	20	50	X	30	50
down to -30	X	X	X	40	X	20	40
Below -30	In accordance with Table 2 except that the thickness limitation given in Table 2 and the supplementary requirements for thicker material given in footnote 2 of that Table do not apply.						
<p>NOTES:</p> <p>"x" means steel grade not to be used.</p> <p>(1) For the purpose of G1.9.4</p> <p>(2) For the purpose of G1.9.1</p>							

Slika 10. 2: Primjer 2 IACS, [9]

11. ZAKLJUČAK

Rad istražuje ključne aspekte zavarivanja u brodogradnji s posebnim fokusom na primjenu specijaliziranih brodograđevnih softvera. Analizirajući proces zavarivanja, istaknut je značaj softverskih alata u preciznom definiranju zavarenih spojeva, pridonoseći time optimizaciji strukturne čvrstoće brodova. Ova tehnološka unapređenja imaju potencijal poboljšati efikasnost gradnje plovila, čime se osigurava visoka razina kvalitete.

Paralelno s time, rad razmatra zahtjeve za definiranjem zavarenih spojeva sukladno relevantnim propisima, naglašavajući ključnu ulogu normi i standarda u osiguravanju sigurnosti i kvalitete u brodogradnji. Pravilno poštivanje tih zahtjeva ključno je za izgradnju plovnih objekata koji udovoljavaju najvišim industrijskim standardima.

Detaljno je analiziran sadržaj knjige zavarivanja (Welding Booklet, prema DNV-u registru brodova) za odabrani tip broda – Bulk . Ovaj uvid omogućio je razumijevanje specifičnosti zavarivanja u kontekstu tankera, identificirajući posebne zahtjeve ovog tipa plovila i prilagodbu procesa zavarivanja prema tim zahtjevima.

Kroz suradnju s tvrtkom „MarDesign“ Rijeka, ostvarena je odlična suradnja koja je obogatila istraživanje u stvarnim iskustvima iz brodograđevne industrije. Ta suradnja pridonijela je raznovrsnoj i pouzdanoj dokumentaciji, pružajući dublji uvid u stvarne prakse i izazove s kojima se susreću stručnjaci u ovom području.

U konačnici, ovaj rad pruža sveobuhvatan uvid u kompleksnost zavarivanja u brodogradnji, kombinirajući teorijski okvir s praktičnim saznanjima. Očekuje se da će rezultati ovog istraživanja doprinijeti unaprjeđenju procesa zavarivanja, podižući standard kvalitet i sigurnosti u domeni brodogradnje.

12. LITERATURA

- [1] Pavletić D., Zavarivanje I, nastavni materijal, Tehnički fakultet Rijeka, 2020.
- [2] Zamarin A.,Konstrukcija broda II, nastavni materijal“, Tehnički fakultet Rijeka, Rijeka, 2020.
- [3] Hadjina M.: „Tehnologija brodogradnje i Osnove gradnje broda“, nastavni materijal, Tehnički fakultet Rijeka, Rijeka 2021.
- [4] Anzulović B., Zavarivanje i srodni postupci – skripta, FESB, Split, 1996.
- [5] Lomčar Đ., Bezjak V., Priručnik za zavarivanje, Zagreb, 1987.
- [6] Samardžić I., Zavarivanje i zavarivaivanju srodne tehnike, Slavonski brod, 2003.
- [7] Furlan Z., Lučin N., Pavelić A., Tehnologija gradnje broskog trupa, Zagreb, 1986.
- [8] DNV – GL: „Rules for classification: Ships — DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch13“, 2017.
- [9] IACS: „Requirements concerning materials and welding“, IACS Req., 2022.
- [10] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Zavarivanje>
- [11] Bičić M., Gotesman M., Greške u zavarenim spojevima, Uljanik Pula, 2005.
- [12] Stanislaw Ćosić, Osiguranje kvalitet zavarenih spojeva u brodograđevnom procesu, fsb_2016_predd_sveuc_pdf
- [13] Dokument “Welding booklet”, samoiskrcavajući brod za prijevoz rasutog terete, Brodogradilište 3. Maj
- [14] Uljanik standardi brodogradnje, Zavarivanje – Izrada trupa (Postupci zavarivanja i priprema spojeva za zavarivanje)

13. POPIS OZNAKA I KARTICA

ZUT (Zona Utjecaja topline)

REL (Ručno Elektrolučno Zavarivanje)

EPP (Elektrolučno Pod Praškom)

MIG (Metal Inert Gas)

MAG (Metal Active Gas)

DNV (Der Norske Veritas)

IWE (International Welding Engineer)

IACS (Međunarodno Udruženje Klasifikacijskih Društava)

IMO (Međunarodna Pomorska Organizacija)

14. POPIS SLIKA

Slika 1.1. 1: Zavar i zavreni spoj između elemenata 1 i 2.....	4
Slika 1.1. 2: Dijelovi zavarenog spoja.....	4
Slika 1.1. 3: Osnovne dimenzije zavara	5
Slika 1.1. 4 Dimenzije zavara prema Lloyd registru:.....	5
Slika 1.2. 1: Prikaz metaluške strukture zavarenog spoja ugljičnog čelika s približno 0.2% C	6
Slika 1.2. 2: Struktura zavarenog spoja	6
Slika 1.2. 3: Zona utjecaja topline (ZUT)	7
Slika 1.3. 1: Elementi "V" žlijeba	8
Slika 1.3. 2 Elementi "X" žlijeba:	8
Slika 1.3. 3: Oblici najčešće korištenih žlijebova i odgovarajućih šavova	9
Slika 1.4. 1: Osnovni dijelovi šava.....	9
Slika 1.4. 2: Korijeni i završeni zavar	10
Slika 1.4. 3: Primjer višeslojnog zavarivanja	10
Slika 1.4. 4: Dubina i visina šava	10
Slika 1.4. 5: Element šava kutnog spoja.....	11
Slika 1.4. 6: Elementi šava sučelnog spoja	11
Slika 2.1. 1: Izgled limova A, B, C i D kategorije prema standardu ISO 8501-1	13
Slika 2.2. 1: Procjena zavarljivosti na temelju oznake čelika	14
Slika 2.2. 2: Primjer procjene zavarljivosti čelika u brodogradnji.....	15
Slika 3.1. 1: Zavarivanje električnim lukom s taljivom/netaljivom elektrodom.....	16
Slika 3.1. 2: Katoda/Anoda	17
Slika 3.1. 3: Zavarivanje s obloženom ili golom taljivom elektrodom	19
Slika 3.2. 1: REL postupak zavarivanja	20
Slika 3.3. 1: Prikaz EPP zavarivanja	23
Slika 3.4. 1: Prikaz MIG/MAG postupka zavarivanja	26
Slika 3.4. 2: Dodavanje žice metodom guranjem ("push").....	27
Slika 3.4. 3: Dodavanje žice metodom "push-pull"	28
Slika 4. 1: Elementi oznake zavarenog spoja	30
Slika 4. 2: Osnovne oznake zavarenog spoja (šava)	31
Slika 4. 3: Dopunske oznake za oblik površine šava	31
Slika 4. 4: Primjeri za dopunsko označavanje oblika površine šava.....	32
Slika 4. 5: Dopunska oznaka predviđenog postupka zavarivanja (po standardima)	32

Slika 5: Osnovni tipovi spojeva.....	33
Slika 5. 1: Sučeljni spojevi.....	34
Slika 5. 2: Preklopni spoj	34
Slika 5. 3: Kutni spoj.....	35
Slika 5. 4: Križni spoj.....	35
Slika 5. 5: Kutni rubni spoj	36
Slika 5. 6: Prirubni spoj.....	36
Slika 7.1. 1: Pomagala kod direktne vizualne kontrole (povećalo lijevo, zrcalo desno).....	44
Slika 7.1. 2: Mjerilo za provjeru debljine kutnog zavarenog spoja.....	44
Slika 7.1. 3: Mjerilo s nonijusom	45
Slika 7.1. 4: Shema ultrazvučnog sustava	47
Slika 7.1. 5: Princip rada metode ispitivanja magnetskim česticama	47
Slika 7.1. 6: Ispitivanje penetrantskim tekućinama.....	48
Slika 8.3. 1: Dimenzije kutnog zavara prema DNV-u	55
Slika 8.4. 1: Dimenzije sučelnog zavara prema DNV-u	57
Slika 8.4. 2: Priprema za sučeljni spoj	58
Slika 8.4. 3: Izveden sučeljni spoj.....	58
Slika 8.6. 1: Isprekidani zavar prema DNV-u	59
Slika 8.6. 2: Završetak zavara kod tankova.....	60
Slika 8.7. 1: Djelimično provaren spoj	61
Slika 8.8. 1: Provar palube i dna	61
Slika 8.8. 2: Primjer nepropusnog kutnog spoja	62
Slika 9. 1: Primjer presjeka iz Knjige zavarivanja (Uzdužni presjek na LP720mm/CL), [13].....	63
Slika 9. 2: Primjer detalja iz Knjige zavarivanja, [13]	64
Slika 9. 3: Detalj kutnog zavara i način označavanja iz Knjige zavarivanja, [13].....	64
Slika 9. 4: Primjer izgleda tablice faktora i veličine zavara iz Knjige zavarivanja, [13]	65
Slika 9. 5: Primjer detalja zavarenih spojeva iz standarda brodogradilišta, [14]	67
Slika 9. 6: Primjer detalja zavarenih spojeva iz standarda brodogradilišta, [14]	67
Slika 9. 7: Primjer detalja zavarenih spojeva iz standarda brodogradilišta, [14]	68
Slika 9. 8: Primjer detalja zavarenih spojeva iz standarda brodogradilišta, [14]	68
Slika 9. 9: Stanjenje s jedne strane, [14]	69
Slika 9. 10: Obostrano simetrično stanjenje, [14]	69
Slika 9. 11: Primjer presjeka iz Knjige zavarivanja (Uzdužni presjek na LP720mm/CL), primjena standarda, [13]	70
Slika 9. 12: Detalj primjene skošenja i stanjenja s jedne strane iz Knjige zavarivanja , primjena standarda, [14]	72

Slika 10. 1: Primjer 1 IACS, [9].....	73
Slika 10. 2: Primjer 2 IACS, [9].....	74

15. POPIS TABLICA

Tablica 1: Procjena zavarljivosti na temelju oznake čelika, [1].....	15
Tablica 2: Sučeljni i rubni spoj, [1].....	37
Tablica 3: Kutni spoj i dvostrani kutni šav, [1].....	37
Tablica 4: Jednostrani/dvostrani kutni šav, [1]	38
Tablica 5: Točkasti i okrugli šav u otvorima, [1].....	38
Tablica 6: Jednostrani/dvostrani "I" šav, [1]	39
Tablica 7: Jednostrani "V" šav, [1].....	39
Tablica 8: Jednostrani/dvostrani "Y" šav, [1].....	40
Tablica 9: Jednostrani/dvostrani "U" šav, [1].....	40
Tablica 10: Jednostrani/dvostrani "V" šav s dva lima različitih debljina, [1]	41
Tablica 11: Kombinirani jednostrani "V" šav i kutni zavar s jednom skošenom stranicom, [1] ..	41
Tablica 12: Faktor zavarivanja C, [8].....	56

16. SAŽETAK

Analiza definiranja zavarenih spojeva u gradnji broda ključna je za osiguravanje sigurnosti, izdržljivosti i dugovječnosti samog plovila. Zavareni spojevi igraju ključnu ulogu u strukturalnom integritetu broda, pa je njihovo pravilno definiranje od suštinskog značaja.

U gradnji broda, prvo se određuje vrsta materijala koji će se koristiti, kao i debljina materijala ovisno o području plovidbe. Zatim se detaljno planiraju vrste zavara koji će se primijeniti, uzimajući u obzir specifičnost brodskog okoliša i rizik od korozije. Važno je također uzeti u obzir vrstu plovidbe i uvjete plovidbe na koje će brod biti izložen.

Analiza uključuje proćavanje normativa (norme) i standarda koji reguliraju zavarivanje u brodogradnji, kako bi se osigurala usklaćenost s industrijskim smjericama i sigurnosti propisa. Također, posebna pažnja posvećuje se kontrola kvalitete tijekom procesa zavarivanja, uključujući vizualne inspekcije, radiografske preglede i druge tehnike kontrole zavarenog spoja.

Ključni aspekti analize obuhvaćaju i obučeno osoblje, upotrebu odgovarajuće opreme za zavarivanje te primjenu najnovijih tehnologija i inovacija u području zavarivanja. Sve ove mjere imaju za cilj osigurati izgradnju broda s visokim standardima kvalitete i sigurnosti, te tako doprinose uspješnom funkcioniranju broda tijekom njegovog radnog vijeka.

Ključne riječi: zavareni spojevi, vrste zavara, kontrola zavara, norme i standardi, DNV (Det Norske Veritas), postupci zavarivanja, kutni i sućeljni zavari

17. SUMMARY

The analysis of defining welded joints in shipbuilding is crucial for ensuring the safety, durability, and longevity of the vessel itself. Welded joints play a key role in the structural integrity of a ship, making their proper definition of paramount importance.

In ship construction, the first step involves determining the type of material to be used, as well as the thickness of the material depending on the navigational area. Subsequently, the types of welds to be applied are meticulously planned, taking into account the specific maritime environment and the risk of corrosion. It is also important to consider the type of navigation and the operating conditions to which the ship will be exposed.

The analysis includes a study of regulations and standards that govern welding in shipbuilding, ensuring compliance with industry guidelines and safety regulations. Special attention is also given to quality control during the welding process, including visual inspections, radiographic examinations, and other welding joint inspection techniques.

Key aspects of the analysis encompass trained personnel, the use of appropriate welding equipment, and the application of the latest technologies and innovations in the field of welding. All these measures aim to ensure the construction of a ship with high-quality standards and safety, contributing to its successful operation throughout its operational life.

Keywords: welded joint, types of weldes, weld inspection, standards and regulations, DNV (Det Norske Veritas), welding procedures, fillet and groove welds.