

Proces izrade cijevi u cjevarskoj radionici

Laginja, David

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:263368>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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



POLITEHNIKA PULA
Visoka tehničko - poslovna škola

DAVID LAGINJA

PROCES IZRADE CIJEVI U CJEVARSKOJ RADIONICI

Završni rad

Pula, rujan 2014. Godine

Završni rad preddiplomskog stručnog studija Politehnike

PROCES IZRADE CIJEVI U CJEVARSKOJ RADIONICI

Student: David Laginja

Kolegij: Tehnika materijala

Smjer: Inženjerstvo proizvodnje

Mentor: prof. dr. sc. Božo Smoljan

Pula, rujan 2014.godine

IZJAVA O SAMOSTALNOSTI IZRADE ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da sa završni rad pod temom „**PROCES IZRADE CIJEVI U CJEVARSKOJ RADIONICI**“ izradio samostalnom pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Bože Smoljana, koristeći se literaturom i znanjem stečenim na Politehničkom studiju Visoko tehničko - poslovne škole.

U završnom radu su navedeni tuđi zaključci, postavke i izrazi, te sam ih prikazao sa fusnotama koje su povezane s bibliografskim jedinicama.

Rad je pisan u duhu hrvatskog jezika i u skladu s nacionalnim normama o autorskom radu ili dijelu.

Student: David Laginja

Sažetak

Zbog sve veće konkurentnosti na međunarodnom tržištu brodograđevne industrije, javlja se potreba za optimiziranjem procesa unutar samih brodogradilišta, kako bi moglo opstati na sve zahtjevnijem međunarodnom tržištu. Uljanik grupa kao moderno poduzeće okrenulo se visokotehnološkoj sofisticiranoj niši brodova, te je zbog toga neophodno kontinuirano poboljšavati procese unutar svih organizacijskih jedinica brodogradilišta.

U ovom završnom radu prikazan je proces izrade cijevi u brodogradilištu Uljanik. Prvi dio ovog rada je uvodni dio i odnosi se na Uljanik grupu, lokaciju cjevarske radionice, te njezinu organizacijsku strukturu, dok se u drugom djelu detaljnije razrađuje materijali i faze procesa potrebne za izradu cijevi unutar organizacijske jedinice 1732 cjevarska radionica.

Sadržaj

1.	UVOD	1
1.1.	Opis i definicija problema	1
1.2.	Cilj i svrha rada	1
1.3.	Hipoteza	1
1.4.	Metode rada	1
1.5.	Struktura završnog rada	2
2.	POVIJEST	3
2.1.	Cjevarska radionica	4
3.	OSNOVE IZRADE CIJEVI	7
3.1.	Elementi cjevovoda	8
3.2.	Vrste cijevi	9
3.3.	Ispitivanje materijala	15
3.4.	Dokumentacija potrebna za izradu cijevi	18
3.5.	Spajanje cijevi	19
4.	TEHNOLOGIJA IZRADE CIJEVI	21
4.1.	Osnovne tehnološke faze procesa izrade cijevi su:	21
4.1.1.	Skladištenje cijevi	22
4.1.2.	Transport cijevi	22
4.1.3.	Trasiranje cijevi	23
4.1.4.	Rezanje cijevi	23
4.1.5.	Savijanje cijevi	27
4.1.6.	Izrada cijevnih navoja	32
4.1.7.	Ručna obrada	34
4.1.8.	Zavarivanje	36
4.1.9.	Brušenje cijevi	39
4.1.10.	Kontrola i tlačenje cijevi	40
4.1.11.	Čišćenje cijevi	42
4.1.12.	Antikorozivna zaštita cijevi (akz)	42
4.2.	Pomoćna radionica	43

5.	MOGUĆA POBOLJŠANJA.....	44
6.	ZAKLJUČAK.....	46
7.	POPIS LITERATURE:.....	48
8.	POPIS SLIKA.....	50
9.	POPIS TABLICA.....	51

1. UVOD

Proučavanje organizacije, njenih unutarnjih i vanjskih čimbenika, ključnih dimenzija organizacije, organizacijske strukture, te razlika u organizaciji faza procesa poslovnih subjekata čine glavnu svrhu pisanja ovog rada. Još od davnina se organizacija počela proučavati pa se tako počinju otkrivati i razni faktori koji utječu na oblikovanje organizacije, odnosno na oblikovanje njezinih procesa. Organizacija zapravo postoji od kad postoji i čovjek. Čovjek nikada nije mogao bez organizacije, a ne može ni danas, upravo zbog toga jer se s organizacijom zadaci obavljaju brže, jednostavnije i efikasnije. Ona postoji da bi se ostvario neki cilj, nije važno dali je cilj ostvariti profit ili ne, već da je ona tu radi ostvarivanja zacrtanog cilja koji će njoj donijeti korist.

1.1. Opis i definicija problema

Osnovni problem čime se ovaj završni rad bavi je prikaz odvijanja faza procesa izrade cijevi u organizacijskoj jedinici 1732, točnije cjevarskoj radionici brodogradilišta Uljanik, te iskazivanje mogućih poboljšanja unutar samog procesa.

1.2. Cilj i svrha rada

Cilj ovoga rada je analizirati materijal za izradu cijevi, analizirati postupak proizvodnje cijevi u cjevarskoj radionici i postaviti optimalni postupak proizvodnje brodske cijevi u cjevarskoj radionici brodograđevne industrije.

1.3. Hipoteza

Samo cjelovitim upravljanjem dokumentacijom stvara se podloga i preduvjet za lakšu integraciju sustava obrazovanja kroz procese studiranja. Na taj se način doprinosi bržoj prilagodbi i edukaciji svih (učesnika ili) sudionika u procesima sustava kvalitete.

1.4. Metode rada

Metode rada koje su korištene pri izradi ovog završnog rada jesu :

- opisna i deskriptivna,
- analize i sinteze,
- kompilacije,
- klasifikacije,
- deskriptivna,
- grafička i
- matematička metoda.

1.5.Struktura završnog rada

Rad je podijeljen u devet poglavlja, U prvom poglavlju dat je kratki uvod, zatim se definira se problem rada, postavlja se cilj i definira svrha rada, postavlja se polazna hipoteza, navode se metode koje se koriste u radu, te se opisuje struktura rada. U drugom poglavlju prikazana je povjest Uljanik brodogradilišta, orijentiranost Uljanik grupe, te lokaciju i organizacijsku strukturu cijevarske radionice. Treći dio posvećen je standardima u cjevarstvu, elementima i vrstama cijevi, načinima ispitivanja cijevi u brodogradilištu, dokumentaciji potrebnoj za izradu cijevi i načinu spajanju cijevi. Četvrto poglavlje detaljnije prikazuje sve faze procesa izrade cijevi u cjevarskoj radionici brodogradilišta Uljanik, s naglaskom na toleranciju u proizvodnji. Moguća poboljšanja unutar proizvodnog procesa cjevarske radionice prikazana su u petom poglavlju, dok je u šestom poglavlju prikazan kratak rezime završnog rada, zatim u sedmom prikazan je popis korištene literature, dok su osmom i deveto poglavlje namjenjeni za popis slika i tablica.

2. POVIJEST

Brodogradilište Uljanik jedno je od najstarijih brodogradilišta u svijetu, osnovano je 1856. godine u pulskom zaljevu, kao brodogradilište Austro-Ugarske ratne mornarice. Ime Uljanik je dobilo po otoku na kojemu su nekada rasle masline a danas su navozi. Danas čuva jedno stablo kao simbol. Prvi temeljac za gradnju broda položen je 9. prosinca iste godine a dvije godine kasnije 5. listopada porinut je prvi brod „Kaiser“ nakon njega uslijedila je gradnja 55 raznih brodova za flotu austrougarske mornarice. U svom dugom životnom vijeku brodogradilište je prošlo kroz različita razvojna razdoblja. U vremenu talijanske vladavine bavilo se popravcima, dokovanjem i kao rezalište starih brodova. Za vrijeme 2. Svjetskog rata, te nakon pada Italije brodogradilište postaje njemačka pomorska baza. Tek od 1947. godine u sklopu Jugoslavije obnavlja se i nastavlja s dokovanjem, popravcima i doradama brodova, te četiri godine kasnije i s prvom novogradnjom. Unutar samog poduzeća razvijaju se strojogradnja, elektroproizvodnja i druge proizvodnje, važno je istaknuti da npr. strojogradnja i ostale radionice i dan danas postoje. Od raspada Jugoslavije 1990. godine u Republici Hrvatskoj postaje dioničko društvo koje je i dan danas. Brodogradilište za vrijeme rata proživljava krizne godine ali ipak nastavlja s proizvodnjom brodova sve do 1998 kada ulazi u razdoblje velike tehnološke obnove. Od 1947. do sredine 2000. godine brodogradilište isporučuje 201 brod. Brodovi koji su se izrađivali u tom periodu išli su kupcima sa svih kontinenata, te su ti brodovi bili različitih namjena npr. za transport nafte i naftnih prerađevina, za prijevoz rasutih tereta, putnika, kontejnera, kamiona vagona, automobila i sl.

Ono čime se Uljanik ponosi je gradnja i supertankera VLCC (Very Large Crude Carrier) kojima su dvije polovice broda spajane u moru, te je na taj način od 1972 do 1976 godine napravljeno 11 brodova.

U novije doba ističe se integracija dvaju brodogradilišta Uljanik i 3. Maj u Uljanik grupu. U svojim brodogradilištima Uljanik u Puli i 3. Maj u Rijeci, zatim Strojogradnji i Tvornici opreme Uljanik Grupa gradimo najmodernije brodove visokog stupnja složenosti

i brodske motore te izrađujemo ostale metalne konstrukcije. Nalazimo se u Hrvatskoj, na Sjevernom Jadranu i djelujemo na dvjema lokacijama u Puli i Rijeci.¹

Bitna razlika između sve konkurentnijih južnokorejskih brodogradilišta i europskih je ta da su europska brodogradilišta znatno manja. Glavni razlog leži u činjenici njihove manje veličine je orijentacija na gradnje manjeg broja brodova.

Sama brodogradilišta kako bi opstala na svjetskom tržištu postaju sve složenija. Uljanik brodogradilište kako bi opstalo na sve jačem međunarodnom tržištu okrenulo se složenijoj niši visoko tehnoloških brodova.

Uljanik grupa je danas moderna, efikasna proizvodno-poslovna grupacija s gotovo četiri tisuće zaposlenih. Spremna u najkraćem roku i novoj kvaliteti odgovoriti na sve zahtjeve svjetskog brodograđevnog tržišta.

Misija poduzeća je „Snagom poslovnog ugleda, kvalitetom i pouzdanošću proizvoda i usluga, Uljanik pridonosi razvoju i zadovoljstvu svojih radnika, uspostavljanjem i razvojem primjerenih poslovnih odnosa s kupcima i poslovnim partnerima.“ Dok je vizija „Uljanik grupe je biti vodeća kreativna i inovativna poslovno-proizvodna grupa koja suvremenim načinom i sinergijskim učinkom (kada se postižu učinci veći od običnog zbrajanja učinaka pojedinačnih dijelova) stvara nove vrijednosti.“²

2.1.Cjevarska radionica

Organizacijska jedinica 1732, cjevarska radionica u brodogradilištu Uljanik smještena je u neposrednoj blizini obale kako bi se skratilo vrijeme transporta cijevi, te i samim time povećala efikasnost same organizacije (slika 1).

1. Cjevarska radionica
2. Radionica brušenja
3. Bravarska radionica i radionica za zavarivanje
4. Radionica tlačenja cijevi
5. Pomoćna radionica

¹ <http://www.uljanik.hr/index.php/hr/o-nama/povijest> (16.8.2014.)

² <http://www.uljanik.hr/index.php/hr/o-nama/misija-i-vizija> (16.8.2014.)

6. Radionica obojenih metala
7. Radionica kontrole cijevi
8. Otvoreno skladište cijevi



Slika 1. Smještaj radionica u sklopu organizacijske jedinice 1732

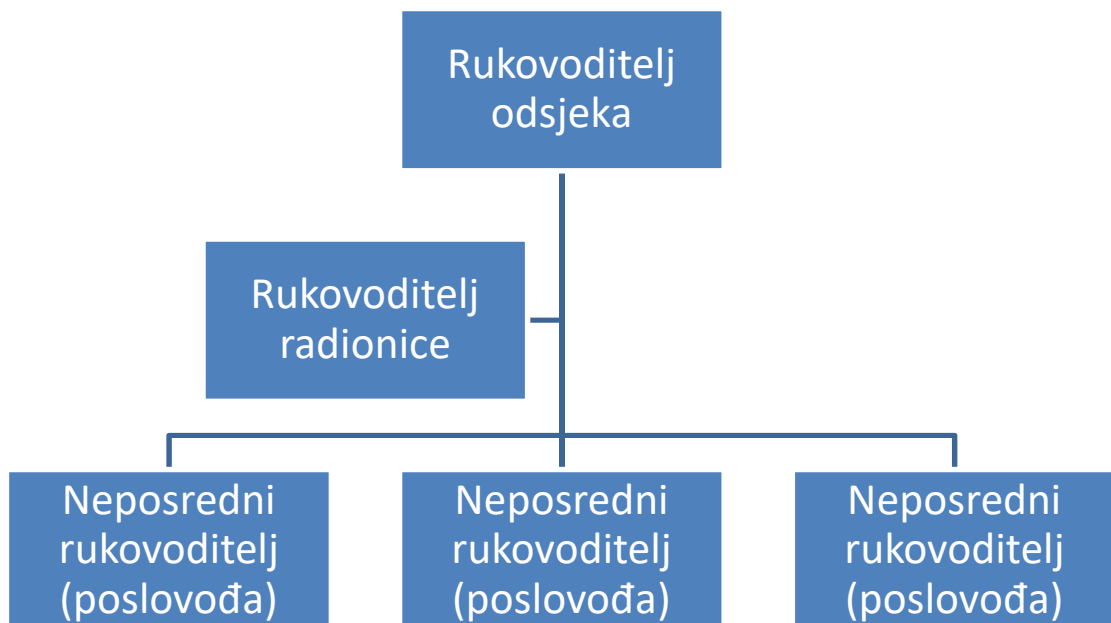
Izvor: Autor

Izrada cijevi u brodogradilištu Uljanik vrši se u 7 radionica, u cjevarskoj radionici vrši se strojna obrada cijevi i ručna obrada čeličnih cijevi, radionice tlačenja i brušenja su međusobno povezane, kao i radionica bravarske u kojoj se odvijaju radovi zavarivanja. Nadalje u pomoćnoj radionici odvijaju se radovi izmjena i prepravaka cijevi radionica obojenih metala je izdvojena radi specifičnosti takve obrade, te se time održava sustav kvalitete.

Faza opremanja broda uzima gotovo polovicu vremena izgradnje, ovisno o stupnju složenosti samoga broda. Kako bi se skratilo vrijeme i olakšalo opremanje broda cijevarski radovi započinju u ranoj fazi izrade trupa, opremanjem sekcija. Upravo iz toga razloga važno je poboljšati rad opremnih radionica (bravarska ,stolarska, cjevarska i sl.)

koje to moraju pratiti. Najveći dio opremanja broda otpada upravo na cjevarsku radionicu. Pravilnim procesnim pristupom izrade cijevi uvelike se smanjuje broj sati utrošenih cjevarske radove.

Rukovodna struktura unutar organizacijske jedinice 1732 radionica za izradu cijevi (slika 2). Sastoji se od rukovoditelja odsjeka koji obuhvaća cjevarska, bravarsku i stolarsku radionicu, rukovoditelj radionice odgovoran je za proces izrade cijevi i bravarsku radionicu, dok su poslovođe, odnosno neposredni zaduženi za faze procesa izrade cijevi.



Slika 2. Rukovodna struktura cjevarske radionice

Izvor: Autor

Neovisno tijelo koje ima veoma važnu ulogu u procesu izrade cijevi je kontrola. Dužnost unutarnje kontrole je pratiti faze procesa izrade cijevi, kako bi se održala zadana i očekivana kvaliteta proizvoda cjevarske radionice.

3. OSNOVE IZRADE CIJEVI

Kako bi proizvod bio upotrebljiv za veće područje primjene potrebno ga je standardizirati. Standard se dogovara sa kupcem, te predstavlja dogovor kupca i proizvođača. U prvom redu se to odnosi na kvalitetu i dimenzije proizvoda.

Unutar brodogradilišta se primjenjuju razni standardi, koji ovise o njihovoj namjeni. Sustav upravljanja kvaliteteom usklađen je sa međunarodnim standardima, nadalje „ULJANIK Brodogradilište je po ovom sustavu upravljanja odobreno od Lloyd's Register Quality Assurance, prema normi za sustave upravljanja kvalitetom ISO 9001:2008. Sustav se počeo razvijati 1994.godine a prvo odobrenje uslijedilo je 1996.godine. Od tada se certifikat obnavlja svake tri godine, kontinuirano s istom institucijom.“³

Brodogradnja je, zbog svoje širine najviše obuhvaćena granskim standardom, standard brodogradnje (SB) ovaj standard koji se odnosi na dokumentaciju brodogradnje, materijale, tehnologiju opremu i sl. Ovim standardom osim same brodogradnje obuhvaća i njezinu prateću industriju, odnosno proizvode koji se ugrađuju na brod.

Dimenzije cijevi osnova su standarda brodogradnje te se nazivanju, nazivni promjer (ND) (tablica 1). Nazivni promjer definira vanjski promjer cijevi tako npr ND 100 je cijev od 114,3 mm, ali ne i unutarnji promjer odnosno debljinu stijenke cijevi. Ostala armatura, pribornice, fazonski komadi su također standardizirani prema nazivnom promjeru, prema tome se oni mogu spajati.

Tablica 1. Standardne vrijednosti nazivnih promjera (ND)

³ <http://www.uljanik.hr/index.php/hr/uljanik-grupa/uljanik-brodogradiliste-dd/kvaliteta-okolis-zdravlje-i-sigurnost>

ND		ND		ND	
mm	col	mm	col	mm	col
1		10	3/8	125	5
1,2		15	1/2	150	6
1,5		20	3/4	200	8
2		25	1	250	10
2,5		32	1 1/4	300	12
3		40	1 1/2	350	14
4		50	2	400	16
5		65	2 1/2	450	18
6	1/8	80	3	500	20
8	1/4	100	4	ltd.	

Izvor: I. Marušić: Cjevarstvo u brodogradnji, Školska knjiga, Zagreb, 1983. g str. 27.

Na tablici su prikazani promjeri cijevi izraženi u colima, te su vrijednosti u colima preračunate u milimetre i zaokružene kako bi se sve skupa pojednostavilo.

3.1.Elementi cjevovoda

Na brodu su cjevovodi razgranati ovisno o stupnju složenosti broda i služe za prijenos goriva ,maziva, zraka, morske i slatke vode i sl. Sam cjevovod sastoji se od raznih elemenata ovisno o službi kojoj sam cjevovod pripada, složenosti broda i sl. Osnovni dijelovi brodskog cjevovoda su:

- cijevi,
- spojni elementi,
- brtve,

- fazonski cijevni dijelovi (lukovi , T komadi, i sl.),
- kompenzatori toplinskih dilatacija prolazi isl.,
- cijevna armatura (ventili, zasuni, i sl.) i
- mjerni i pokazni instrumenti.

3.2.Vrste cijevi

Cijevi su osnovni materijal za izradu brodskog cjevovoda. Zbog teških radnih uvjeta (vibracije, korozija, sigurnost i sl.) koji vladaju prilikom eksploatacije broda na cijevi i elemente cjevovoda postavljaju se stroži zahtjevi, to se osobito odnosi na brodove koji su visokog stupnja složenosti, u brodogradilištu Uljanik se to najviše očitovalo kod jaružala.

Materijali od kojih se cijevi izrađuju su:

- sivi lijev,
- čelični lijev,
- čelik,
- bakar,
- olovo,
- aluminij i
- polimerni materijali.

Izbor materijala koji će se upotrijebiti ovisi o više faktora:

- vrsti media,
- njegovoj temperaturi,
- tlaku,
- ekonomičnosti i
- uvjetima u kojima će se cjevovod nalaziti prilikom eksploatacije.

Najčešće korištene cijevi u brodogradnji su čelične cijevi, proračun debljine stijenke vrši se po sljedećim formulama. Formule vrijede samo za primjer vanjskog i unutarnjeg promjera cijevi $\frac{dv}{du}=1,7$

Debljina stijenke do 120 °C vrijedi formula:

$$s \geq \frac{d_v p}{2 \frac{K}{S} v} + c_1 + c_2$$

gdije je:

d_v (mm) - vanjski promjer cijevi

p (N/mm²) – najveći dopušteni radni tlak pri pogonskoj temperaturi

K (N/mm²) - karakteristična vrijednost čvrstoće materijala pri razini temp.

S - faktor sigurnosti, 1,7 za cijevi sa atestom za materijal, ako nema atesta onda iznosi 2

v - faktor slabljenja zbog zavarivanja

$v=1$ za bešavne cijevi

$v=0,9$ - za obostrano zavareni i žareni šav

$v=0,7...0,8...0,9$ - za zaverene cijevi

C_1 (mm)- dodatak na debljinu stijenke cijevi zbog nejednolikosti debljine stijenke pri proizvodnji

-za bešavne cijevi , ovisno o točnosti izrade:

$C_1=(0,11...0,22)*S$ (= 11%... 22% debljine stijenke)

-za šavne (zavarene) cijevi:

- $C_1 = 0,25... S \leq 3$ mm
- $C_1 = 0,35... S = 3... 10$ mm

- $C_1 = 0,5 \dots S \geq 10 \text{ mm}$
- $C_2 (\text{mm}) = 1 \text{ mm}$ – dodatak zbog korozije i istrošenja

Za temperature iznad 120°C

$$s \geq \frac{d_v p}{2 \frac{K}{S} v + p} + c_1 + c_2$$

Cjevovodi su na brodu često uslijed razlika u temperaturi izloženi značajnim toplinskim dilatacijama. Razlike u temperaturama mogu biti s obzirom na atmosferske utjecaje i s obzirom na radne uvjete odnosno medijem koji prolazi tim cjevovodom. Npr. ako je cjevovod dužine 50 m izrađen po zimi na 10°C a u radnim uvjetima temperatura dostiže 60°C javlja se temperaturna razlika od $\pm 25^\circ \text{C}$ izražena kao

Δt - temperaturna razlika u stjenkama cjevovoda.

Treba uzeti u obzir koeficijent toplinskog rastezanja $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Javlja se da je promjena duljine cjevovoda od:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta t = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 25 = 0,015 \text{ m} = 15 \text{ mm}$$

Modul elastičnosti čelika je $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

Kada bi cjevovod ima samo mjestimična uporišta, odnosno čvrste točke. Dilatacije bi bile onemogućene, te bi se u cjevovodu stvarala naprezanja:

$$\text{relativna deformacija } \epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \epsilon \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

$$\sigma = E \cdot \epsilon = E \cdot \alpha \cdot \Delta t = 2,1 \cdot 10^5 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 25 = 63 \text{ N/mm}^2$$

Kao primjer uzmimo cijev ND 100 sa debljinom stijenke 4,5 mm koja ima površinu poprečnog presjeka

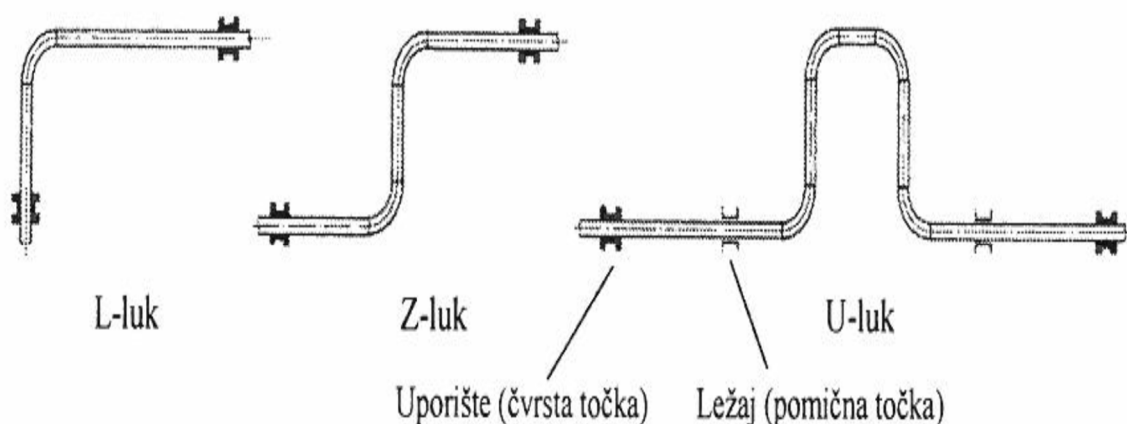
$$A = \frac{\pi}{4} (dv^2 + du^2) = \frac{\pi}{4} (114,3^2 + 105,3^2) = 1548 \text{ mm}^2$$

To bi značilo da bi sila naprezanja bila:

$$F = \sigma \cdot A = 63 \cdot 1548 = 97524 \text{ N} \approx 98 \text{ kN}$$

Što bi dovelo do prevelikih naprezanja odnosno sila koje bi se stvarale i samim time do neželjenih deformacija pa čak i loma cijevi. Kako bi se to spriječilo potrebno je omogućiti slobodno dilatiranje cijevi. Pravilno oblikovan cijevovod ima svoju prirodnu ili umjetnu kompenzacijsku dilataciju.

- Prirodna kompenzacija dilatacija cijevovod je najbolje oblikovati tako da njegovi dijelovi između fiksnih točaka mogu dilatirati (slika 3).

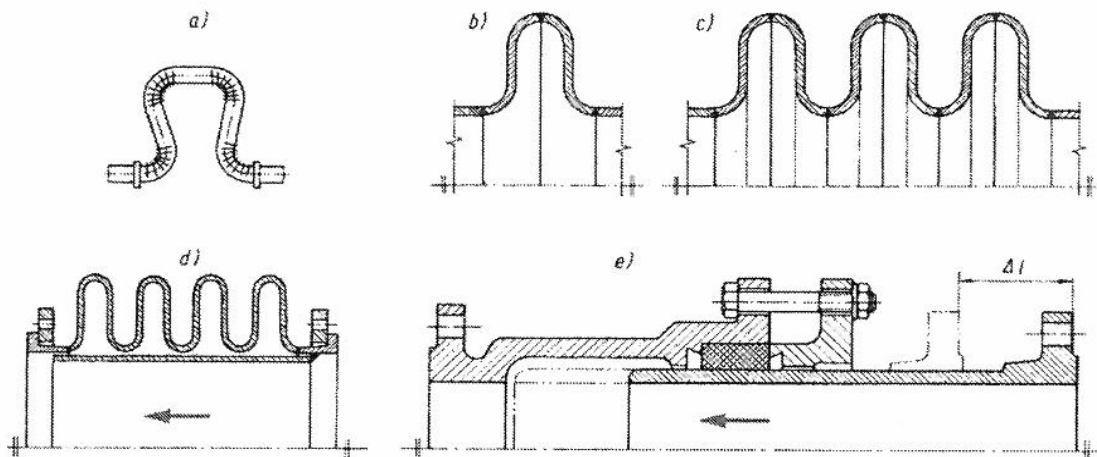


Slika 3. Prirodna kompenzacijska dilatacija

Izvor: B.Križan; Materijali sa predavanja, Visoka tehničko - poslovna škola, Pula, 2013. g

Prirodna dilatacija se lako može postići prirodnim putem L, Z i U lukovima. Sam prostor na brodu koji se oprema uvelike utječe na to da se kompenzatori dobivaju prirodnim putem radi ovisno skučenosti broskog prostora koji se oprema.

- Umjetna kompenzacija dilatacija cijevovoda postiže se ugrađivanjem posebnih kompenzatora (slika 4) koji omogućuju nesmetano dilatiranje cijevovoda.



Slika 4. Umjetna kompenzaciska dilatacija

Izvor: B.Križan; Materijali sa predavanja, Visoka tehničko - poslovna škola, Pula, 2013. g

- a) Cijevni luk u obliku lire,
- b) Lećasti kompenzator za male dilatacije,
- c) Višestruki lećasti kompenzator,
- d) Kompenzator od valovite cijevi,
- e) Deformacijska brtvenica za velike dilatacije

U dugačke ravne dijelove cjevovoda umeću se posebno izrađeni kompenzatori koji omogućuju slobodno dliatiranje cjevovoda.

U brodograđevnoj industriji najčešće se upotrebljavaju čelične bešavne cijevi koje su u skladu sa standardom za čelične cijevi SB 70940 (tablica 2), za cijevi nehrđajućeg čelika SB 70401, Bešavne cijevi od specijalne legure bakra sa niklom SB 4125

Tablica 2. Asortiman čeličnih bešavnih cijevi po SB

Nazivni promjer ND, mm			10 15 20 25 32 40 50 65 80 100 125 150 175 200 250 300 350 400																	
Vanjski promjer, mm			17,2 21,3 36,9 33,7 42,4 46,3 60,3 76,1 88,9 114,3 139,7 168,3 193,7 219,1 273,0 353,9 353,6 406,4																	
BEŠAVNE CIJEVI Materijal Č. 1212	normalne	debljina stijenke	2,3 2 2,6 2,6 2,6 2,6 2,9 2,9 3,2 3,8 4 4,5 5,4 5,9 6,3 7,1 8 8,8																	
		maks. dop. radni tlak	44 21 41 32 26 23 23 18 19 19 18 19 21 21 18 18 19 19																	
	teške	debljina stijenke	2,3 2,6 3,2 3,2 4 4 4,5 5 5 6,3 7,1 7,1 7,1 8 10 10 10 10																	
		maks. dop. radni tlak	44 52 65 52 62 54 53 49 42 45 43 36 31 32 33 28 26 22																	
	posebno teške	debljina stijenke	2,3 3,6 4,5 6,6 6,3 7,1 7,1 8 8 8,8 10 11 11 12,5 12,5 12,5 12,5 12,5																	
		maks. dop. radni tlak	44 103 118 130 122 125 100 92 79 69 66 61 53 54 44 37 33 29																	
	MIN. polumjer zakrivljenja, mm			80 100 100 120 150 190 220 285 420 500																

Izvor: I. Marušić: Cjevarstvo u brodogradnji, Školska knjiga, Zagreb, 1983. g str. 28.

Sve cijevi i cijevni elementi sa zahtijevom tvorničkog certifikata moraju biti obilježeni, odnosno označeni tvorničkim oznakama, koje moraju sadržavati:

- kategoriju materijala,
- brojčanu i drugu oznaku koja bi omogućila identifikaciju samog materijala ili elementa i
- tvornički znak,

osim ako nije drukčije određeno standardom. Nadalje osim same isporuke cijevi proizvođač je dužan isporučiti i tvornički certifikat koji sadrži podatke o :

- Postupku proizvodnje, broj taline i kemijski sastav.
- Sranje isporuke sa pojedinostima toplinske obrade.
- Identifikacijske oznake.
- Rezultate provedenih ispitivanja.

Nakon dostavljenih tvorničkih certifikata Organizacijska jedinica Nabava dostavlja kontroli, a nakon toga kontrola zatražuje verifikaciju odnosno odobrenje od registra. Ukoliko registar posumnja u vjerodostojnost navedenih tvrdnji datim u ranije navedenim dokumentima ima pravo zatražiti dodatno ispitivanje materijala.

3.3.Ispitivanje materijala

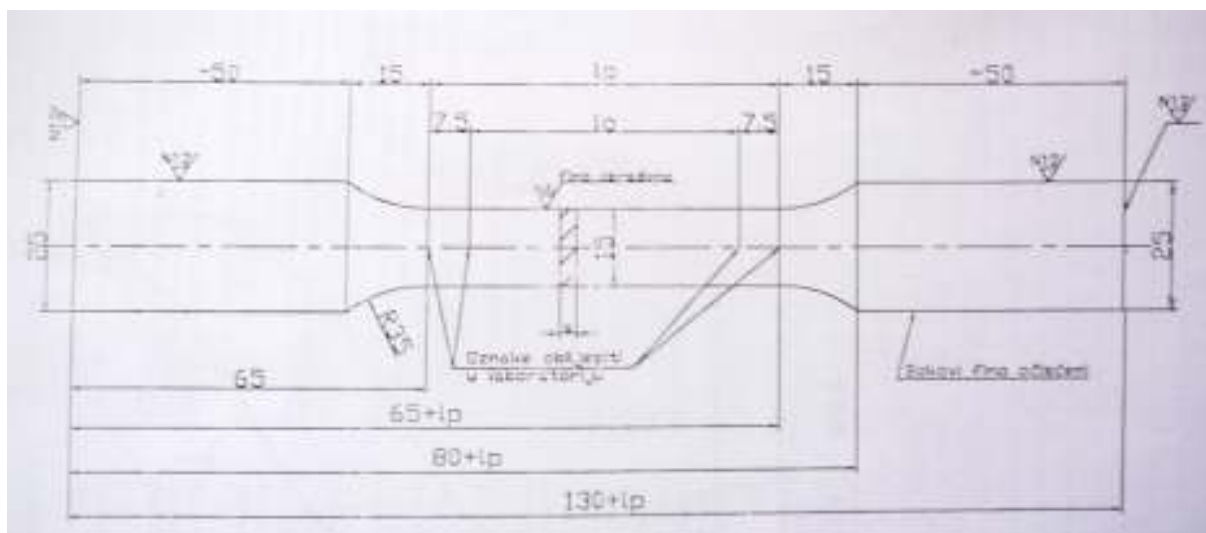
Zahtjevi koji se traže prije ispitivanja su da sama ispitivanja budu provedena u skladu sa nacionalnim i/ili međunarodnim normama (HRN EN ISO 6892-1). Ispitivanje moraju obavljati osobe koje su obrazovane koje primjenjuju umjerene strojeve i uređaje za ispitivanje. Na cijevima se vrši mehaničko i kemijsko ispitivanje. Mehaničko ispitivanje materijala vrši se u brodogradilištu dok se kemijsko ispitivanje vrši u METRIS-u (Centar za istraživanje materijala Istarske županije). Uzorak koji se ispituje je odabran iz određene skupine cijevi, te se iz njega izrađuje epruveta odnosno uzorak za ispitivanje. Epruveta je dio cijevi koji ima propisane dimenzije i kao takva podliježe propisnom ispitivanju. Ona mora biti propisno označena kako ne bi došlo do zabune iz kojeg uzorka je uzeta. Prilikom uzimanja uzorka i obrade epruvete treba izbjeći toplinu i deformaciju materijala koliko je to moguće. Ispitni uzorci za rastezanje ovise o više parametara, veličini, debljini cijevi isl. Važno je da se ispitivanje može obaviti na dovoljno dugom odsječku cijevi u punom presjeku. Prilikom zahvata cijevi treba osigurati mogućnost zahvata. Ukoliko je debljina cijevi dovoljno velika može se primjenjivati okrugla epruveta, dok kod cijevi velikih promjera mogu se uzeti plosnate ili okrugle epruvete i ukoliko je potrebno može se i cijev spljoštiti na krajevima kako bi bio osiguran zahvat u čeljustima stroja za rastezanje. Primjer dijelova cijevi za izradu epruvete prikazane na (slici 5). prikazuje epruvetu za vlačno ispitivanje na kidalici. Epruveta se prilikom djelovanja vlačne sile rasteže, te joj se povećava duljina dok joj se poprečni presjek sužava.



Slika 5. Dijelovi cijevi za izradu epruvete za statičko vlačno ispitivanje cijevi

Izvor: Autor

Oblik epruvete može biti izrezan kao traka te se tako izbjegne dodatnu obradu, ali se kod takvih uzoraka javlja mogućnost pucanja u zahvatu pa se postupak mora ponoviti, da bi se tome doskočilo rade se uzorci epruvete koji su dodatno obrađeni i prikazani na (slici 6).



Slika 6. Oblik epruvete za statičko vlačno ispitivanje cijevi s pripadajućim dimenzijama

Izvor: Uljanik brodogradilište, pravila za tehnički nadzor brodova

Ispitivanje splošnjavanjem cijevi za takva ispitivanja potrebno je uzeti uzorke od 1,5 promjer cijevi (najkraća duljina ne smje biti kraća od 10 mm, dok najveća duljina ne treba biti duža od 100 mm). Prilikom ispitivanja šavne cijevi treba postaviti u prešu da štav bude pod kutem od 90° o odnosu na smjer djelovanja sile. Za navedeno ispitivanje najčešće se primjenjuje norma ISO 8492-1986. Nakon ispitivanja epruvete treba temeljito vizualno provjeriti jeli sve u skladu za zahtivima.

Kemijskim ispitivanjem se vrši provjeravanje kemijskog sastava, u METRIS-u na stroju LECO GSD 500 (slika 7). Ovisno o vrsti materijala stroj ima mogućnost ispitati 22 kemijska elementa bilo kojeg materijala.



Slika 7.LECO GSD 500

Izvor: Autor

Kemijsko ispitivanje uzoraka je nešto drugačije u odnosu na mehaničko ispitivanje. Izrezuje se pločica dimenzija oko 50x50 mm da bi se na istoj moglo izvršiti više mjerenja. Prije samoga mjerenja potrebno je epruvetu dodatno obraditi brušenjem kako bi se poravnala podloga koja se ispituje i uklonile nečistoće od korozije, masti i sl. (slika 8).



Slika 8. Epruveta za kemijsko ispitivanje

Izvor: Autor

Nakon ispitivanja registar može utvrditi podudaraju li se rezultati dobiveni ispitivanjem s rezultatima proizvođača. Ukoliko se dogodi da ispitivanja ne zadovoljavaju tražene rezultate ispitivanje se ponovno izvodi iz istog uzorka (cijevi), ako se ni nakon drugog ispitivanja ne dobiju očekivani rezultati cijev treba odbaciti. Nakon toga treba iz iste ispitne skupine uzeti dvije druge cijevi, te ih podvrgnuti seriji ispitivanja. Ako se tijekom ispitivanja ne ispuni samo jedan od zahtijeva čitava skupina cijevi se smatra neprihvatljivom.

3.4.Dokumentacija potrebna za izradu cijevi

Operacijski list je dokument koji obuhvaća:

- radni list,
- tehničku dokumentaciju,
- specifikaciju materijala i
- predatnicu gotovih proizvoda (takozvani transportni list).

Tehnička dokumentacija obuhvaća sve potrebne sklopne nacрте radioničke nacрте i mjerne skice.

- Radionički nacrti su osnovni nacrti u faze pripremnog i proizvodnog procesa izrade cijevi.
- Standardi brodogradnje koji se koriste umjesto samog nacrti.
- Tehničke upute su pisani dokumenti koji određuju tehnologiju unutar procesa izrade cijevi.
- Radni list je dokument koji služi neposrednom izvršitelju (radniku) za izvršavanje radnog zadatka.

3.5.Spajanje cijevi

Cijevni spojevi trebaju omogućiti:

1. Spajanje cijevi međusobno
2. Spajanje cijevi sa aparatima, uređajima i armaturom, pod armaturom se podrazumijeva zaporni, sigurnosni i regulacijski organi, te filtri odvajači i mjerni instrumenti.
3. Promjenu promjera i smjera cjevovodu

Postoje dvije osnovne vrste spojeva cijevi a to su rastavljivi i nerastavljivi spojevi cijevi. Pod rastavljive spojeve smatramo :

- Spajanje priрубnicama – priрубnice su na cijevi najčešće zavarene, a mogu biti i uvaljane, spojene navojem ili su slobodne, spoj se osigurava vijcima i maticama i siguran je način za spajanje za spajanje cijevi najviših tlakova i za najviše promjere.
- Spojevi naglavkom i brtvom cijev se umeće u naglavak a između njih je prstenasta gumena brtva
- Spojevi s navojem na cijevi se izrađuje vanjski konični, Whitworthov cijevni navoj s konusom 1: 16, a na naglavcima fazonskim komadima i drugim elementima unutarnji cilindrični Whitworthov cijevni navoj.

Pod nerastavljive spojeve smatramo spojeve dobivene:

- Zavarivanjem – dobiva se nerastavljivi spoj čeličnih, bakrenih i aluminiskih cijevi.

- Tvrđim lemljenjem i liepljenjem - jednako tako se dobivaju nerastavljivi spojevi. Tvrdo lemjenje smatramo na temperaturama višim od 450° , a koristi se za bakrene i mjedne cijevi.
- Uprešani spojevi – izvodi se posebnim alatom te se stvaraju plastične deformacije i tako se ostvaruje čvrsti spoj.

4. TEHNOLOGIJA IZRADE CIJEVI

Prilikom izrade broda važno je da instalacije ne ometaju njegove prostore te se više daje mjesta onome za što je taj isti prostor i namijenjen. Sama zakrivljenja, uski i skućeni brodski prostori, prilikom izrade cjevovoda zahtijevaju često velik broj zakrivljenih cijevi. Što se naročito ističe kod najmodernijih brodova s visokim stupnjem složenosti kao npr. Jaruzala. Nadalje prilikom izrade cijevi važno je da se alatom koji se koristio za izradu čeličnih cijevi ne koristi za izradu cijevi obojenih metala i obrnuto pritom mislimo na rezne ploče, listovi za pilu i sl.

4.1. Osnovne tehnološke faze procesa izrade cijevi

Osnovne tehnološke faze procesa izrade cijevi su:

1. vanjsko skladištenje cijevi,
2. transport cijevi,
3. trasiranje cijevi,
4. stojna obrada cijevi: (rezanje i savijanje cijevi),
5. izrada cijevnog navoja,
6. ručna obrada cijevi uključuje: (spajanje cijevi, postavljanje i pripadanje prirubnica, postavljanje i pripadanje priključaka, postavljanje i pripadanje redukcija, postavljanje i pripadanje cijevnih lukova),
7. zavarivanje cijevi,
8. brušenje cijevi,
9. tlačenje i kontrola cijevi,
10. čišćenje cijevi i
11. anti korozivna zaštita cijevi.

Ovisno o potrebama prilikom izrade cijevi nije nužno da cijev prođe svaku fazu procesa izrade. Pojedine cijevi DN 100 ili veće preskaču fazu savijanja, ravne cijevi također preskaču fazu savijanja i odmah kreću na ručnu obradu cijevi.

4.1.1. Skladištenje cijevi

Cijevi se skladište u skladištu otvorenog tipa. Cijevi koje dolaze uglavnom su standardiziranih duljina od oko 6 m. Prilikom zaprimanja cijevi u brodogradilište provjerava se oznaka materijala, dimenzije cijevi sa specifikacijom naručenih cijevi i oštećenja cijevi ukoliko postoje. Skladište cijevi od austenitnog čelika i materijala CuNi je odvojeno od skladišta čeličnih cijevi.

Cijevi se prema potrebama tehničke dokumentacije podižu sa skladišta te se prevoze bočnim viličarem do radionice na međuskladištenje (slika 9).



Slika 9 . Međuskladište

Izvor: Autor

4.1.2. Transport cijevi

Transport cijevi predstavlja vrlo važnu fazu unutar samog procesa, te se odvija viličarima, transportnim dizalicama ili drugim transportnim sredstvima

4.1.3. Trasiranje cijevi

Nakon početnog upoznavanja sa mijernim skicama radnik će cijevi postaviti na stol za trasiranje cijevi. Prije početka trasiranja radnik provjerava može li se iskoristiti prijašnji ostaci cijevi u radionici, tek tada počinje trasiranje cijevi koje su došle iz skladišta.

Obilježavanje cijevi vrši se na traserskom stolu, metrom, kredom i markerom za obilježavanje cijevi. Mjesto koje se obilježava označuje se posebnom oznakom a na sredinu dijela cijevi koje se reže piše se broj naloga i pozicija cijevi.

Traserske kote nalaze se na traserskoj liniji koje su prikazane u mjernoj skici. Na traserskoj liniji su prikazana mjesta rezanja cijevi s duljinom cijevi za rezanje i mjesta na kojima se nalaze hvatišta za strojeve za savijanje. Nakon trasiranja cijevi slijedi rezanje,

Trasiranje se vrši za cijevi do ND 100 koje se režu na pili i cijevi ND 100 koje se režu na CNC rezacici a koje nakon rezanja idu na savijanje.

4.1.4. Rezanje cijevi

Dostavljene cijevi iz skladišta najčešće su dužine oko 6 m, dok se za samu izradu cijevi često koriste manji dijelovi cijevi. Tako da ispada da je rezanje cijevi najčešća i veoma važna faza unutar samog procesa koju ne zaobilazi niti jedna cijev. Sama cjevarska radionica je opremljena sa tri tračne pile i jednom strojem za rezanje cijevi pomoću plazme odnosno plinskim autogenim postupkom.

Rezanje cijevi izvodi se na dva načina: mehanički i toplinskim postupkom. Mehanički postupak je rezanje odnosno piljenje pomoću tračne pile, dok toplinski postupak je rezanje pomoću plazme ili plinskim rezanjem.

Rezanje cijevi mehaničkim postupkom provodi se za cijevi do DN 100 a sve ostale cijevi režu se na CNC rezačici najčešće pomoću plazme.

Strojna obrada se vrši rezanjem na tračnoj pili JAESPA 800/1000PG (slika 10). Ista ima mogućnosti rezanja cijevi i punog okruglog profila DN 800, kvadratnog punih profila 800 x 800 mm, te pravokutnog punog profila 800 x 100 mm. Najčešća primjena je za cijevi debljih stijenka manjih od ND 100, većih lukava i za punog okruglog profila većih dimenzija



Slika 10. Tračna pila JAESPA 800/1000PG

Izvor: Autor

Tračna pila Thomas može rezati cijevi do ND 150, dok treća tračna pila HAP 280 ima mogućnost rezanja cijevi do ND 250. Primjenjuju se kod manjih cijevnih promjera i rezanja lukova.

Također cijevarska radionica raspolaže sa još šest manjih pila koje služe za doradu (rezanje cijevnih lukava, skraćivanje cijevi i sl.) cijevi u fazi ručne obrade.

Cijevarska radionica je opremljena CNC rezačicom SPC 800 (slika 11) najmodernijeg tipa koja je spremna odgovoriti na sve zahtjeve obrade cijevi. Njezine velike mogućnosti značajno pridonose većoj efikasnosti i produktivnosti izrade cijevi.



Slika 11. CNC rezačica SPC 800

Izvor: Autor

Mogućnosti same rezačice jesu: rezanje prodora različitih promjera cijevi od ND 50 do ND 800 debljina cijevi od 3 mm do 50 mm, rezanje ogranka pod različitim kutevima, automatsko trasiranje cijevi, rezanje kvadratnih prodora na cijevima, nadalje ima mogućnost rezanja pod kutem, te pripremu rubova za zavarivanje (slika 12) Bitno je istaknuti da rezanje plazmom se može vršiti za čelične cijevi i za cijevi raznih legura materijala ugljični čelik, nehrđajući čelik, aluminij, CuNiFeMn isl.



Slika 12. Proizvodne mogućnosti CNC rezačice

Izvor: Autor

Sama rezačica povezana je sa konstrukcijom, te se tako direktno podaci šalju u računalo same rezačice i spremni su za korištenje (slika 13).



Slika 13. Računalno navođenje

Izvor: Autor

Nakon faze rezanja cijevi idu na ručnu obradu ukoliko nije potrebno savijanje, a ukoliko je potrebno prije ručne obrade cijevi odlaze na savijanje.

4.1.5. Savijanje cijevi

Zakrivljenje cijevi postiže se savijanjem na stroju, te pomoću alata za savijanje na toplo koje se vrši za savijanje velikog polumjera ili dodavanjem i zavarivanjem cijevnih lukova takozvanih „koljena“ na ravne cijevi. Cijevni lukovi se koriste i u slučajevima kada nema mogućnosti za savijanje a to vrijedi za promjere veće od ND 100 odnosno 114,3 mm, nadalje kada se želi postići manji polumjer savijanja kako bi se olakšao smještaj cjevovoda. Zakrivljenja cijevi velikih promjera koji se koriste kao dimnjaci motora postižu se iz segmenata cijevi. Segmenti cijevi su posebno oblikovani dijelovi koji se dobivaju rezanjem cijevi pod kutem koja je istoga promjera kao i osnovna cijev. Spajanjem jednog ili više segmenata sa osnovnom cijevi dobiva se kut zakrivljenja. Međusobno spajanje segmenata i spajanje sa osnovnom cijevi vrši se zavarivanjem. Savijanje se može vršiti na dva načina: savijanjem na hladno i na toplo. Izbor postupka savijanja ponajprije ovisi o dimenzijama cijevi, materijalu cijevi i mogućnosti strojeva koji su u radionici.

Savijanje na Hladno

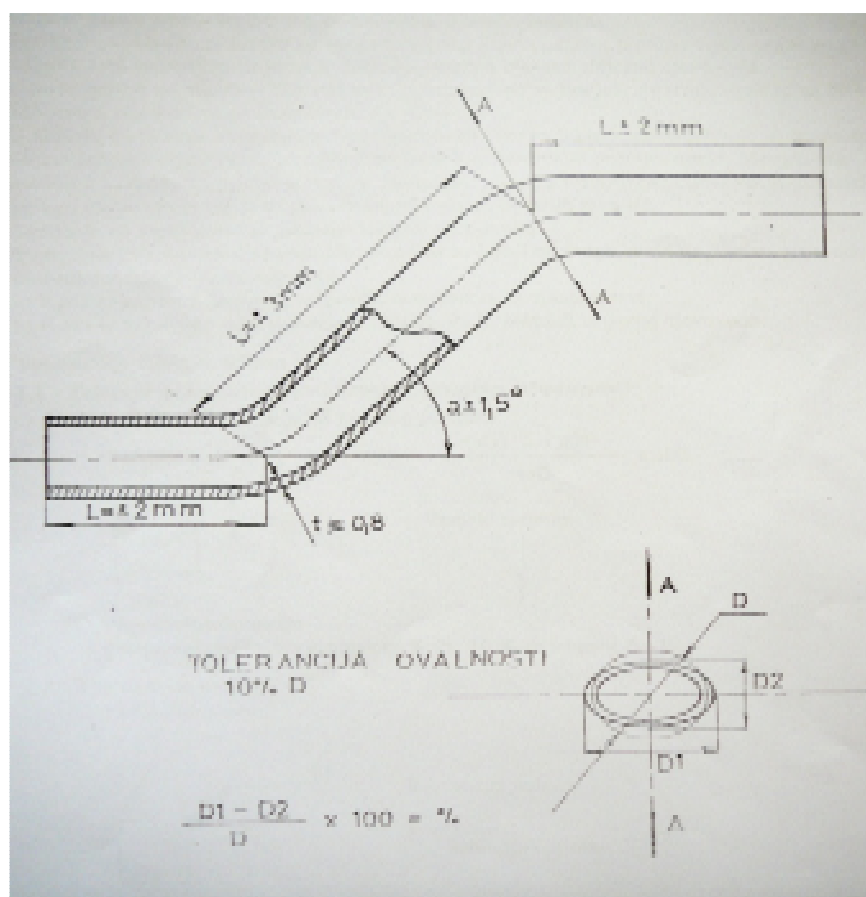
Savijanje cijevi na savijačici Perfect izvodi se pomoću hidraulike te se cijev umeće u standardiziran kalup koji ovisi o svakoj dimenziji cijevi i ovisno o stijenci cijevi pomoću trna. Savijačica i pripadajući kalupi za savijačicu su prikazani na (slici 14).



Slika 14. Savijačica i pripadajući kalupi za savijanje

Izvor: Autor

Trn sprječava da se cijev spljošti, da smanji ili onemogući stvaranje nabora, te ujedno i dodatno podmazuje cijev mašću. Mogućnosti savijačice su od DN 25 do DN 100 dok savijačica Pedrazzoli koja savija također na hladno ima mogućnosti savijanja manjih promjera cijevi od ND 15 do ND 50. Savijanje za tanke stijenke se vrši pomoću trna, dok za deblje stijenke trn nije potreban. Prilikom savijanja potrebno je prema iskustvu radnika dodatno opteretiti cijev sa nekoliko stupnjeva radi elastičnih deformacija koje se javljaju pri savijanju. Nakon savijanja cijevi potrebno je utvrditi kvalitetu i odstupanja savijenih dijelova cijevi, koji moraju biti u skladu s traženim standardom brodogradilišta (slika 15). Savijanje se izvodi u serijama cijevi istoga promjera kako bi se izbjeglo učestalo mijenjanje kalupa i pribora potrebnog za obavljanje posla.



Slika 15. Tolerancija za hladno savijanje cijevi

Izvor: Uljanik brodogradilište standard izrade cijevi

gdje je:

D1 – najveći vanjski promjer cijevi

D2 – najmanji vanjski promjer cijevi

D – vanjski promjer cijevi okruglog profila

Deformacije koje se javljaju pri savijanju radi djelovanja vlačne sile na vanjskoj strani smanjuje debljinu stijenke, a tlačne sile na unutrašnjoj strani sabijaju stijenku te tako dolazi do zadebljanja na unutrašnjoj strani savijene cijevi, a samim time dolazi velika mogućnost nabora. Takve sile negativno utječu na materijal i na samu cijev. Na mjestu gdje je smanjena debljina cijevi, cijev je oslabljena na tom mjestu pa smanjenje ne smije iznositi više od 15-18% debljine stijenke

.

$$T = \frac{t - tr}{t} * 100 (\%)$$

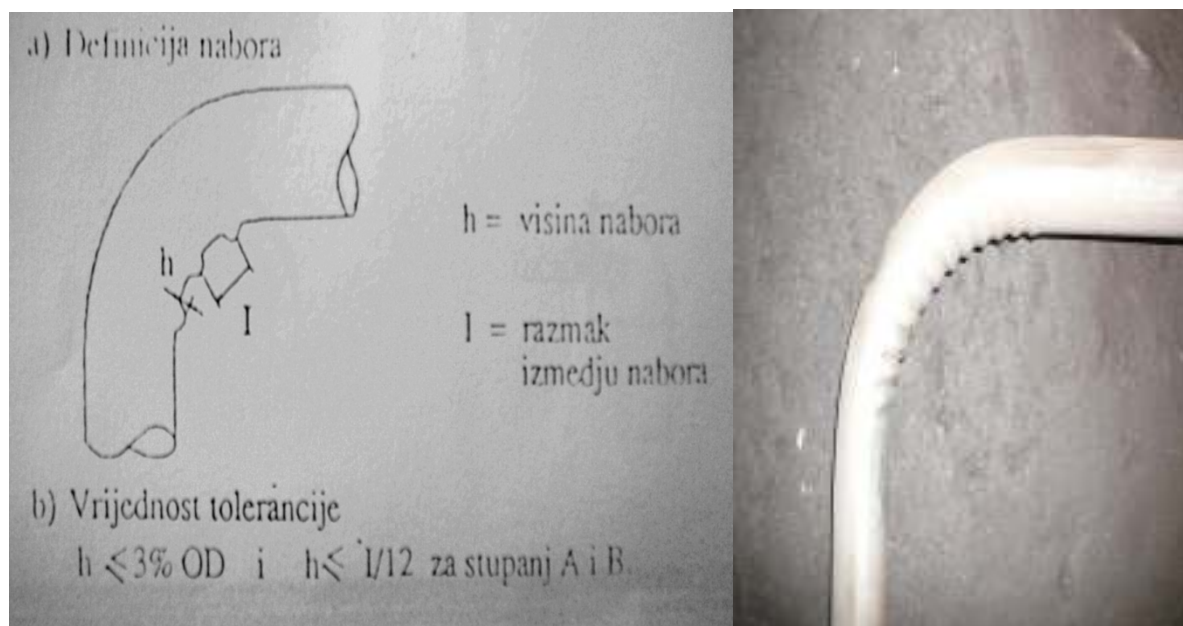
gdje je:

t – debljina stijenke

tr – debljina stijenke nakon savijanja

T – vrijednost oslabljenja stijenke

Nabori se prilikom savijanja naročito očituju kod cijevi s tankom stijenkom, te na njih posebno obratiti pozornost kako bi cijev bila u skladu s traženom kvalitetom (slika 16).



Slika 16. Tolerancije nabora i prikaz nabora na cijevi

Izvor: Uljanik brodogradilište standard izrade cijevi

Tvornički ili gotovi elementi (lukovi) koriste se kada se cijevi ne mogu saviti na hladno u navedenim tolerancijama, za cijevi veće od ND 100, kada je potreban manji polumjer savijanja i ako kapacitet postojećeg stroja nije dovoljan za savijanje cijevi.

Savijačica cijevi-serpentina cilindrična (slika 17) ima mogućnosti savijanja serpentina u obliku cilindrične zavojnice. Cijevi u kojima je potrebna velika tolerancija kružnog poprečnog presjeka i cijevi s tankom stijenkom prije savijanja pune se metalnom sačmom koja sprječava deformacije, odnosno odstupanja od kružnog poprečnog presjeka. Debljina stijenke cijevi su do 5 mm.



Slika 17. Savijačica cijevi-serpentina cilindrična

Izvor: Autor

Mogućnosti savijačice prikazane su u (tablici 3).

Tablica 3. Promjeri cijevi i unutarnji radijusi savijanja serpentina

ND	Mm	Unutarnji radius savijanja
15	21,3	135, 160, 220, 290, 380, 440, 480, 550, 570, 650
20	26,9	
25	33,7	
32	42,4	
40	48,3	
50	60,3	

Izvor: Autor

Savijanje na toplo

Savijanje na toplo koristimo za izrazito velike i blage radijuse npr. ograda broda. Savijanje se vrši pomoću kalupa gdje je cijev jednim dijelom fiksirana za kalup dok je zagrijavanje koncentrirano na mjestima zakrivljenja i pomoću sila dobiva oblik kalupa. Sile savijanja proizvodi radnik dok samo savijanje spada pod ručnu obradu izrade cijevi.

4.1.6. Izrada cijevnih navoja

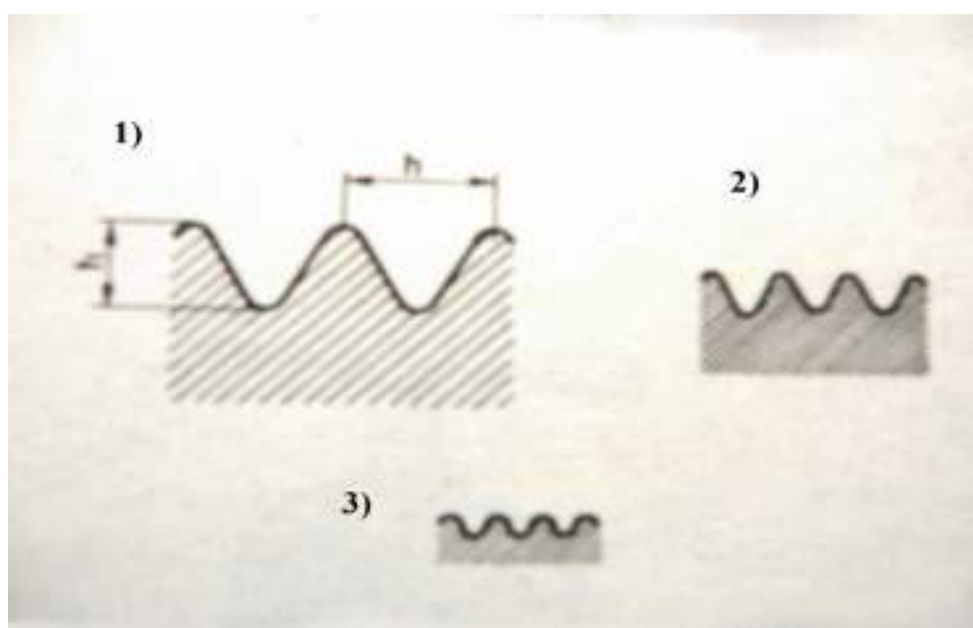
Ovisno o zahtjevima na radnome listu, odnosno prema potrebi izrađuju se navoji na cijevi, to se najčešće odnosi na cijevi manjih promjera. Osim što se navoji narezuju za spajanje navoji se urezuju na cijevima za priključne elemente sonde i sl. Navoji se izrađuju na tokarskom stroju ili na narezanici Rems Magnum. U tu svrhu još se upotrebljava Whitworthov cijevni navoj čije su dimenzije date u colima (tablica 4).

Tablica 4.: Whitworthov cijevni navoj

Oznaka navoja	Cijev				Navoj			$\frac{d_v - d_1}{2}$ mm
	d_v mm	S mm	d mm	n	h mm	d_1 mm	t_1 mm	
R 3/8	17,2	2,3	16,662	19	1,337	14,950	0,856	1,125
R 1/2	21,3	2,6	20,955	14	1,814	18,631	1,162	1,334
R 3/4	26,9	3,2	26,441	14	1,814	24,117	1,162	1,391
R 1	33,7	3,2	33,249	11	2,309	30,291	1,479	1,704
R 1 1/4	42,4	4,0	41,910	11	2,309	38,952	1,479	1,724
R 1 1/2	48,3	4,0	47,803	11	2,309	44,845	1,479	1,727
R 2	60,3	4,5	59,614	11	2,309	56,656	1,479	1,827
R 4	114,3	6,3	113,030	11	2,309	110,072	1,479	2,114

Izvor: I. Marušić: Cjevarstvo u brodogradnji, Školska knjiga, Zagreb, 1983. g str. 169

Whitworthov cijevni navoj ima trokutni profil, a po obliku odgovara Whitworthovom normalnom navoju. Razlika je uglavnom u tome što se cijevni navoj ima manji korak h i manju dubinu navoja t_1 što odgovara stijenci cijevi koja ne smije biti znatnije oslabljena navojem.⁴ Usporedni prikaz Whitworthovih cijevnih navoja normalni, fini i cijevni prikazani su na (slici 18).



Slika 18. Usporedni prikaz Whitworthovih cijevnih navoja

1) normalni, 2) fini i 3) cijevni navoj

Izvor: I. Marušić: Cjevarstvo u brodogradnji, Školska knjiga, Zagreb, 1983. g. str. 169

Ukoliko je potrebno izraditi navoj za koje nema narezница (trapezni obli i sl.), ti navoji se izrađuju na tokarskom stroju. Na ovaj način se nerijetko obrađuju i kratke cijevi ukoliko se javlja potreba za većim brojem komada koje je potrebno obraditi..

⁴ I. Marušić: Cjevarstvo u brodogradnji, Školska knjiga, Zagreb, 1983. g. str 108.

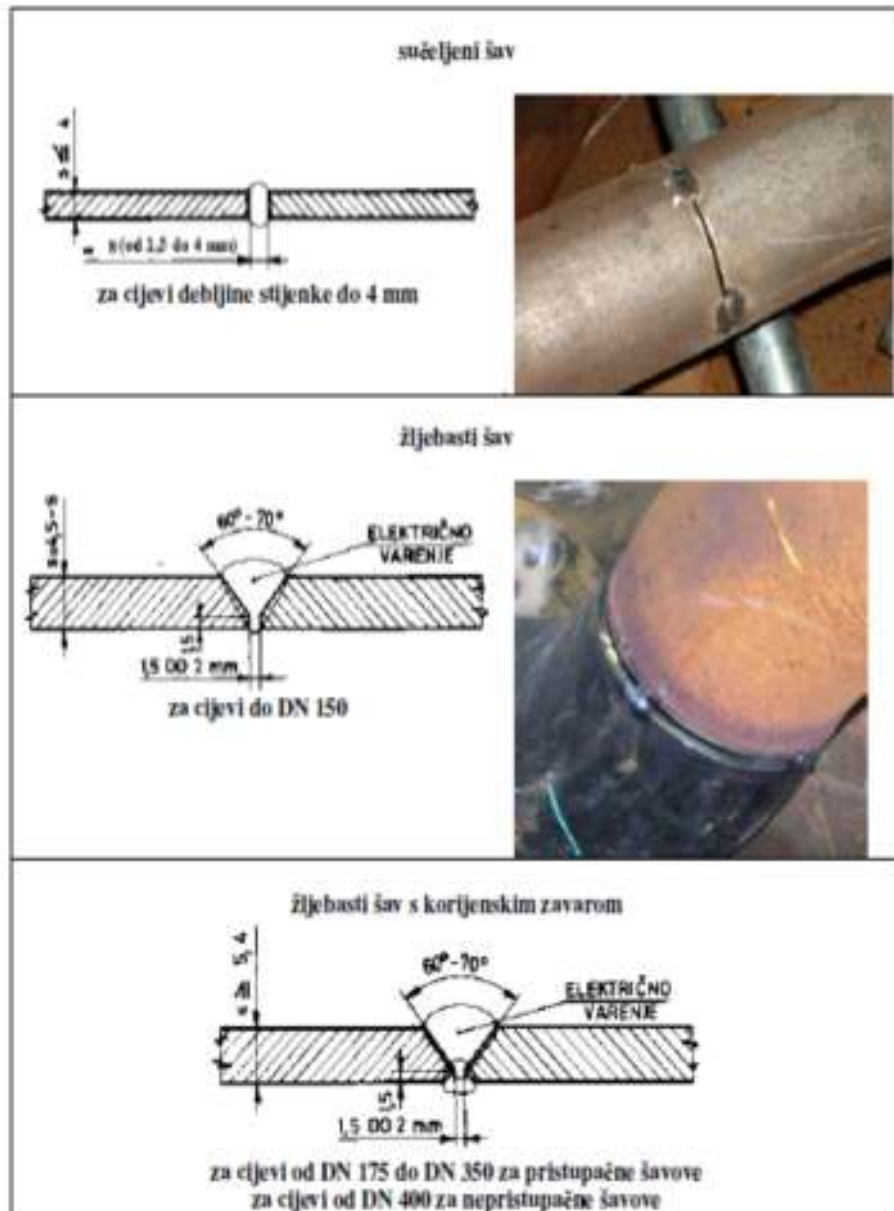
Faza izrade navoja vrši se nakon faze rezanja i prije faze savijanja. Navoj je važno zaštititi kako se ne bi oštetio prilikom transporta i daljnje obrade.

4.1.7. Ručna obrada

Nakon strojne obrade slijedi ručna obrada. Složenija faza izrade cijevi koja se sastoji od trasiranja, rezanja, pripreme ogranaka i otvora za ogranke manjih dimenzija, rezanje lukova, krajeva cijevi brušenja odnosno priprema krajeva cijevi za zavarivanje, čišćenja, privarivanja cijevi i cijevnih elemenata, te označavanje.

Faze ručne obrade

- Početno upoznavanje sa skicom i trasiranje.
- Cijevi se u fazi procesa ručne obrade režu na pili, kutnom brusilicom ili plinskim plamenom (ubodi) ovisno o potrebama.
- Skošavanje rubova i izrada ogranaka spoja vrši se za cijevi koje su manje od ND 100 prijenosnom glodalicom, kutnom brusilicom i plinskim plamenom.
- Čišćenje spojeva odnosno priprema spojeva za fazu zavarivanja. Pomoću kutne brusilice i freze.
- Spajanje cijevi i cijevnih elemenata (lukovi, prirubnice, redukcije i sl.) najčešće se vrši privarivanjem, nanošenje kratkih zavara na mjestu spoja, a nakon toga slijedi zavarivanje. Privarivanje se vrši najčešće MAG postupkom, za obojene metale TIG postupkom. Prilikom privarivanja važno je voditi računa o razmaku u korijenu žlijeba (slika 19) i o tolerancijama odstupanja za prirubnice, koljena i sl. od traženog kuta.



Slika 19.Vrste sučeljnih zavarenih spojeva

Izvor: http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_brod_ing_mor_teh/katedre/teh_org/mat_erijali/kolegiji/sveuc%20diplBG/opremanje%20i%20remont%20broda/CJEVARSKI%20RADOVI.pdf

- Obilježavanje cijevi izvodi se u zadnjoj fazi ručne obrade ukucavanjem oznaka sa mjerne skice. Kombinacijom brojeva i slova označava se cijev za montažu (slika 20). Brojevi se ukucavaju na prirubnicu a ukoliko nema prirubnice na metalnu pločicu koja se zatim priveže za cijev.



Slika 20. Brojeva za obilježavanje cijevi i obilježena cijev

4.1.8. Zavarivanje

Napretkom tehnologije zavarivanja došli smo do toga da se svi metali koji se koriste u izradi cijevi mogu zavarivati. Kako bi se isti mogli zavarivati potrebno je za svaki materijal pomno odabrati postupak zavarivanja i prilagoditi uvijete.

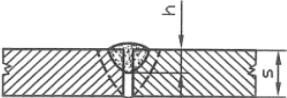
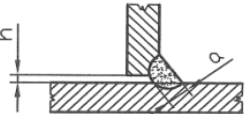
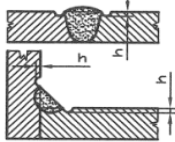
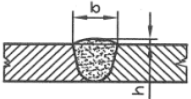
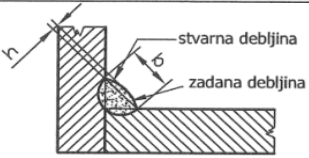
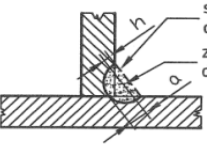
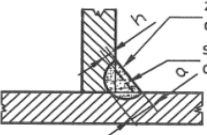
Postupci zavarivanja:

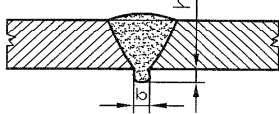
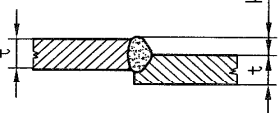
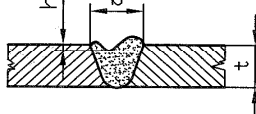
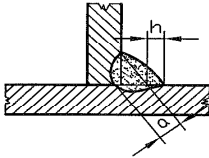
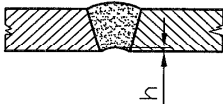
- REL (Ručno Elektro – Lučno) postupak se vrši zavarivanjem obloženom elektrodom

- MIG (Metal Inert Gas) je elektrolučni postupak zavarivanja, puna žica i zaštiti plina argona(Ar)
- MAG (Metal Activ Gas), Elektro-lučni postupak zavarivanja, puna žica, u zaštiti aktivnog plina (CO_2)
- TIG (Tunsten Inert Gas), Elektro-lučni postupak zavarivanja, u zaštiti inertnog plina (Ar), netaljivom volframovom elektrodom
- PP (Plinski Postupak) takozvano autogeno zavarivanje toplina se stvara izgaranjem acetilena (C_2H_2) s kisikom (O_2) uz dodatno dodavanje materijala koji ima svojstva materijala koji se zavaruje.

Prilikom spajanja cijevi i njihovih elemenata potrebno je obratiti pažnju na tolerancije koje zahtijevane u standardu. Kao baza za propisivanje kriterija prihvatljivosti zavarenih spojeva na cijevima upotrebljava se norma HRN EN 25817, odnosno ISO 5817. Jedan takav kriterij prikazan je u (tablici 5).

Tablica 5. Prikaz mogućih grešaka s mogućim odstupanjima zavarenih spojeva

REDNI BROJ	NAZIV GREŠKE	OZNAKA ISO 6520	PRIKAZ	GRANIČNE VRIJEDNOSTI		
				niska D	srednja C	visoka B
1	Pukotina u krateru	100		Nije dozvoljeno		
2	Pukotina u krateru	104		Nije dozvoljeno		
3	Poroznost u zavaru	2017 2024		Nije dozvoljeno		
4	Nedovoljan provar	402		$h \leq 0,2 s$ max. 2,0 mm	$h \leq 0,1 s$ max. 1,5 mm	Nije dozvoljeno
5	Nepravilno pripremljen kutni spoj			$h \leq 1 + 0,3 a$ max. 4,0 mm	$h \leq 0,5 + 0,2 a$ max. 3,0 mm	$h \leq 1 + 0,1 a$ max. 2,0 mm
6	Zajed (Ugorina)	5011 5012	Blagi prijelaz se dozvoljava 	$h \leq 1,5 \text{ mm}$	$h \leq 1,0 \text{ mm}$	$h \leq 0,5 \text{ mm}$
7	Preveliko nadvišenje	502	Blagi prijelaz se dozvoljava 	$h \leq 1 + 0,25 b$ max. 10,0 mm	$h \leq 1 + 0,15 b$ max. 7,0 mm	$h \leq 1 + 0,1 b$ max. 5,0 mm
8	Preveliko nadvišenje	503		$h \leq 1 + 0,25 b$ max. 5,0 mm	$h \leq 1 + 0,15 b$ max. 4,0 mm	$h \leq 1 + 0,1 b$ max. 3,0 mm
9	Debljina kutnog zavora veća od zadane vrijednosti			$h \leq 1 + 0,3 a$ max. 5,0 mm	$h \leq 1 + 0,2 a$ max. 5,0 mm	$h \leq 1 + 0,15 a$ max. 3,0 mm
10	Debljina kutnog zavora manja od zadane vrijednosti			Max. 2,0 mm	Max. 1,0 mm	Nije dozvoljeno

REDNI BROJ	NAZIV GREŠKE	OZNAKA ISO 6520	PRIKAZ	GRANIČNE VRIJEDNOSTI		
				niska D	srednja C	visoka B
11	Preveliko nadvišenje u korijenu zavora	504		$h \leq 1 + 0,2 b$ max. 5,0 mm	$h \leq 1 + 0,6 b$ max. 4,0 mm	$h \leq 1 + 0,3 l$ max. 3,0 mm
12	Prokapljina	5041		Dozvoljeno	Slučajna mjestimična ispupčenja dozvoljena	
13	Posmaknutost elemenata spoja	507		$h \leq 2 \text{ mm}$	$h \leq 1 \text{ mm}$	Nije dozvoljeno
14	Neispunjen presjek zavora	511	Blagi prijelaz se dozvoljava 	Duge nepravilnosti nisu dozvoljene		
				Kratke nepravilnosti		
				$h \leq 0,2 t$ max. 2,0 mm	$h \leq 0,1 t$ max. 1,0 mm	$h \leq 0,05 t$ max. 0,5 mm
15	Prevelika nejednoslikost kutnog spoja	512		$h \leq 2 \text{ mm} + 0,2 a$	$h \leq 2 \text{ mm} + 0,15 a$	$h \leq 1,5 \text{ mm} + 0,2 a$
16	Uleknut korijen zavora	515		$h \leq 1,5 \text{ mm}$	$h \leq 1,0 \text{ mm}$	$h \leq 0,5 \text{ mm}$
17	Preklop	506		Kratke nepravilnosti dozvoljene	Nije dozvoljeno	
18	Pogrešan početak zavora	517		Dozvoljeno	Nije dozvoljeno	
19	Oštećenje el. lukom	601		Dozvoljeno	Nije dozvoljeno	
20	Onečišćenje kapljicama metala	602		Nije dozvoljeno		

Izvor: Uljanik standard brodogradnje SB 70508

Zavarivanjem se stvaraju nerastavljivi spojevi, te ukoliko je ono pravilno izvedeno mjesto spoja je jednake čvrstoće kao i sama cijev. Važno je naglasiti da unutar brodogradilišta zavarivanje cijevi vrše samo atestirani zavarivači koji svojim atestom jamče kvalitetu zavora.

4.1.9. Brušenje cijevi

Svaki zavareni spoj među čeličnim cijevima i cijevnim elementima potrebno je izbrusiti kako bi se otklonile neravnine na mjestima gdje se cijev spaja (prirubnicama) i skinule nečistoće takozvani balini koji su nasli prilikom zavarivanja. Cijevi se obrađuju pneumatskim brusilicama i frezama (slika 21).



Slika 21. Alati za brušenje i cijevi nakon brušenja

Izvor: Autor

4.1.10. Kontrola i tlačenje cijevi

Kontrola cijevi se odvija tijekom i nakon završenog procesa izrade cijevi u cjevarskoj radionici. Tijekom samog procesa faznu kontrolu provodi sam radnik poslije svake faze (npr. nakon rezanja, savijanja, privarivanja elemenata isl.) i kontrolor koji i nadgleda čitav proces izrade cijevi. Kontrola obuhvaća provjeru dimenzija i debljine cijevi, kvaliteta i točnost obrade, oblika koji su zahtijevani u mjernoj skici odnosno njezinu geometriju.

Završna kontrola provodi se od strane kontrolora. Završna kontrola obuhvaća kvalitetu: zavora, brušenja, ručne obrade cijevi, te dimenzionalnu kontrolu. Postupak se vrši prvo vizualnim pregledom kako bi se ustanovilo je li cijev obrađena u skladu sa mjernom skicom, jesu li korektno zavareni svi traženi elementi cijevi, jesu li mjesta koja su prošla fazu savijanja u skladu sa standardom (eliptičnost i nabori). Nakon vanjskog pregleda vrši se unutarnji vizualni pregled. Najčešće se najveća pozornost obraća na kvalitetu zavarenih spojeva, odnosno korijena zavora.

Nakon vizualne kontrole ovisno o potrebi mogu se provoditi daljnja ispitivanja cijevi kao npr. radiografsko ispitivanje, ispitivanje penetracijskim tekućinama, magnetnim česticama i ultrazvučno ispitivanje.

Kontrola nepropusnosti, odnosno tlačenje cijevi također se provodi tlačenjem na 220 bara vodom ili uljem, te tlačenje zračnom pumpom do 440 bara. Cijevi koje se tlače

ne smiju biti duže od 6 m i teže od 2 t radi ograničenja infrastrukture. Tlačenje se izvodi pumpom na zračni pogon TP-601-(IV).

Cjevovodi se tlače prema shemi sistema koja mora biti odobrena od strane registra i brodovlasnika odnosno njegovog predstavnika i prema pripadajućoj tehnološkoj uputi u kojoj se nalaze podaci o materijalu cjevovoda, klasi cjevovoda koja je određena po propisu registra, ovisnosti o cijevima koje je potrebno tlačiti u radionici ili na brodu, ispitnim tlakovima prije same montaže, te ispitnim tlakovima nakon montaže na brodu.

Mediji kojima će se obavljati faza tlačenja ovisi o službi koja se tlači. Specifikacija medija kojima će se tlačiti opisana je u uputi za tlačenje:

Zrak:

- svi sistemi zraka,
- svi sistemi goriva,
- svi sistemi maziva,
- sistem protupožara CO₂,
- sistem internog plina,
- sistem dušika,
- sistem mjerenja nivoa tekućeg tereta,
- sistemi rashladnog zraka,
- sistemi freona za klimu i živež,
- sistem za naglo zatvaranje ventila tankova goriva i maziva i
- sistem daljinskog očitovanja nivoa i gaza.

Voda:

- sistem tekućeg tereta,
- odušnici,
- pranje tankova tereta,
- svi sistemi sanitarne vode,
- sistemi odljeva i kondenzata,
- rashladna morska voda,
- rashladna slatka voda,
- sistem pare, povrata kondenzata, napojne vode i cirkulacija vode kotla,

- sistem balasta,
- kaljuža,
- protupožar morskom vodom,
- protupožar pjenom i
- sistem popratnog grijanja.

Hidrauličko ulje

- svi hidraulički sistemi ⁵

4.1.11. Čišćenje cijevi

Čišćenje cijevi se vrši kako ne bi došlo do oštećenja ili kemijske reakcije s medijem (ulje, gorivo i sl.), oštećivanja uređaja, opreme i strojeva na brodu. Najviše se to odnosi na cijevi hidraulike, pitke vode i sl.

Čišćenje cijevi vrši se prema uputama iz radnog lista a dijele se na:

- Mehaničko čišćenje cijevi se odvija cirkulacijom ulja kroz spojeni cjevovod, sačmarenjem, fizičkim čišćenjem s krpom ili čeličnom četkom.
- Kemijsko čišćenje cijevi odvija se djelovanjem kemijskih otapala i ispiranje vodom. Odabir kemijski sredstva i postupka kemijskog čišćenja ovisi o materijalu cijevi. Prilikom rada sa kemijskim sredstvima potrebno je postupke čišćenja provoditi po uputama radi štetnog djelovanja po zdravlje radnika.

Nakon čišćenja cijevi važno je da se cijevi adekvatno zaštititi s folijama ili plastičnim čepovima.

4.1.12. Antikorozivna zaštita cijevi (akz)

Jedan od važnijih utjecaja propadanja cijevi na brodu je korozija. Kako bi se ona izbjegla čelične cijevi potrebno je zaštititi. Cijevi se u brodogradilištu zaštite :

- pocinčavanjem
- galvaniziranjem i

⁵ Tehnološka uputa za tlačenje cijevi, Uljanik

- antikorozivnim premazima.

Najbolji način zaštite je zaštita cijevi izvana i iznutra uz kombinacijom pocinčavanja i antikorozivnim premazima, dok je najjeftinija antikorozivnim premazima. Zaštita antikorozivnim premazima se upotrebljava za vanjsku zaštitu cijevi

4.2.Pomoćna radionica

Pomoćna radionica djeluje u sklopu cjevarske radionice brodogradilišta Uljanik. Primarna namjena takve radionice su popravci i prepravci cijevi koje su vraćene s broda radi određenih nedostataka i izrada cijevi iz šablona (slika 22). U nedostatke spadaju cijevi koje nisu prošle sve faze procesa izrade cijevi, to su takozvane slobodne cijevi, cijevi koje je iz određenog razloga potrebno izmijeniti, te cijevi koje nisu napravljene u skladu s propisima. Pri otklanjanju nedostataka na cijevima koje su vraćene s broda obraća se pažnja da se sačuvanju prijašnji radovi ukoliko je to moguće, te se izvrše samo određene korekcije. Ukoliko nije moguće radovi se obavljaju po svim fazama izrade cijevi odnosno one faze koje su potrebne. Iako cijevi koje su vraćene s broda imaju prioritet nad cijevima u proizvodnji, važno je da ne koče proizvodni proces izrade cijevi.



Slika 22.Šablona za izradu cijevi i slobodna cijev

Izvor: Autor

5. MOGUĆA POBOLJŠANJA

Postoji izreka „Niti jedan proces nije toliko dobar da ne bi mogao biti bolji“. Vođeni upravo ovom izrekom možemo zaključiti da pri poboljšavanju procesa problem treba sagledati s različitih aspekata i analizirati moguća poboljšanja. Time bi se doprinijelo većoj kvaliteti proizvoda, a samim time bi se povećala konkurentnosti na međunarodnom tržištu. Prijedlozi mogućih poboljšanja u organizacijskoj jedinici cjevarska radionica:

1. Skladištenje cijevi u natkrivenom prostoru kako bi se izbjegla korozija cijevi te izbjeglo dodatno sačmarenje cijevi prije same izrade. Time bi se postigle značajne uštede, skratili rokovi procesa izrade cijevi te povećala kvaliteta izrade.
2. Automatizacija obilježavanja cijevi na ručnoj obradi. Kao glavna prednost ističe se značajna ušteda vremena.
3. Slobodne cijevi u većini slučajeva se ponovno vraćaju i njezini elementi su neupotrebivi.
Kako bi se skratio proces, postigla ušteda materijala i vremena za izradu takvih cijevi dovoljno je da se za izradu takvih cijevi rade šablone po kojima bi se cijev izradila u pomoćnoj radionici.
4. Prilikom izrade ogranaka u fazi ručne obrade do cijevi DN 100 troši se velika količina energije i smanjuje se kvaliteta istoga. Primjenom tehnologije, odnosno stroja za izradu ogranaka koji funkcionira na bazi brusnog papira, postižu se značajne uštede vremena i kvalitete samog proizvoda uz minimalna ulaganja.
5. Uspostavljanje bolje komunikacije s ostalim organizacijskim jedinicama kao bi se povećala efikasnost samog procesa i izbjegli nepotrebni zastoji u procesu.
6. Ljudi su oni koji čine organizaciju, upravo zbog toga ulaganje u ljudski potencijal zasigurno je najveća sposobnost poduzeća, koja ga čini konkurentnijim na tržištu. Ulaganje prije svega u zaštitnu opremu i sigurnost na radu, edukacije radnika i

rukovodstva, te upoznavanjem s novim tehnologijama i stvara se nova vrijednost koja se direktno potvrđuje kroz samu proizvodnju.

7. Kontinuirano poboljšavanje procesa, na razini čitave grupe Uljanik, pa tako i u cjevarskoj radionici sigurno bi podiglo konkurentnost samog brodogradilišta.
8. Rezanje ravnih čeličnih cijevi na plili umjesto na rezačici do ND 150 tanke stijenke. Cijevi koje idu na savijanje često imaju problema s trnom i njegovim podmazivanjem radi nečistoća koje su nastale nakon plazma rezanja.
9. Iskorištavanje materijala koji je ostao nakon rezanja za nazuvice. Prilikom zastoja u poslu moguće je iskoristiti prazan hod za rezanje nazuvica od viška cijevi.

6. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu prikazana je cjevarska radionica u brodogradilištu Uljanik, analizirani su materijali njihovo ispitivanje, odabir, te su prikazane i razrađene karakteristične faze procesa izrde cijevi u cjevarskoj radionici.

Uljanik sa svojom burnom prošlošću i dugogodišnjom tradicijom u izradnji i opremanju brodova stjecao je velika iskustva, danas je grupa Uljanik moderna grupacija koja je spremna u kratkom roku odgovoriti na sve zahtjeve tržišta. Najviše je tome doprinosi integracija dvaju brodogradilišta 3. Maj i Uljanik, koji zajedno zapošljavaju više od 4000 radnika tom broju treba pridodati kooperante i dobavljače, te je jedino veliko profitabilno brodogradilište u republici Hrvatskoj koje ne uživa subvenciju Vlade Republike Hrvatske.

Organizacijska jedinica 1732 cjevarska radionica unutar brodogradilišta Uljanik, ima velik doprinos na spomenutu tvrdnju, ulaganjem u sofisticirane strojeve djelomično je podigla je konkurentnost brodogradilišta. Najveći problem cjevarske radionice je kako povećati efikasnosti radionice i smanjiti velik broj cijevi koje je potrebno korigirati. Analizom postojećeg stanja i klasifikacijom dokumenata (standarda), procesa i tehnologije izrade cijevi, uočavaju se glavni problem zastarjeli standard, velik broj sučelja i zastoja u procesima, zastarjela oprema, te nedovoljna edukacija djelatnika glavni su problem radionice.

Korištenje provjerenih proizvođača i dobavljača cijevi i elemenata za izradu cjevovoda smanjile bi se greške odstupanja i troškovi ispitivanja materijala, te povećava ugled samog poduzeća. Ono što bi trebalo svakako istaknuti je nedovoljno ulaganje u alat i edukaciju djelatnika. To se najviše očituje kod osnovnih tehnoloških faza procesa, koji su u cjevarskoj radionici poprilično zastarjeli, te se odvija mnogo nepotrebnih radnji koje su neodržive, nadanje svaka faza ima mogućnosti podići razinu kvalitete ali i postići veću produktivnost na račun samog poboljšavanja procesa primjenom novih znanja i tehnologija koje vladaju na tržištu. Većim ulaganjem u iste dugoročno se stvara održivost. Najbolji primjer za ulaganje u alate i edukaciju je CNC rezačica koja je uvelike podigla kvalitetu proizvoda i povećala efikasnost radionice. Nadalje pravilnim pristupom i kontrolom poslije svake faze procesa izrade cijevi povećava se kvaliteta proizvoda a

dugoročno se štedi vrijeme i materijal potreban za izradu cijevi, radi smanjenja nepotrebnih popravaka i dorada.

Ono što zaključujemo je potreba za kontinuiranim i neprestanim poboljšavanjem procesa, edukativnim pristupom prema zaposlenima, te primjenom novije tehnologije u svim fazama procesa izrade formula je uspjeha. Uz veliko iskustvo, sigurno bi Uljanik grupu svrstalo među značajnije brodogradilište na međunarodnom tržištu.

7. POPIS LITERATURE:

1. A. Pletikos: Tehnologija i proizvodne tehnike, Visoka tehničko - poslovna škola, u digitalnom obliku, Pula, 2013. g.
2. B. Kraut: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb, 2009. g.
3. B. Križan, S. Zelenika Konstrukciski Elementi, Tehnički fakultet, Rijeka, 2011. g.
4. B, Križan, Osnove proračuna i oblikovanja konstrukcijskih elemenata, Školska knjiga, Zagreb 2008g.
5. B.Križan; Bilješke sa predavanja, Visoka tehničko - poslovna škola, Pula, 2013. g.
6. B.Križan; Materijali sa predavanja Elementi strojeva 2, Visoka tehničko - poslovna škola, Pula, 2013. g.
7. B.Smoljan: Toplinska obrada čelika, sivog i nodularnog lijeva, Hrvatsko društvo za toplinsku obradu i inženjerstvo površina, Zagreb, 1999. g.
8. D.Mandić; Materijali sa predavanja Karakterizacija materijala, Visoka tehničko - poslovna škola, Pula, 2014. g.
9. D. Matika: Proizvodno inženjerstvo, Visoka tehničko - poslovna škola, u digitalnom obliku, Pula, 2013. g.
- 10.I. Marušić: Cjevarstvo u brodogradnji, Školska knjiga, Zagreb, 1983. g.
- 11.S. Martinez, I. Štern: Korozija i zaštita-eksperimentalne metode, HINUS, Zagreb, 1999. g.

WEB IZVORI

1. <http://www.uljanik.hr/index.php/hr/>
2. <http://www.uljanik.hr/index.php/hr/o-nama/povijest> 1.8.2014.
3. http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_brod_ing_mor_teh/katedre/teh_org/materijali/kolegiji/sveuc%20diplBG/opremanje%20i%20remont%20broda/CJEV_ARSKI%20RADOVI.pdf 29.6.2014
4. <http://www.uljanik.hr/index.php/hr/uljanik-grupa/uljanik-brodogradiliste-dd/kvaliteta-okolis-zdravlje-i-sigurnost> 18.9.2014

8. POPIS SLIKA

1. Slika 1.:Smještaj radionica u sklopu organizacijske jedinice 1732
2. Slika 2.:Rukovodna struktura cjevarske radionice
3. Slika 3.:Prirodna kompenzacijska dilatacija
4. Slika 4.: Umjetna kompenzaciska dilatacija
5. Slika 5.:Epruveta za statičko vlačno ispitivanje cijevi
6. Slika 6.: Dimenzije epruvete za statičko vlačno ispitivanje cijevi
7. Slika 7.: LECO GSD 500
8. Slika 8.: Epruveta za kemisko ispitivanje
9. Slika 9.: Međuskladište
- 10.Slika 10.: Tračna pila JAESPA 800/1000PG
- 11.Slika 11.: CNC rezačica SPC 800
- 12.Slika 12.: Proizvodne mogućnosti CNC rezačice
- 13.Slika 13.: Računalno navođenje
- 14.Slika 14.: Savijačice i pripadajućih kalupa za savijanje
- 15.Slika 15.: Tolerancija za hladno savijanje cijevi
- 16.Slika 16.: Tolerancije nabora i prikaz nabora na cijevi
- 17.Slika 17.: Savijačica cijevi-serpentina cilindrična
- 18.Slika 18.: Usporedni prikaz Whitworthovih cijevnih navoja
- 19.Slika 19.: Vrste sučeljnih zavarenih spojeva
- 20.Slika 20.: Brojeva za obilježavanje cijevi i obilježena cijev
- 21.Slika 21.: Alata za brušenje i cijevi nakon brušenja
- 22.Slika 22.: Šablona za izradu cijevi i slobodna cijev

9. POPIS TABLICA

1. Tablica 1: Standardne vrijednosti nazivnih promjera (ND)
2. Tablica 2: Asortiman čeličnih bešavnih cijevi po SB
3. Tablica 3: Promjeri cijevi i unutarnji radijusi savijanja serpentina
4. Tablica 4: Whitworthov cijevni navoj
5. Tablica 5: Prikaz mogućih grešaka s mogućim odstupanjima zavarenih spojeva