

Analiza i modeliranje izrade brodskog cijevnog modula

Barić, Irena

Master's thesis / Diplomski 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:190:295489>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-27**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij brodogradnje

Diplomski rad

**ANALIZA I MODELIRANJE IZRADE BRODSKOG CIJEVNOG
MODULA**

Rijeka, svibanj 2024.

Irena Barić

0069078900

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij brodogradnje

Diplomski rad

**ANALIZA I MODELIRANJE IZRADE BRODSKOG CIJEVNOG
MODULA**

Mentor: Prof. dr. sc. Marko Hadjina

Komentor: Doc. dr. sc. Rajko Rubeša

Rijeka, svibanj 2024.

Irena Barić

0069078900

Rijeka, 9. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za brodogradnju i inženjerstvo morske tehnologije**
Predmet: **Tehnološki proces gradnje broda**
Grana: **2.02.04 tehnologija gradnje i održavanje plovnih i pučinskih objekata**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Irena Barić (0069078900)**
Studij: Sveučilišni diplomski studij brodogradnje
Modul: Tehnologija i organizacija brodogradnje

Zadatak: **ANALIZA I MODELIRANJE IZRADE BRODSKOG CIJEVNOG
MODULA/ANALYSIS AND MODELING OF THE SHIP PIPING MODULE**

Opis zadatka:

U uvodnom dijelu rada objasniti problematiku i specifičnosti modularnog opremanja broda, Analizirati prednosti, nedostatke i ograničenja kod primjene modularnog opremanja broda. Za zadani cijevni modul izraditi popis aktivnosti izrade i montaže opreme modula sa vremenima trajanja aktivnosti i zanimanjima. Nadalje, mrežni dijagram i gantogram izrade zadanog cijevnog modula s kritičnim putem. Izraditi model računalne vizualizacije procesa izrade zadanog modula. Analizirati plan aktivnosti opremanja i kritični put te dati prijedloge za unapređenje.

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

Irena Barić

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:



Prof. dr. sc. Marko Hadjina



Doc. Rajko Rubeša, dipl. ing. (komentor)

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



Prof. dr. sc. Roko Dejhalla

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij brodogradnje

IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad pod naslovom „Analiza i modeliranje izrade brodskog cijevnog modula” izradila samostalno, koristeći se znanjem stečenim tijekom studija i vlastitog istraživanja, te uz pomoć usmjerenja i savjeta mentora.

U radu sam primijenila metodologiju izrade stručnog rada prema *Uputama za izradu i samoarhiviranje diplomskog rada* Tehničkog fakulteta u Rijeci. Sva korištena literatura, izvori i podaci adekvatno su referirani i navedeni na kraju diplomskog rada. Rezultati analize i zaključci proizlaze iz mog osobnog promišljanja i razumijevanja teme.

Student:

Rijeka, svibanj 2024.

Irena Barić

0069078900

Ovim se putem želim zahvaliti mentoru prof. dr. sc. Marku Hadjini i komentoru doc. dr. sc. Rajku Rubeši na svim konstruktivnim savjetima, pruženoj potrebnoj literaturi te usmjerenjima kojima su mi omogućili uspješno ostvarenje cilja.

Zahvaljujem se sadašnjim kao i bivšim zaposlenicima brodogradilišta »3. maj« na ustupljenom materijalu te prenesenom iskustvu i znanju struke kojima su uvelike doprinijeli izradi ovoga diplomskog rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji na neizmjerne podršci, razumijevanju i strpljenju prilikom cijelog studija kao i prilikom izrade ovoga rada, te na njihovoj uključenosti i požrtvovnosti. Najveća „hvala“ mojem ocu Stjepanu na angažmanu i neprekidnoj pomoći u svakom obliku tijekom izrade ovoga diplomskog rada, stoga ga iz neizmjerne zahvalnosti njemu i posvećujem.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. MODULARNO OPREMANJE BRODA.....	2
2.1. Modul.....	2
2.2. Brodski elementi podložni modularizaciji.....	3
2.3. Primjer opremanja broskog prostora sa modulima.....	6
2.4. Prednosti i nedostaci modularnog opremanja broda.....	9
3. IZRADA CIJEVNOG MODULA.....	11
3.1. Uvod u izradu cijevnog modula.....	11
3.1.1. Opis cijevnog modula.....	11
3.1.2. Lokacija izrade cijevnog modula.....	12
3.1.3. Zanimanja uključena u izradu opreme cijevnog modula.....	13
3.1.4. Slijed radova izrade modula.....	14
3.2. Izrada cijevi.....	14
3.2.1. Skladištenje cijevi.....	16
3.2.2. Transport cijevi.....	16
3.2.3. Trasiranje cijevi.....	16
3.2.4. Rezanje cijevi.....	17
3.2.5. Savijanje cijevi.....	18
3.2.6. Formiranje cijevi.....	18
3.2.7. Zavarivanje.....	22
3.2.8. Brušenje cijevi.....	23
3.2.9. Kontrola i tlačenje cijevi.....	24
3.2.10. Čišćenje cijevi.....	25
3.2.11. Antikorozivna zaštita cijevi.....	26
3.2.11.1. Pocinčavanje cijevi.....	27
3.2.11.2. Bojanje cijevi.....	29
3.3. Izrada bravarske opreme.....	30
3.3.1. Proces izrade temelja i nosača cjevovoda.....	31
4. SASTAVLJANJE MODULA U RADIONICI I UGRADNJA MODULA NA BROD.....	34

5. VIZUALNI PRIKAZ PROJEKTA	39
5.1. Gantogram.....	39
5.2. Mrežni dijagram	42
5.3. Kritični put	45
6. ANALIZA PRIJEDLOGA POBOLJŠANJA PROJEKTA	48
6.1. Varijanta 2	50
6.2. Varijanta 3	52
6.3. Varijanta 4	54
6.4. Odabir optimalne varijante.....	56
6.5. Troškovi projekta	56
7. ZAKLJUČAK.....	59
LITERATURA.....	60
POPIS SLIKA I TABLICA.....	61
Popis slika	61
Popis tablica	64
SAŽETAK	65
ABSTRACT	66
PRILOZI	67
Prilog 1 – Gantogram projekta cijevnog modula	67
Prilog 2 – Mrežni dijagram projekta cijevnog modula	68
Prilog 3 – Gantogram varijante 2 projekta cijevnog modula	69
Prilog 4 – Gantogram varijante 3 projekta cijevnog modula	70
Prilog 5 – Gantogram varijante 4 projekta cijevnog modula	71
DODATNI MATERIJAL (CD).....	72
Animacija 1 – Varijanta 1 redoslijeda sastavljanja modula	72
Animacija 2 – Varijanta 2 redoslijeda sastavljanja modula	72
Animacija 3 – Varijanta 3 redoslijeda sastavljanja modula	72
Animacija 4 – Varijanta 4 redoslijeda sastavljanja modula	72

1. UVOD

U brodograđevnoj je industriji prisutna sve veća konkurencija na globalnom tržištu, zbog čega je optimizacija procesa unutar samih brodogradilišta ključna kako bi ona opstala u tom dinamičnom i izazovnom okruženju. Drugim riječima, za održavanje konkurentnosti i dugoročne održivosti neophodno je kontinuirano unapređivanje kvalitete, produktivnosti i efikasnosti brodogradilišta.

Jedan od najvažnijih ciljeva moderne brodogradnje je maksimiziranje ugradnje opreme na brod prije njegovog porinuća, pri čemu se opremanje broda nakon porinuća nastoji svesti na minimum. U ovom se radu stoga naglasak stavlja na primjenu modularnog načina opremanja broda u brodogradilištu, uz detaljan opis karakteristika, prednosti i potencijalnih nedostataka ovakvog pristupa opremanja. U tu svrhu predstavljen je proces izrade i montaže odabranog broskog cijevnog modula, uz navedene aktivnosti koje se pritom provode te potrebne resurse.

Radi boljeg praćenja cjelokupnog procesa, priloženi su odgovarajući vizualni prikazi u formi gantograma i mrežnog dijagrama s naznačenim kritičnim putem, kao i 3D animacija redoslijeda sastavljanja modula. Konačno, predložena su moguća unapređenja procesa uz završnu analizu dobivenih rješenja.

2. MODULARNO OPREMANJE BRODA

Modularno opremanje predstavlja inovativan pristup izgradnje broda, a temelji se na proizvodnji modularnih dijelova, njihovom prethodnom opremanju u radionici ili specijaliziranim pogonima, te njihovoj montaži na brod. Cilj je da se što više opremnih dijelova broda izradi u radionici te da se oni montiraju na brod istovremeno sa izgradnjom trupa. Pritom je važno da se oni lako mogu podići bez prekomjernih opterećenja odnosno prekoračenja kapaciteta dizalice tijekom instalacije.

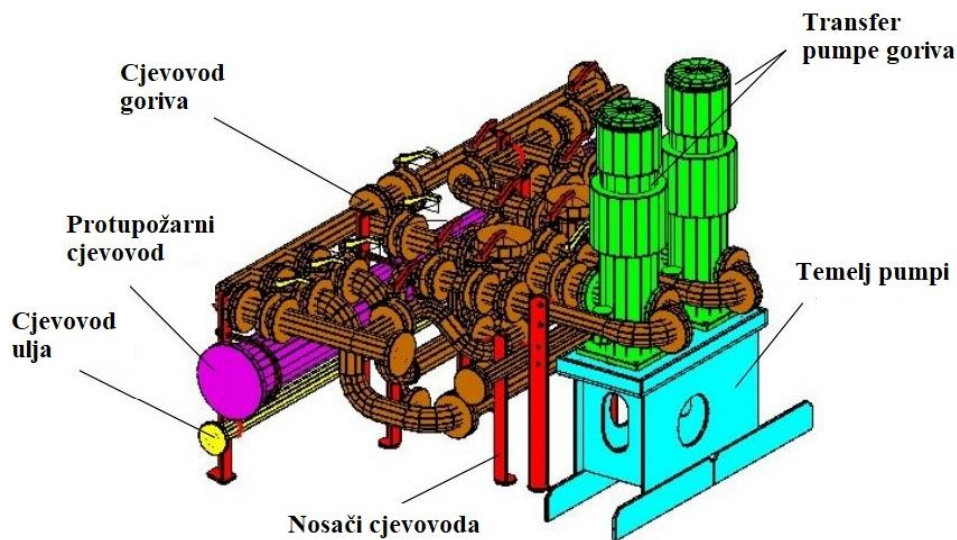
Modularnost se može opisati definicijom (Jolliff 1974) [1]: „Pretpakiranje kolekcije opreme (sustava ili komponenti) u svrhu njihove montaže i provjere prije isporuke brodu na ugradnju i zbog lakše instalacije i uklanjanja paketa (modula).”

Takav pristup opremanja broda odnosi se na podjelu većeg sistema na manje dijelove ili komponente koji će instalacijom na brod činit jednu cjelinu ili sustav. Njime se osigurava poboljšanje u načinu izrade i montaže, nabave i kontrole materijala, te u inženjerskim i poslovnim procesima dizajna broda. Donosi niz prednosti u smislu efikasnosti, fleksibilnosti, brzine te poboljšanja kvalitete i pouzdanosti proizvodnje. Osim toga ovakav pristup omogućuje paralelni rad i testiranje na kopnu, te značajno smanjuje ukupno vrijeme potrebno za izgradnju broda kao i troškove rada koji su na brodu 3-5 puta veći od istovjetnog rada izvedenog u radionici ili na platformi. Također olakšava održavanje i nadogradnju brodova.

Konačni sadržaj i raspored modula određuju se nizom istraživanja, planom izgradnje i preliminarnim usmjeravanjem sustava. Moduli se stoga prilagođavaju i poboljšavaju na temelju inženjerskih, prostornih, regulatornih i ekonomskih čimbenika [2].

2.1. Modul

Moduli opreme predstavljaju manje samostalno izrađene jedinice koje mogu biti nezavisno proizvedene, a dizajnirane su za specifične sustave poput sustava ulja, vode, goriva, kaljuže itd. Sastavljeni su od cjevovoda, temelja, nosača, pumpi, ventila i filtera koji se međusobno spajaju kako bi stvorili jednu funkcionalnu cjelinu (slika 2.1.).



Slika 2.1. Primjer modula sustava za transfer goriva [3]

Moduli se većinom naručuju kao gotov proizvod od vanjskih dobavljača na temelju detaljne klasifikacijske dokumentacije dobivene iz brodogradilišta, ali također mogu se izrađivati i u samim radionicama brodogradilišta na osnovu radioničke dokumentacije.

Njihove dimenzije i oblik ovise o gabaritima opreme i prostornim ograničenjima. Mogu biti različitih veličina i složenosti, sastojati se od pojedinačnih komada opreme postavljenih na nosače ili može biti riječ o kompleksnim montažama cijevi, podova, električnih i drugih sustava. Veličina modula određena je kapacitetom dizalica u pogonu, te raspoloživim transportnim kapacitetom, a kao gotov proizvod nalaze se na paletama u skladištima brodogradilišta, spremni za ugradnju u sekciju broda ili u sam brod tijekom procesa izgradnje.

2.2. Brodski elementi podložni modularizaciji

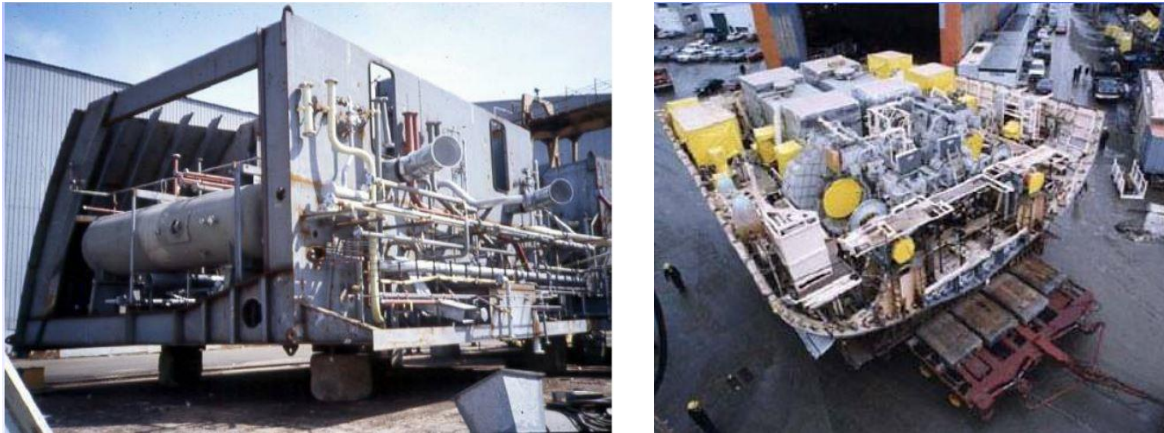
Elementi brodske opreme, odnosno moduli predstavljaju funkcionalne izrađene i spojene jedinice koje su često sastavni dio opremanja sekcija.

Moduli se mogu raščlaniti na tri osnovne skupine: moduli koji su povezani s konstrukcijom trupa, moduli povezani s opremom prostorija i uvjetima boravka posade ili putnika, te moduli povezani s strojnom opremom broda, tzv. „strojni moduli”.

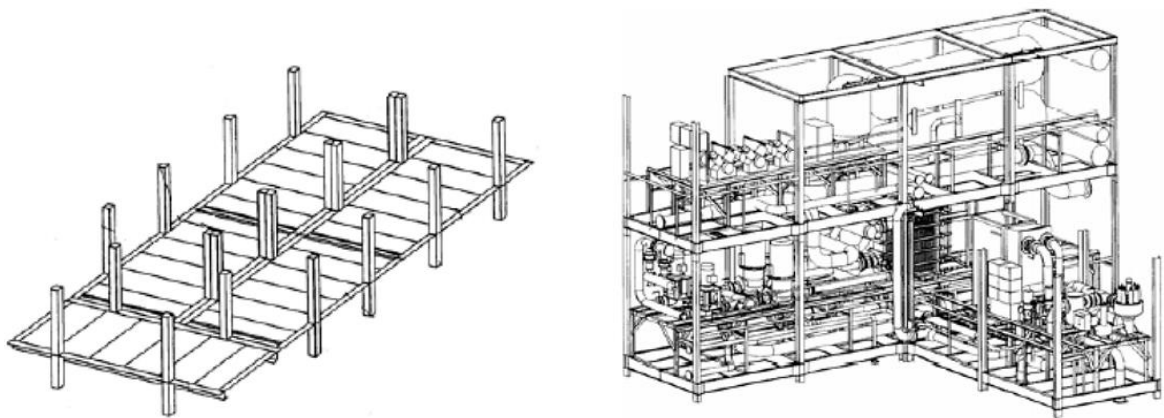
U nastavku slijedi daljnja podjela navedenih modula (sa primjerima slika) [4].

1. Moduli povezani s konstrukcijom trupa broda:

- moduli kao dio opremanja sekcija (tzv. „uranjeno opremanje”)
- strukturni modul
- strukturni strojni modul



Slika 2.2. Primjer visoko opremljene sekcije broskog trupa [5]



Slika 2.3. Strukturni modul (lijevo) i strukturni strojni modul (desno) [2]

Moduli se koriste kao sastavni dijelovi opremanja određenih sekcija ili dijelova plovila prije instalacije na brod. Strukturni modul se sastoji od strukturnih temelja i rešetkastih nosača namijenjenih za smještaj strojnog modula. S druge strane, strukturni strojni modul predstavlja sklop opreme sastavljen od strukturnog modula, jednog ili više sistemskih modula, te pripadajuće sistemske opreme smještene unutar predviđenog prostora na brodu.

2. Moduli povezani s opremom prostorija i uvjetima boravka posade ili putnika:

- sanitarna kabina
- modularna soba za posadu i putnike
- ventilacijska i klimatizacijska stanica



Slika 2.4. Modularna soba za posadu i putnike

Ova vrsta modula vrlo često se upotrebljava u modularnom opremanju, a obiluje visokom stupnjem opremljenosti te je spremna za trenutnu upotrebu.

3. Moduli povezani s strojnom opremom, tzv. „strojni moduli”:

- modul pripreme goriva
- modul pripreme goriva za turbopunjač, pomoćni kotao ili glavni motor
- modul separatora goriva ili ulja
- modul sistema gašenja požara
- modul hidrofora za sanitarnu vodu
- modul postrojenja za tretman otpadnih voda
- modul zračnog kompresora
- modul kompresorskog rashladnog uređaja sa kondenzatorom



Slika 2.5. Modul hidrofora (lijevo), modul separatora (sredina) i modul za tretman otpadnih voda (desno) [5]

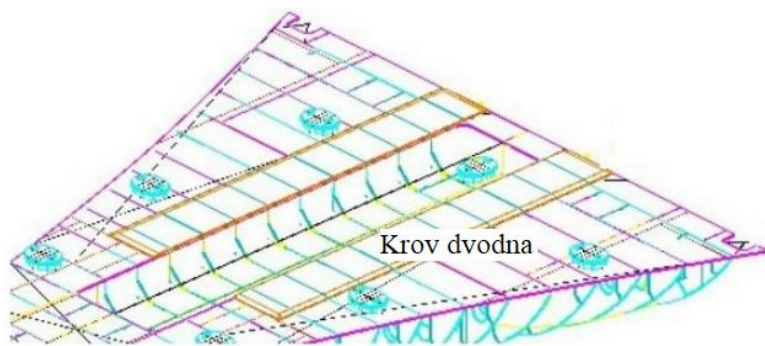
Prostor strojarnice predstavlja značajan potencijal za povećanje upotrebe modularnog opremanja, ali istovremeno zahtjeva i najveće troškove opremanja tijekom izgradnje broda. Mnogi od stvorenih modula povezani su direktno s ovim dijelom broda.

Često su ponuđena i unaprijed pripremljena rješenja pojedinačnih modula koji su spremni za upotrebu, a takve brodogradilišta također proizvode i samostalno. Rješenja proizlaze na temelju:

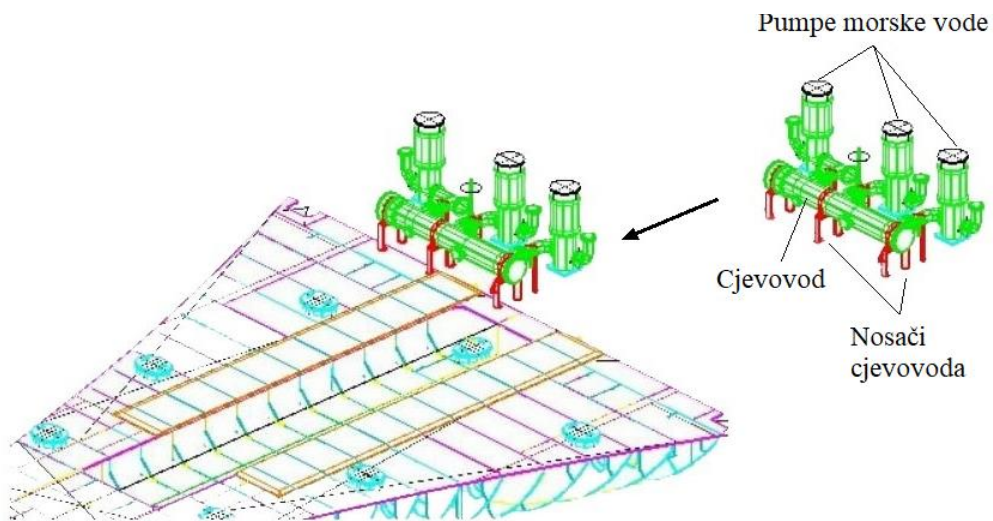
- individualnih zahtjeva vlasnika broda
- tipa i funkcije broda
- tehnologije koju koriste brodogradilišta
- sposobnosti proizvodnje ili nabave modula od strane brodogradilišta

2.3. Primjer opremanja brodskog prostora sa modulima

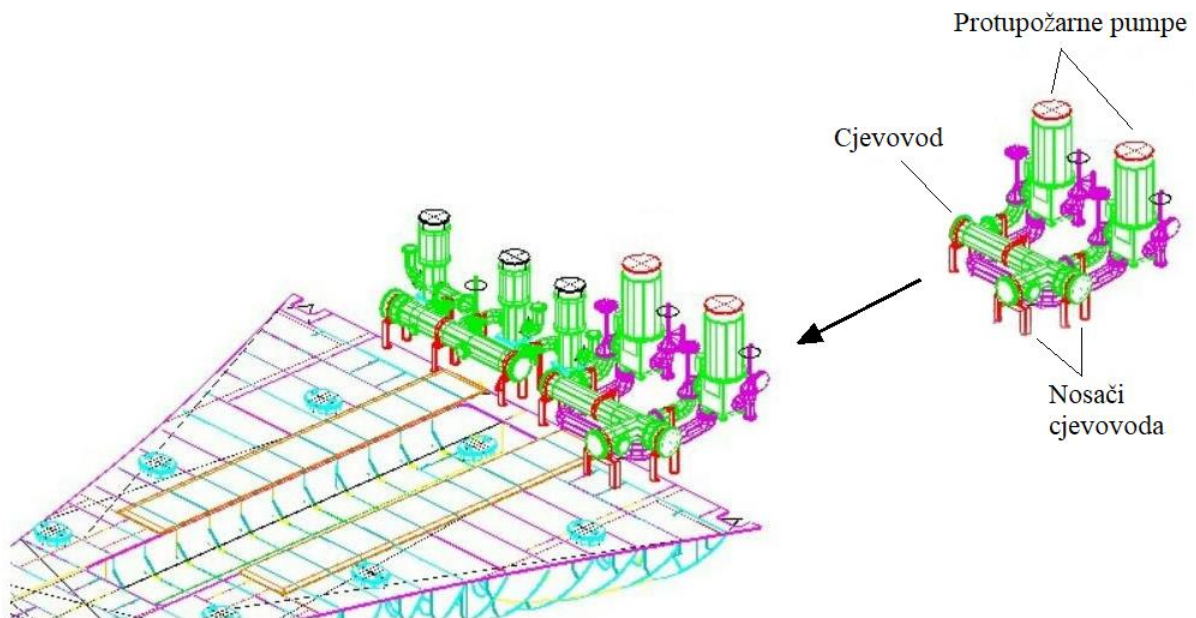
Opremanje strojarnice broda modulima cjevovoda, na sljedećim je slikama prikazano u različitim fazama montaže [3]:



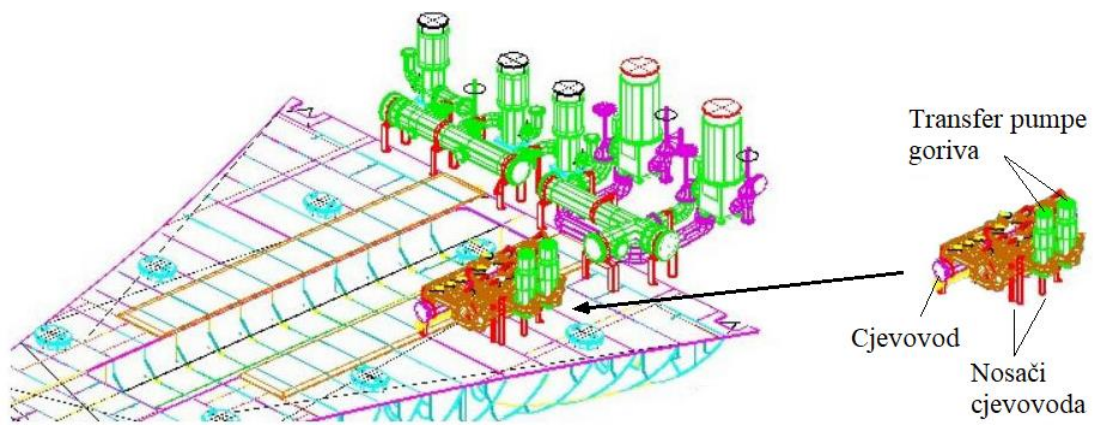
Slika 2.6. Neopremljena sekcija dvodna na navozu



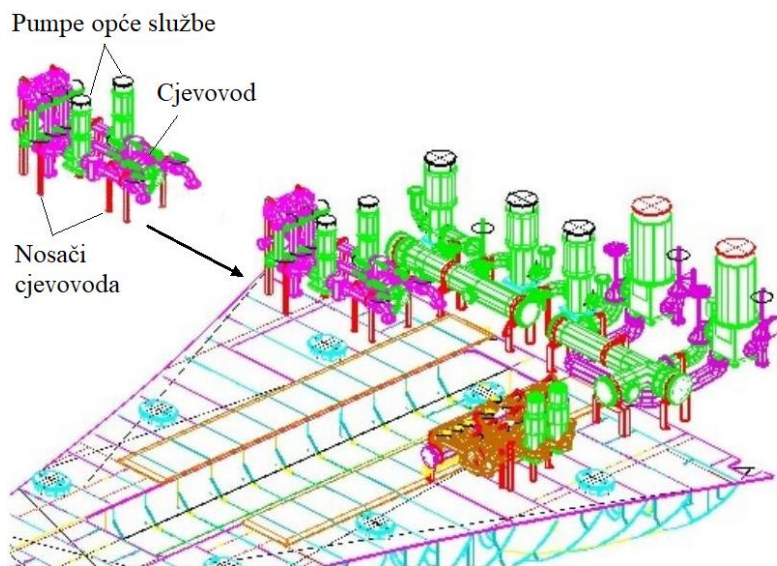
Slika 2.7. Montaža modula morske rashladne vode



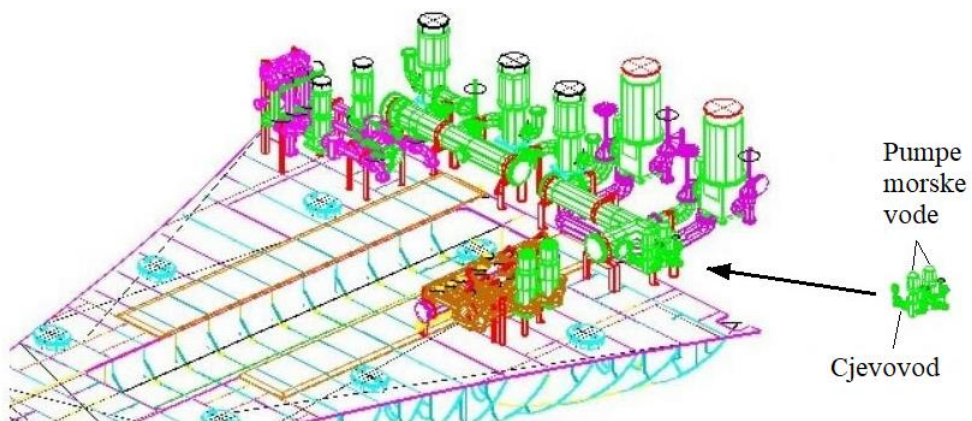
Slika 2.8. Montaža modula protupožarnih pumpi



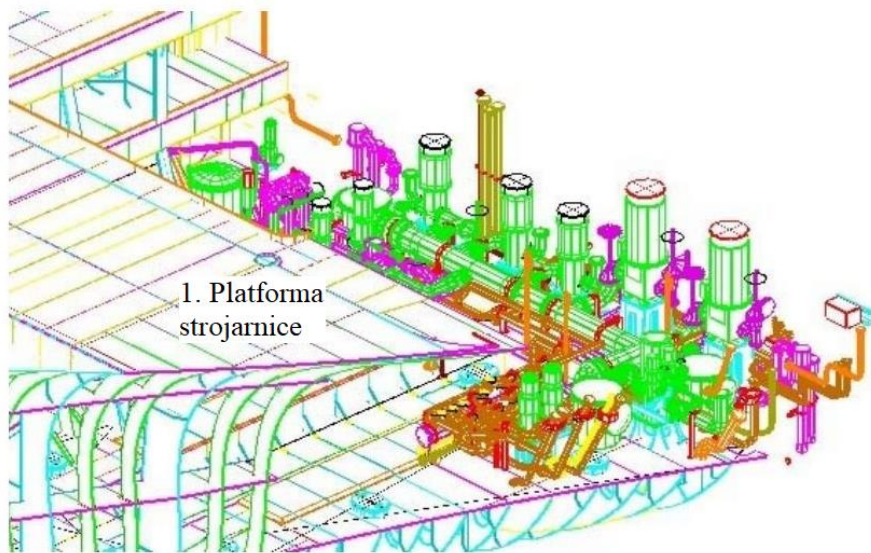
Slika 2.9. Montaža modula pumpi za transfer goriva



Slika 2.10. Montaža modula pumpi opće službe



Slika 2.11. Montaža modula pumpi morske vode



Slika 2.12. Završno povezivanje cjevovoda na navozu

2.4. Prednosti i nedostaci modularnog opremanja broda

Prednosti modularnog opremanja broda su brojne, a nadalje u tekstu navedene su prednosti takve vrste opremanja prilikom novogradnje, održavanja broda, te brodskih operacija koje se provode [2, 5, 6].

Prednosti u novogradnji:

- poboljšanje produktivnosti i učinkovitosti radne snage u proizvodnji
- istovremeno izvođenje više faza proizvodnje, čime se ubrzava proces izgradnje broda
- smanjenje radnih sati i troškova opremanja
- smanjenje broja mjesta na kojima se radnici susreću, čime se pojednostavljuje proces gradnje
- omogućena proizvodnja modula u radionicama izvan brodogradilišta, čime se otvara više prilika manjim i srednjim poduzećima
- korištenje standardiziranih i ujednačenih modula u različitim vrstama brodova, čime se skraćuje vrijeme i smanjuju troškovi proizvodnje

Prednosti prilikom održavanja broda:

- jednostavnost uklanjanja iz broda i popravci u radionici
- brže uklanjanje ili umetanje odabranih modula
- skraćeno vrijeme potrebno za popravak ili zamjenu modula
- jeftinije za novogradnju, popravak ili zamjenu
- povećano vrijeme rada flote zbog smanjenog vremena provedenog na brodogradilištu

Prednosti kod brodskih operacija:

- veća fleksibilnost za standardnu brodsku platformu
- veća usmjerenost na specifične radne zahtjeve ili namjene
- smanjena potreba za ugradnjom nepotrebnih sustava

Unatoč značajnim prednostima postoje i neka ograničenja odnosno nedostaci modularnog načina opremanja broda, a to su:

- povećana potreba za prostorom
- smanjena sloboda projektiranja (zbog ograničenog prostora potrebnog za instalaciju funkcionalnih sustava)
- potreba za iskusnim projektantima kako bi se smanjile smetnje i prekidi
- potreban viši standard projektiranja te bolja kvaliteta od uobičajene
- veća težina modula nego kod tradicionalnog opremanja zbog jačih nosača i temelja
- veći rizik od kašnjenja uzrokovanih problemima s isporukom ili integracijom, posebno ako se koriste dijelovi od različitih proizvođača

Usprkos nedostacima modularizacija se uspješno koristi u brodogradnji.

3. IZRADA CIJEVNOG MODULA

Brodski cjevovodi čine vrlo važan dio brodske opreme, a služe za provođenje različitih medija brodskih službi (goriva, maziva, morske i slatke rashladne vode, komprimiranog zraka itd.), omogućujući tako normalno funkcioniranje uređaja na brodu (strojeva, motora, pumpi, rashladnika itd.).

Budući da opremanje broda iziskuje gotovo polovinu cjelokupnog vremena potrebnog za izgradnju broda, bitno je ugraditi što više opreme prije samog porinuća. Najveći dio opremnih radova pritom odlazi upravo na brodske cjevovode, stoga izrada cijevnog modula započinje u ranijim fazama izgradnje broda.

3.1. Uvod u izradu cijevnog modula

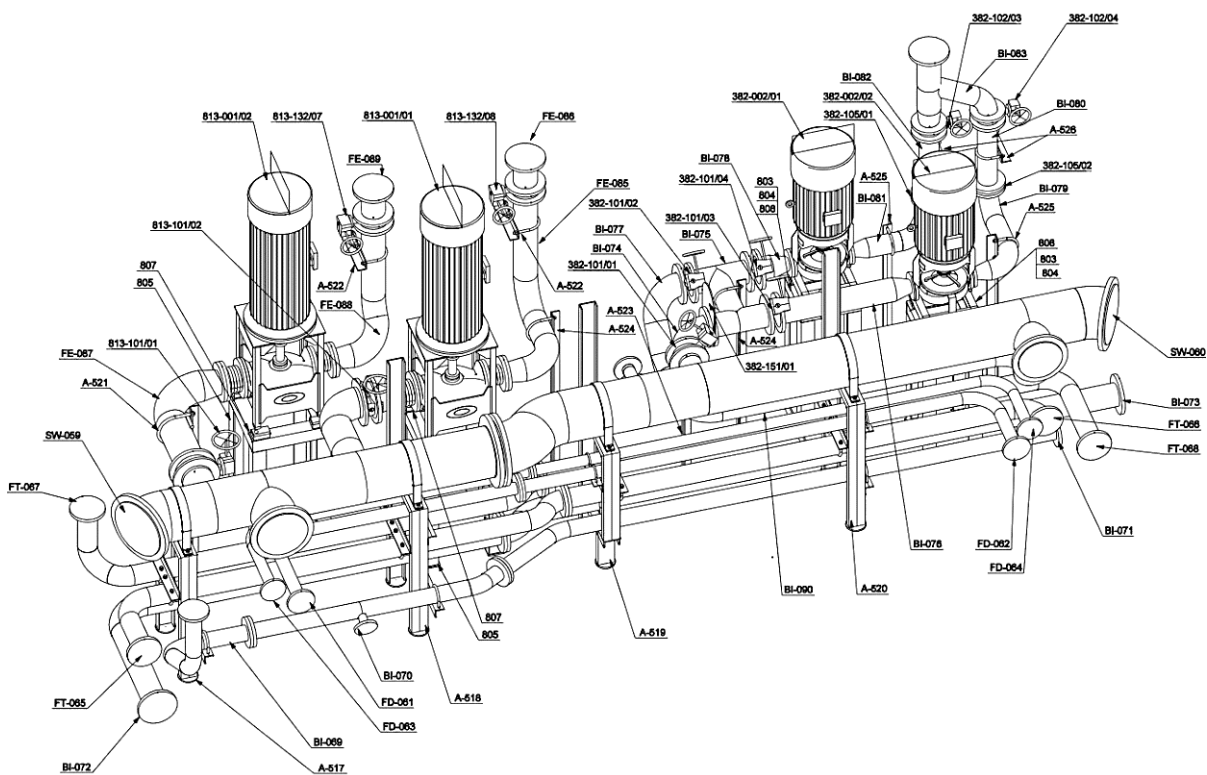
3.1.1. Opis cijevnog modula

Odabrani cijevni modul o kojem će biti riječi u ovom radu je modul za požar i pranje palube ili M-203. Njime se oprema krov dvodna strojarnice broda za prijevoz kemikalija.

Sastoji se od dvije vertikalne centrifugalne pumpe za požar i pranje palube, te dvije pumpe za pranje tankova tereta, postavljene na pripadajuće temelje. Pumpe su povezane sa sustavom morske rashladne vode pomoću ventila za ispušt, a unutar nosača kolektora koji pridržava sustav cjevovoda, nalazi se i cjevovod za transfer goriva i cjevovod kaljuže.

Pumpe se naručuju kao gotov proizvod, a cijevi, temelji za pumpe i nosači cjevovoda izrađuju se u brodogradilištu na osnovu radioničke dokumentacije. Predmontaža svih elemenata prije završne montaže na brod radi se na temelju montažnog nacrt (slika 3.1.).

Masa modula iznosi 6400 kg, što je unutar kapaciteta kojeg može podržati dizalica za montažu na brod.



Slika 3.1. Montažni nacrt modula za požar i pranje palube

3.1.2. Lokacija izrade cijevnog modula

Odabrana lokacija izrade navedenog cijevnog modula je brodogradilište »3. maj« na čijem se području u opremnoj luci izrađuje ovaj modul. To je specijalizirano područje koje se koristi za brodogradnju i kao luka za posebne namjene, a smješteno je na zapadnom dijelu obale grada Rijeke.

Opremni pogon brodogradilišta »3. maj« smješten je uz samu obalu što osigurava kraći put tijekom transporta opreme, čime se povećava učinkovitost procesa proizvodnje.

Radionice u kojima se vrši izrada opreme cijevnog modula su (slika 3.2.):

1. Cjevarska radionica
2. Radionica za zavarivanje cijevi
3. Bravarska radionica i zavarivanje bravarije
4. Radionica za brušenje
5. Prostor za tlačenje cijevi

6. Komora za sačmarenje
7. Komora za bojanje
8. Skladište bravarske opreme
9. Skladište gotovih cijevi



Slika 3.2. Radionice opreme brodogradilišta »3. maj«

Unutar brodogradilišta »3. maj« cjevarsko postrojenje se sastoji od dvije radionice: cjevarske i zavarivačke. U sklopu bravarske radionice svoj posao obavljaju i zavarivači bravarije, a pored tih radionica nalazi se i zajednička brusiona. Za cijevi i bravarsku opremu dostupne su također i komora za sačmarenje i bojanje.

3.1.3. Zanimanja uključena u izradu opreme cijevnog modula

Izrada elemenata opreme zahtjeva suradnju različitih stručnih kadrova specijaliziranih za obavljanje određenih vrsta radova. Zajedno oni čine tim radnika osposobljenih za opremanje broda.

Zanimanja koja sudjeluju u izradi opreme modula su:

- Cjevvari – izrada cjevovoda
- Bravari – izrada temelja i nosača

- Zavarivači – zavarivanje cijevi, temelja i nosača
- Brusači – brušenje svih zavarenih spojeva
- Sačmarioci – sačmarenje (čišćenje) opreme
- KZ radnici – kemijsko tretiranje i pocinčavanje cijevi
- Ličiocci – bojanje opreme
- Kontrolori – vizualna kontrola i kontrola nepropusnosti cijevi (tlačenje cijevi)
- Transportni radnici – prenošenje, odvoz i dovoz opreme

Zbog težine materijala kojim se rukuje (cijevi, profili), te općenito zbog jednostavnosti obavljanja radova, izrada elemenata opreme ponekad zahtjeva timski rad dvaju radnika, primjerice prilikom pridržavanja, namještanja, pozicioniranja itd.

3.1.4. Slijed radova izrade modula

Izrada elemenata modula odnosi se na dvije osnovne aktivnosti, a to su cjevarski i bravarski radovi, od kojih cjevarski radovi zahtijevaju znatno duži period rada zbog većeg broja cijevi koje je potrebno izraditi i dugotrajnijeg postupka izvođenja radova, stoga se ti radovi kreću obavljati prvi. Nakon što su cjevarski poslovi odrađeni za otprilike 50%, započinje se s izradom bravarskih elemenata koji će usprkos kasnijem početku, zbog manjeg obima posla brže završiti.

Važno je napomenuti da se radi o čeličnim elementima (cijevima i profilima) koji brzo korodiraju, posebno u dodiru sa morskom vodom, stoga ih je potrebno zaštititi. Iz tog razloga, završna aktivnost u izradi brodske opreme obavezno uključuje zaštitu od korozije. Svu je opremu u konačnici potrebno sačmariti, te bojati atikorozivnim premazima.

3.2. Izrada cijevi

Izrada cijevi u brodogradilištu »3. maj« vrši se u sklopu tri radionice: cjevarske, zavarivačke te radionice za brušenje. Cijevi se zatim tlače u komori za tlačenje cijevi, a završna obrada cijevi provodi se u komorama za sačmarenje i bojanje.

Cijevi su izrađene od čelika, osim cijevi morske rashladne vode koje su izrađene od Cunifer legure. Ova legura sastavljena je od bakra (Cu), nikla (Ni) i željeza (Fe) što ju čini izuzetno otpornom na koroziju kao i na mogućnost nakupljanja algi ili drugih organizama na površini materijala što ju čini pogodnom prilikom upotrebe morske vode. Cijevi požara i kaljuže budući da su od čelika, a dolaze u dodir s morskom vodom, moraju se prije bojanja pocinčati. Taj postupak se vrši izvan brodogradilišta »3. maj«, a omogućuje dodatni oblik zaštite cijevi od korozije. Cijevi za transfer goriva se ne pocinčavaju već se nakon čišćenja kemijski tretiraju i nauljuju iznutra nakon čega su spremne za završno bojanje antikorozivnim premazima.

Sve se cijevi izrađuju na temelju dobivenih mjernih skica, a nakon obrade se prema obliku mogu klasificirati kao: ravne cijevi, ravne cijevi sa redukcijom ili ogrankom, savijene cijevi, savijene cijevi sa ogrankom, zakrivljene cijevi sa koljenom, zakrivljene cijevi sa koljenom i redukcijom ili ogrankom, te zakrivljene cijevi sa koljenom, redukcijom i ogrankom.

Redukcija koja je konusnog oblika služi za postupni prijelaz cijevi sa većeg na manji promjer, a u modulu spaja pumpe sa glavnim cjevovodom odnosno kolektorom.

Ogranak predstavlja dio cjevovoda koji je zavaren na osnovnu cijev, a služi za grananje cijevi od osnovne linije.

Koljena (cijevni lukovi) su gotovi zakrivljeni cijevni elementi koji se koriste za veće promjere od DN 100 kada se cijevi ne mogu saviti pomoću postojećeg stroja, čiji kapacitet snage nije dovoljan da bi ih savio, a za koje su također potrebni i veći radijusi savijanja.

Potrebno je izraditi sve ukupno 32 cijevi, a na svaku cijev postavljaju se prirubnice koje služe za međusobno spajanje cijevi u cjevovodu.

Osnovne aktivnosti kod procesa izrade cijevi su sljedeće: skladištenje, transport, trasiranje (obilježavanje), strojna obrada (rezanje i savijanje cijevi), ručna obrada (priprema krajeva cijevi za zavarivanje, rezanje otvora za ogranke, sastavljanje cijevi, postavljanje i pripajanje redukcije, ogranaka, koljena i prirubnica), zavarivanje, brušenje, kontrola i tlačenje, čišćenje, te antikorozivna zaštita cijevi [7].

Prilikom izrade nije potrebno da svaka cijev prođe kroz svaku operaciju procesa izrade, primjerice neke ravne cijevi i cijevi većeg promjera od DN 100 zaobilaze proces savijanja i odmah idu na ručnu obradu i sl.

3.2.1. Skladištenje cijevi

Cijevi se dopremaju u radionicu iz centralnog vanjskog skladišta cijevi. To su tzv. „sirove cijevi”, koje uglavnom dolaze standardnih dužina od 6 m i privremeno se pohranjuju u ulazno priručno skladište gdje se sortiraju prema vrstama i promjerima (slika 3.3.).

Osim cijevi, iz skladišta se dopremaju redukcije, koljena i prirubnice koje brodogradilište naručuje kao gotov standardiziran proizvod, a izrađeni su različitih promjera i debljina stjenki.



Slika 3.3. Ulazno priručno skladište cijevi

3.2.2. Transport cijevi

Transportni sustav brodogradilišta čine: mosne dizalice, konzolne dizalice, transportne dizalice, viličari (čeon i bočni), valjkasti transporteri odnosno konvejeri, te tračnice s kolicima na guranje. Cijevi se prije transporta slažu na palete, a zatim se tako napunjene palete prevoze kroz radionicu.

3.2.3. Trasiranje cijevi

Nakon što se radnik temeljito upoznao sa tehničkom i radioničkom dokumentacijom, iz skladišta podiže sav potreban materijal prema specifikaciji. Radnik osim toga provjerava postoji li među odbačenim cijevima u radionici neka cijev koju bi mogao iskoristiti, a koja mu je prema mjernoj skici potrebna, te nakon toga započinje s trasiranjem cijevi koje su došle iz skladišta.

Obilježavanje cijevi obavlja se metrom i traserskom kredom na način da se sve dužine sa traserske crte, prikazane na mjernoj skici, prenesu na cijev. Traserska crta pritom prikazuje mjesta rezanja cijevi sa duljinom, kao i mjesta savijanja. Mjesto na kojem će se cijev odrezati naznačuje se posebnom oznakom, a cijev zatim ide dalje na strojnu obradu, odnosno rezanje.

3.2.4. Rezanje cijevi

Srednja dužina cijevi koje se ugrađuju na brod u prosjeku iznosi oko 3 m, stoga je rezanje vrlo važna i neizostavna radna operacija koju gotovo niti jedna cijev ne zaobilazi.

Cijevi se režu mehaničkim i toplinskim postupkom, od kojeg se mehanički postupak odnosi na rezanje cijevi pomoću tračne pile, a toplinski postupak na plinsko rezanje cijevi.

Rezanje cijevi mehaničkim postupkom vrši se pomoću stacionarne tračne pile (slika 3.4.), a njom se režu cijevi do DN 150. Cjevarska radionica brodogradilišta »3. maj« raspolaže sa dvije takve tračne pile.



Slika 3.4. Tračna pila

Mehanički postupak odnosno piljenje, osigurava ravne i glatke rezne površine, a one omogućuju kvalitetno izvođenje zavarivanja. U odnosu na toplinski postupak, piljenje je ekonomičnije, manja je potrošnja materijala, a pritom je osiguran relativno veliki učinak.

Cijevi većih promjera režu se plinskim postupkom pomoću CNC stroja za rezanje koji se nalazi u drugoj prostoriji. CNC stroj omogućuje izrezivanje otvora različitih promjera i kuta ogranka na

cijevima različitih debljina, automatsko trasiranje cijevi kao i pripremu rubova za zavarivanje. Također omogućuje i izrezivanje ogranaka priključenih pod različitim kutovima što uvelike pripomaže prilikom njegove kasnije izrade.

Nakon izvršenog rezanja, cijevi odlaze na ručnu obradu i po potrebi na savijanje.

3.2.5. Savijanje cijevi

Savijanje cijevi izvodi se upotrebom snažnih hidrauličkih strojeva, odnosno savijačica na hladno pomoću trna (slika 3.5.). Glava trna je pritom kalibrirana, a njezin promjer je nešto manji od unutrašnjeg promjera cijevi. Funkcija trna je da spriječi spljoštenost cijevi, smanji ili onemogući pojavu nabora na stijenci cijevi, te da dodatno podmazuje cijev iznutra. Uređaj pruža mogućnost savijanja cijevi do DN 100, postupak savijanja je brz, a cijevni luk izveden na hladno je vrlo kvalitetan.



Slika 3.5. Savijačica cijevi sa unutarnjim trnom

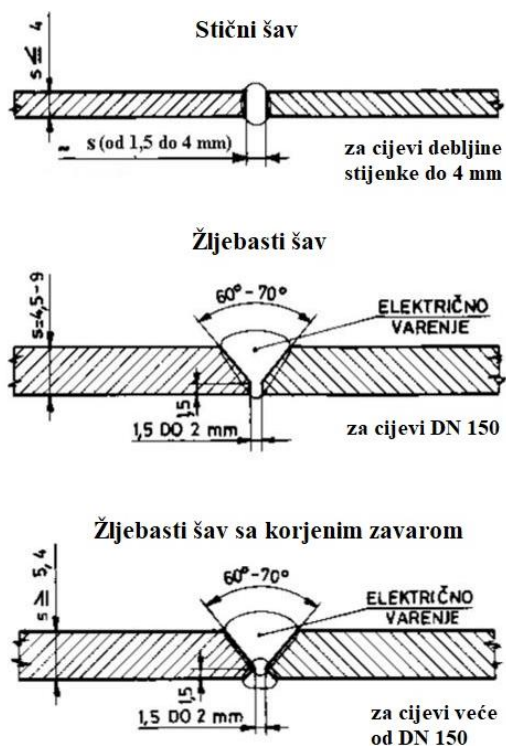
3.2.6. Formiranje cijevi

Nakon strojne obrade (rezanja i savijanja) cijevi su spremne za ručnu obradu koja se vrši na radnim stolovima za tu namjenu, a uključuje rezanje otvora na glavnoj cijevi te prilagođavanje i pripajanje ogranaka, koljena, redukcija i prirubnica.

Kako bi se koljena i redukcije spojile sa cijevi potrebno je prvo obraditi rubove cijevi. Ta se obrada cijevi skošavanjem pod određeni kut izvršava kako bi se omogućio kvalitetan spoj za zavar, a izvodi se mehanički pomoću tokarskog stroja za ravne cijevi promjera do DN 150 (slika 3.6.). Za cijevi većih promjera od DN 150 koje su se rezale na CNC rezačici, nije potrebno dodatno obrađivati rubove jer je priprema krajeva već izvršena na stroju (slika 3.7.).



Slika 3.6. Stroj za tokarenje krajeva cijevi



Slika 3.7. Vrste pripreme krajeva cijevi za zavarivanje u ovisnosti o debljini stijenke [3]

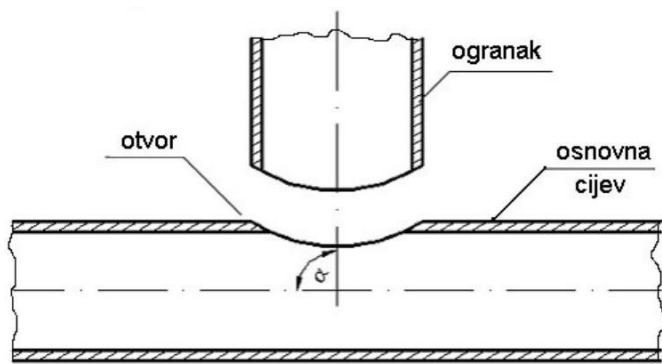
Spajanje cijevnih elemenata (ogranka, koljena, redukcija i prirubnica) izvodi se puntiranjem odnosno privarivanjem, što predstavlja nanošenje kratkih zavara na mjesto spoja. U tu svrhu koristi se MAG postupak (Metal Active Gas) kojim se učvršćuju dijelovi prije zavarivanja.

Cijevi s ograncima promjera do DN 150 koje nisu prošle kroz automatsko rezanje prodora na CNC stroju, u ovoj fazi iziskuju rezanje otvora na glavnoj cijevi, na način da se otvori trasiraju prema poziciji na mjernoj skici. Njihov oblik i dimenzije ucrtavaju se pomoću šablone (tanki lim debljine 0,5 mm) koja se obavije oko cijevi te se pomoću krede njezina kontura prenosi na cijev. Zatim se na temelju obilježenog, plinskim plamenikom izrezuje otvor (slika 3.8.).



Slika 3.8. Trasiranje i ručno rezanje ogranaka pomoću plinskog plamenika

Budući da se ogranci za sve cijevi ovoga modula spajaju pod pravim kutom (od 90°) u odnosu na osnovnu cijev, svi otvori na cijevima imati će eliptični oblik. Sam ogranak mora se skositi brusilicom jer se ukopava u cijev čiji kasniji spoj predstavlja prodor dvaju valjaka koji mogu biti istog ili različitog promjera (slika 3.9.). Za cijevi većeg promjera od DN 150 taj se postupak odradio na CNC stroju čime se znatno skratilo vrijeme potrebno za izradu ogranaka.



Slika 3.9. Detalj prodora dviju cijevi

Na cijevi većih promjera od DN 100 koje se ne mogu savijati strojno, privaruju se gotova koljena, a na cijevi na kojima je to potrebno privaruje se redukcija (slika 3.10.).



Slika 3.10. Primjer privarenih cijevi

Svima se cijevima naposljetku privaruju prirubnice (slika 3.11.). Krajevi cijevi koji se spajaju sa prirubnicom ne prolaze poseban postupak obrade, osim što se vrhovi zaostali od rezanja uklanjaju brusilicom i ravna se baza. Prirubnica se namješta pod pravi kut u odnosu na cijev (što se provjerava kutnikom), a cijev se uvlači u nju približno za debljinu stijenke, kako bi se osigurao prostor za zavar. Neophodno je pažljivo namještanje i fiksacija prirubnice jer u suprotnom nije garantiran kvalitetan spoj, što može rezultirati kasnijim popravcima te posljedično dovesti do zastoja u montaži i gubitku kvalitete.



Slika 3.11. Primjer privarenih prirubnica

Zadnja faza ručne obrade odnosi se na obilježavanje cijevi, a to se vrši na način da se na svakoj cijevi odabere jedna prirubnica na čiji se obod označe podaci o cijevi sa mjerne skice, koji definiraju cijev za montažu na brod. Na slici 3.12. prikazane su već označene prirubnice.



Slika 3.12. Prirubnice sa cijevnim oznakama

3.2.7. Zavarivanje

Sastavljenim cijevima potrebno je u sljedećoj fazi zavariti sve tek privarene spojeve, stoga se cijevi viličarom ili transportnom prugom dopremaju u susjednu radionicu na zavarivanje.

Zavarivanje cijevi je postupak spajanja dvaju ili više cijevnih dijelova uz dodavanje, ili bez dodavanja dodatnog materijala. Pritom se koriste različiti izvori energije kako bi spoj imao što ravnomjernije osobine za onu vrstu primjene kojoj je cijev namijenjena. Zavar je stoga područje u kojem je tijekom zavarivanja, uslijed djelovanja visokih temperatura došlo do sjedinjenja dvaju materijala (i dodatnog materijala ako je unesen prilikom zavarivanja). Zavar stvara nerastavljivi spoj, te ukoliko je postupak pravilno izveden, mjesto spoja jednake je čvrstoće kao i sama cijev. Unutar brodogradilišta zavarivanje vrše isključivo specijalizirani i atestirani zavarivači koji jamče kvalitetu zavara.

Pritom se koristi MAG postupak zavarivanja, koji predstavlja zavarivanje s taljivom elektrodom pod zaštitom aktivnog plina CO₂ (ugljkovog dioksida) koji je uvijek dostupan u radionici.

Kod zavarivanja je bitno obratiti pažnju i na redoslijed, stoga se primjerice kod prirubnica prvo mora izvršiti zavarivanje na spoju prirubnice i cijevi s unutrašnje strane, a zatim sa vanjske (slika 3.13.). U suprotnom bi moglo doći do deformacije, a prirubnica zadobiti polukuglasti oblik.



Slika 3.13. Detalj zavarenog prirubničkog spoja

3.2.8. Brušenje cijevi

Svaki se zavareni spoj čeličnih cijevi i cijevnih elemenata mora izbrusiti kako bi se uklonile neravnine na spojnim mjestima i skinule nečistoće koje su nastale uslijed zavarivanja.

Posebna pažnja mora se obratiti na prirubnice jer bi svaka nepravilnost ili hrapavost na prirubnoj površini ukazala na nedostatak spoja i time povećala rizik od propuštanja medija u pogon.

Najprikladniji alat za svrhu obrade cijevi brušenjem su pneumatska brusilica i freza na zrak (slika 3.14.).



Slika 3.14. Brušenje zavarenog prirubničkog spoja (lijevo) i koljena (desno)

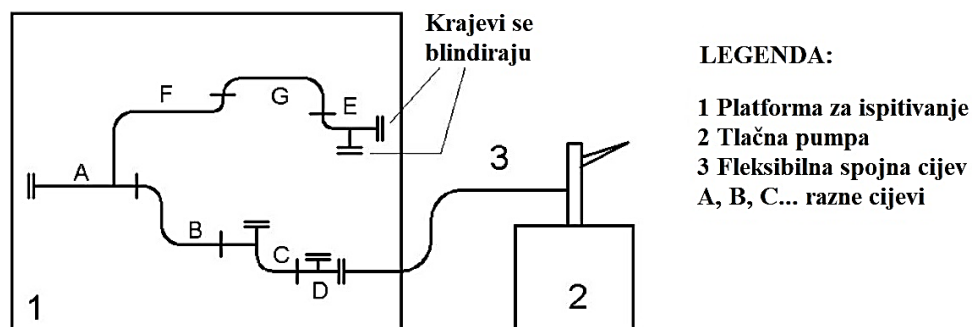
3.2.9. Kontrola i tlačenje cijevi

Kontrola cijevi provodi se tijekom i nakon dovršetka procesa izrade cijevi.

Faznu kontrolu obavlja sam radnik poslije svake odrađene aktivnosti prilikom izrade cijevi (rezanja, savijanja, zavarivanja i sl.), a završnu kontrolu vrše kontrolori koji provjeravaju kvalitetu izrade i obrade cijevi, te dimenzionalnu kontrolu. Obavljaju vizualni pregled cijevi kako bi utvrdili jesu li cijevi obrađene prema priloženoj skici, jesu li zavareni svi cijevni elementi označeni u dokumentu, jesu li savijena mjesta s obzirom na eliptičnost i veličinu nabora u skladu sa standardom itd. Također se provjerava i geometrija obrađene cijevi zbog moguće deformacije nastale uslijed zavarivanja, koja bi posljedično mogla dovesti do odstupanja od zadanih dimenzija. Posebna pažnja pridaje se kutu zakrivljenih cijevi, kutu zavarenih ogranaka, kutu pričvršćenja prirubnice u odnosu na cijev itd. Nakon vanjskog pregleda pregledava se i unutrašnjost cijevi te ukoliko nisu potrebne dorade, cijev se smatra obrađenom.

Ispitivanje nepropusnosti odnosno tlačenje cijevi, vrši se na za to posebno pripremljenoj platformi koja se nalazi u sklopu radionice za izradu cijevi. Izrađene cijevi se međusobno povezuju neovisno o redosljedu montaže u modul, te se tlače vodenim tlakom (slika 3.15.). Na taj se način ispituje

nepropusnost i čvrstoća cijevi. Pritom je potrebno posebnu pažnju posvetiti zavarenim spojevima i savijenim dijelovima cijevi, jer dok su cijevi pod tlakom na tim mjestima ne smije doći do propuštanja vode, bilo u obliku kapanja, rošenja ili znojenja. Cijev bi u tom slučaju morala ići na popravak. Tim se ispitivanjem osigurava pouzdanost sistema prilikom montaže na brodu.



Slika 3.15. Shematski prikaz principa tlačenje cijevovoda u radionici [3]

3.2.10. Čišćenje cijevi

Sve izrađene cijevi potrebno je očistiti kako ne bi uzrokovale onečišćenja, kemijske reakcije sa medijem ili dovele do oštećenja uređaja, opreme ili strojeva na brodu. To se posebno odnosi na cijevi koje su obrađene savijanjem, jer se te cijevi s unutrašnje strane podmazuju sa strojnim uljem koje ne smije dospjeti u neke cijevovode.

Sačmarenje je proces mehaničkog čišćenje cijevi, pri čemu čestice sačme nošene strujom zraka velikom brzinom udaraju u stijenku cijevi i na taj način otklanjaju nečistoće. Koristi se čelična sačma određene granulacije, kako bi se kvalitetno očistila cijev te osigurala hrapava površina radi kasnijeg boljeg prijanjanja boje (bez ljuštenja, bubrenja ili poroznosti). Proces se izvodi ručno unutar zatvorene komore, dok je operater opremljen zaštitnim odjelom (slika 3.16.).



Slika 3.16. Komora za sačmarenje

Cijevi goriva se nakon sačmarenja dodatno iznutra kemijski tretiraju, na način da se u cijevi ulije kiselina te se začepi otvori na njima dok kiselina ne napravi reakciju. Cijevi se zatim odčepi, kiselina se izlije, a cijevi se isperu slatkom vodom. Nakon toga se cijevi vizualno pregledaju ne bi li se utvrdilo postoji li unutar njih još uvijek kakvih nečistoća odnosno ostataka hrđe na njihovim stijenkama. Iz toga su se razloga te cijevi savijale samo jedanput kako bi s oba kraja bile vidljive iznutra. Ukoliko je sve uredno, cijevi se potom iznutra nauljuju kako bi se spriječio daljnji nastanak korozije te se na svim izlaznim otvorima začepi plastičnim čepovima da naknadno u njih ne bi ušlo onečišćenje.

Ove cijevi ne smiju ići na zaštitu od korozije bez prethodnog kemijskog tretmana jer se na taj način sprječava da u motor uđu nečistoće koje bi mogle uzrokovati povećano habanje ili oštećenje njegovih unutarnjih dijelova, te se one odčepuju tek u fazi montaže na brod.

3.2.11. Antikorozivna zaštita cijevi

Antikorozivna zaštita ima ključnu ulogu u očuvanju cijevi na brodu, posebno čeličnih cijevi koje su izuzetno osjetljive na koroziju. Korozija nastaje kao posljedica kemijske reakcije pod utjecajem vlage,

kisika i kemikalija, a to može uzrokovati smanjenje debljine stijenke cijevi, što dovodi do strukturalne slabosti i potencijalno opasne situacije na brodu. Stoga se primjenjuju različite tehnike antikorozivne zaštite cijevi kao što su: korištenje legura koje imaju poboljšanu otpornost na koroziju, pocinčavanje cijevi, te premazi koji štite materijal od izravnog kontakta s okolišem. Ove metode antikorozivne zaštite ključne su za produženje vijeka trajanja cijevi na brodu te osiguravaju njihovu dugoročnu kvalitetu i pouzdanost tijekom operacija na moru.

3.2.11.1. Pocinčavanje cijevi

Kako bi se spriječilo korodiranje čeličnih cijevi na brodu, posebno onih koje su u dodiru s morskom vodom, potrebno ih je dodatno zaštititi. Stoga se cijevi za požar i kaljužu, na koje neprestano djeluje morska voda, izvana i iznutra najbolje mogu zaštititi pocinčavanjem. Taj postupak se odvija u cinkarni izvan brodogradilišta »3. maj«, na prethodno dobro očišćenim cijevima jer o tome ovisi kvaliteta zaštitnog sloja cinka.

Za zaštitu navedenih cijevi koristi se vruće pocinčavanje, na način da se sačmarene cijevi urone u kadu sa sumpornom kiselinom (H_2SO_4) te izlažu njegovom djelovanju kako bi se cijevi očistile prije cinčanja. Zatim se cijevi obavezno ispiru vodom, te se nakon toga na cijevi može primijeniti cinkov klorid ($ZnHCl$) kako bi se neutralizirala voda i spriječila pojava hrđanja (slika 3.17.).



Slika 3.17. Kada za neutralizaciju nakon tretiranja kiselinom

Zatim slijedi postupak sušenja cijevi pomoću pare, toplog zraka i sličnih metoda kako bi se uklonio ostatak tekućine sa površine cijevi. Kada su cijevi pripremljene i suhe, spremne su za uranjanje u kadu s rastaljenim cinkom (slika 3.18.). Vrijeme potrebno za pocinčavanje je svega par minuta, a ovisi o debljini stijenke cijevi i željenoj debljini zaštitnog sloja cinka. Cijevi se nakon pocinčavanja hlade (vodom ili zrakom) te se višak cinka odstranjuje turpijom. Površina pocinčane cijevi je siva i bez sjaja (slika 3.19.).



Slika 3.18. Kada za cinčanje



Slika 3.19. Primjer pocinčanih cijevi

Nakon završenog pocinčavanja, cijevi se dopremaju natrag u radionicu brodogradilišta »3. maj« na završnu obradu odnosno bojanje cijevi.

3.2.11.2. Bojanje cijevi

Sve se cijevi nakon što su prethodno očišćene i obrađene, dopremaju u komoru za bojanje radi završnog premazivanja antikorozivnom zaštitom.

Pocinčane cijevi (za požar i kaljužu) i cijevi goriva se pritom bojaju samo izvana, dok se cijevi morske rashladne vode mogu bojati izvana i iznutra ili samo izvana.

Bojanje antikorozivnim premazima vrši se u više slojeva, prvo se nanosi temeljni radionički premaz, zatim prvi premaz te na kraju završni. Ovim postupkom osigurava se kompletni sustav vanjske zaštite čeličnih cijevi.

Bojanje se vrši ručnim postupkom na način da se pomoću bezzračnih ručnih šprica boja nanosi na čistu neposredno pripremljenu površinu (slika 3.20.). Osim toga mogu se primijeniti i tehnike nanošenja boje kistom i valjcima, međutim prva varijanta ipak daje najbolje rezultate iz razloga što je nanoseni sloj jednomjieran, štedi se boja, a i sam postupak je iznimno brz.

Kada se radi o manjem broju cijevi bojanje mogu izvoditi i sami cjevvari, ali budući da je riječ o većem broju cijevi bojanje vrše radnici specijalizirani za tu vrstu poslova i radnih zadataka.



Slika 3.20. Bojanje cijevi

Budući da proces bojanja zahtijeva nanošenje više premaza različitih karakteristika, važno je da se prethodni sloj potpuno osuši prije nego što se nanese slijedeći sloj premaza. Sušenje se odvija prirodnim putem, stoga vrijeme sušenja uvelike ovisi o temperaturi i stanju okolnog zraka. Prilikom

niskih temperatura vrijeme sušenja se znatno produžuje, stoga je temperaturu zraka potrebno održavati ventilacijom, zagrijavanjem i odvlaživanjem ukoliko je to moguće, čime se vrijeme sušenja znatno smanjuje te se ubrzava proces proizvodnje.

Cijevi su oslonjene na posebnu konstrukciju dijagonalne rešetke koja omogućava da se svježe obojane cijevi oslanjaju samo mjestimično, čime se oštećenja površine materijala svode na minimum (slika 3.21.).

Nakon što su svi elementi osušeni, prevoze se transportnim vozilom (viličarom) u skladište gotovih cijevi prije sastavljanja u modul.



Slika 3.21. Oslanjanje elementa u komori za bojanje i sušenje

3.3. Izrada bravarske opreme

Izrada bravarskih elemenata izvodi se u bravarskoj radionici, u sklopu koje se odrađuje i zavarivanje. Nakon toga elementi odlaze na brušenje u brusionu, te naposljetku na sačmarenje i bojanje u za to namijenjene komore.

Njihova izrada uključuje iste osnovne aktivnosti kao i izrada cijevi, osim što bravarski elementi ne prolaze kroz proces savijanja niti tlačnu kontrolu.

Izrađuju se 4 temelja za pumpe, 4 nosača kolektora i 10 nosača cijevi, od kojih je 4 namijenjeno za vertikalnu fiksaciju cijevi na zid, a 6 za horizontalnu fiksaciju na pod.

Oprema se sastoji od čeličnih U i L profila (različitih dimenzija), a izrađuje se na temelju radioničke dokumentacije.

3.3.1. Proces izrade temelja i nosača cjevovoda

Početak radova izrade bravarske opreme obuhvaća dopremanje (U i L) profila iz centralnog skladišta u priručno skladište bravarske radionice gdje se pohranjuju i uzimaju prema potrebi proizvodnje. Navedeni profili se pomoću metra i krede trasiraju na potrebnu dužinu označenu na mjernoj skici, te se režu uz pomoć tirolitke odnosno pile za rezanje metala (slika 3.22.).



Slika 3.22. Tirolitka

Nakon što su svi U i L profili izrezani donose se na radni stol gdje se vrši sastavljanje opreme. Zatim se formiraju temelji za pumpe koji se sastoje od L profila, a slažu se u raznim smjerovima (horizontalno i vertikalno) pod kutem od 90°. Također se privaruju i podložne pločice na kojima će temelji stajati.

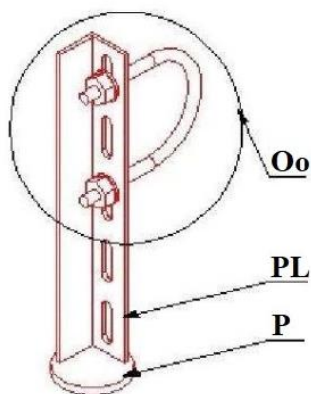
Nakon toga kreće izrada nosača kolektora tako što se, na onim profilima na koje će se pričvrstiti obujmice za cijevi, stupnom bušilicom buše rupe (slika 3.23.). Svi U i L profili se zatim postavljaju i privaruju na određenim mjestima, a također se privaruju i podložne pločice na kojima će nosači stajati.



Slike 3.23. Stupna bušilica

Istim postupkom sastavljaju se i nosači cijevi, izbušeni L profili postavljaju se i pripajaju sa podložnom pločicom (slika 3.24.).

DETALJ "L" PROFILA



LEGENDA:

- Oo** - ovalna obujmica
- PL** - perforirani L profil
- P** - podložna pločica

Slika 3.24. Detalj perforiranog nosača

Nakon što je ručna obrada završena, svi sastavljeni bravarski elementi idu na zavarivanje. Zavarivanje se vrši MAG postupkom, te se oprema potom odvodi na brušenje da bi se izgladili svi zavareni spojevi (slika 3.25.). Nikakve neravnine, oštre ivice ili oštri prijelazi od zavarivanja ne smiju ostati jer ta mjesta mogu uzrokovati pucanje boje.

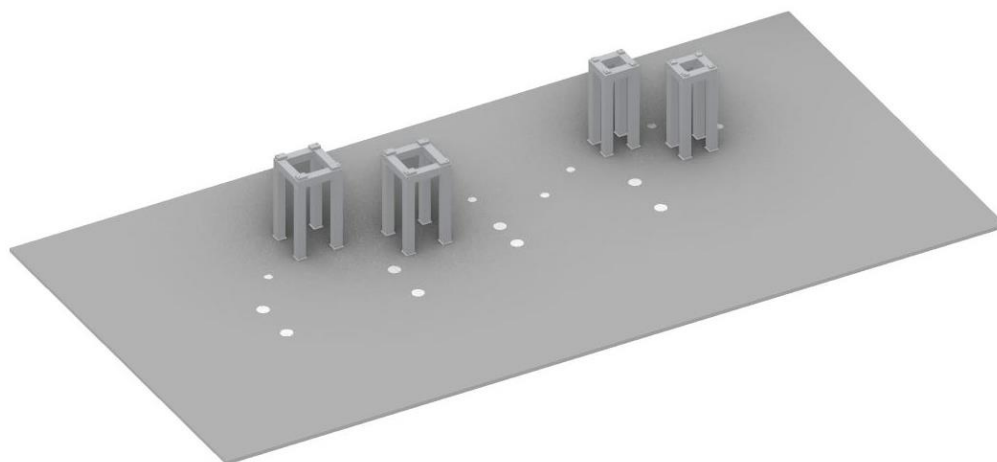


Slika 3.25. Primjer izbrušenih temelja

Kontrolori tada provjeravaju sve odrađene poslove, posebno zavarene i izbrušene dijelove, a i sam radnik nakon svake faze vrši provjeru obavljenog posla. Završna obrada bravarske opreme (temelja i nosača) uključuje čišćenje sačmom i bojanje antikorozivnim premazima. Gotovi se temelji i nosači zatim odvoze u skladište bravarske opreme gdje stoje spremni za sastavljanje u modul.

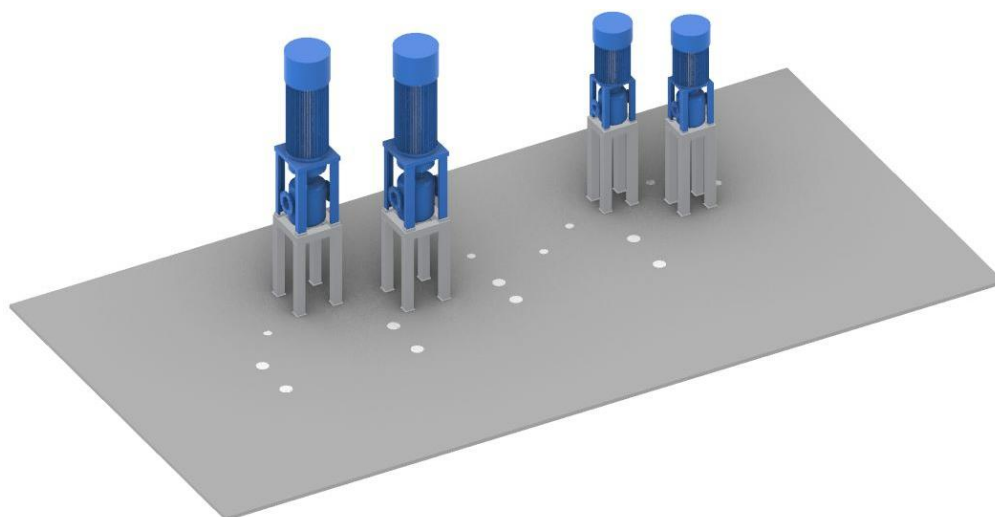
4. SASTAVLJANJE MODULA U RADIONICI I UGRADNJA MODULA NA BROD

Sastavljanje modula započinje dopremanjem temelja, nosača i cijevi iz skladišta gotovih elemenata na za to predviđenu platformu radi predmontaže. Taj posao obavljaju transportni radnici. Nakon toga bravari trasiraju pozicije za temelje i postavljaju ih na platformu (slika 4.1.).



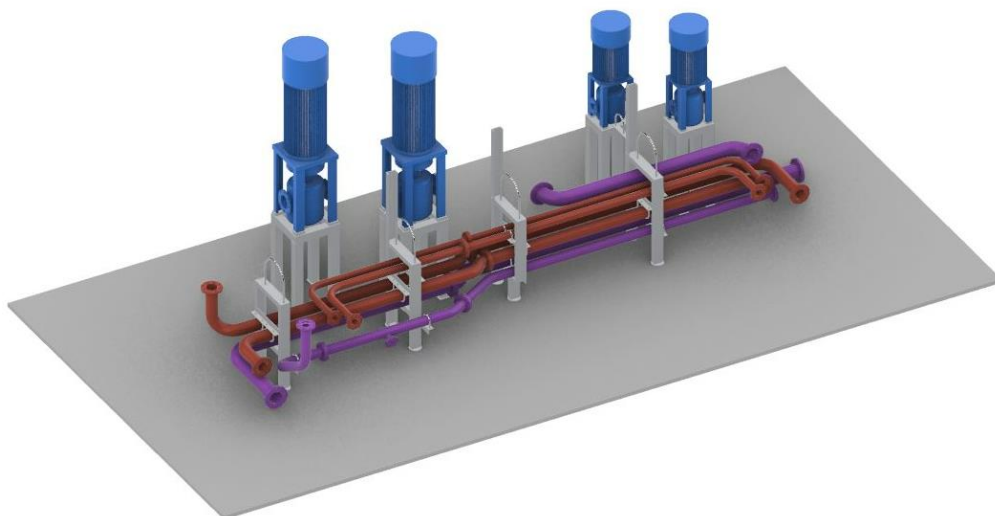
Slika 4.1. Montaža temelja

Brodski mehaničari zatim na temelje pomoću dizalice pozicioniraju i postavljaju pumpe. Pumpe je međutim potrebno iznivelirati, a taj se postupak vrši na način da se na osnovu otvora za vijke koji se nalaze na izdancima pumpi, na pločicama označe mjesta za rupe. Pumpe se zatim pomaknu, pločice se zavare na temelje, te se na njima buše rupe na prethodno označenim mjestima. Kada je to odrađeno ponovno se donose pumpe i one se pričvršćuju vijcima (slika 4.2.).



Slika 4.2. Montaža pumpi

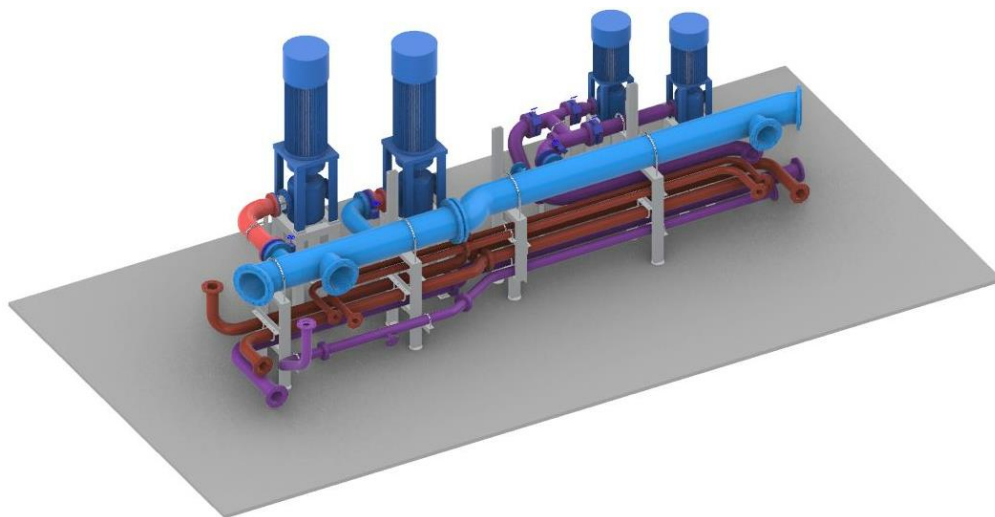
Nakon što su sve pumpe ugrađene i pričvršćene za temelje, mogu započeti cjevarski radovi. Prvo se postavljaju nosači kolektora, a zatim i cijevi unutar nosača, redoslijedom odozdo prema gore i straga prema naprijed zbog jednostavnosti montaže (slika 4.3.). Cijevi se (kao i ostali elementi sustava) međusobno spajaju prirubnicama pomoću vijaka s glavom.



Slika 4.3. Montaža nosača kolektora i cijevi unutar njega

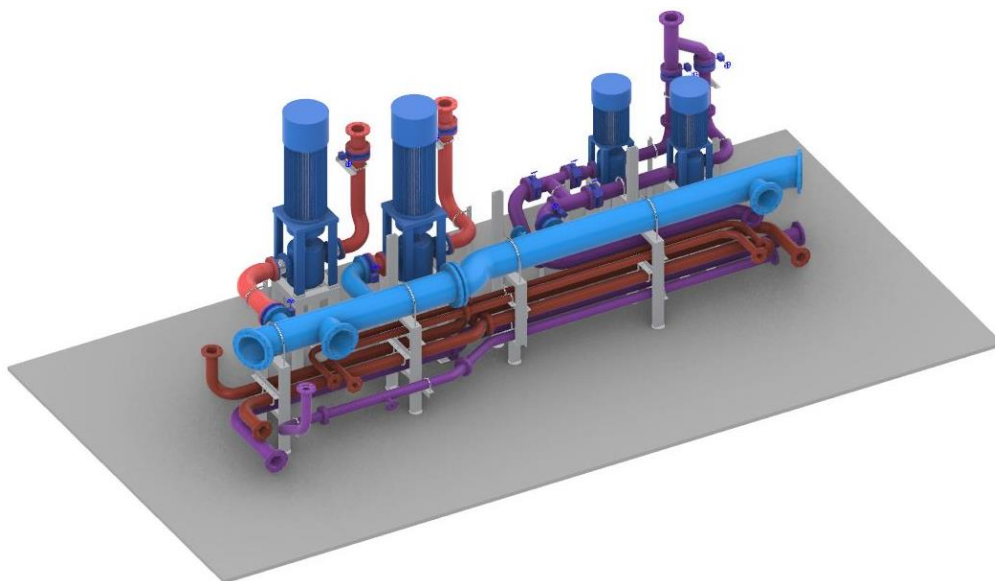
Sljedeći se montira kolektor, a na njega se pripajaju leptirasti ventili namijenjeni za regulaciju protoka. Na pumpe pričvršćuju se aksijalni kompenzatori koji služe za zaštitu instalacija od proširenja i

vibracija uzrokovanih pumpom. Zaključno, postavljaju se i ostale cijevi sustava koje spajaju kolektor sa pumpama, a zajedno s njima montiraju se i nosači cijevi koji ih fiksiraju obujmicom (slika 4.4.). Redukcijske cijevi koje čine spoj cjevovoda s pumpama, zbog mogućnosti odstupanja elemenata opreme, postavljaju se zadnje jer se one ukoliko je potrebno mogu najjednostavnije korigirati.



Slika 4.4. Montaža kolektora i njegovo spajanje sa pumpama

Nakon što su postavljene sve horizontalne cijevi, postavljaju se i vertikalne, a na njih se na zadanoj poziciji samo pričvrste nosači, koji se kasnije zavaruju na brodu (slika 4.5.).



Slika 4.5. Montaža vertikalnih cijevi

Prethodna slika osim što prikazuje završnu fazu montaže opreme, predstavlja i vizualni 3D prikaz potpuno opremljenog modula koji je za potrebe ovoga rada izrađen u Rhino 7 programu za modeliranje. Sam redoslijed sastavljanja modula može se vidjeti i u animiranoj verziji u dodatnom materijalu na CD-u, pod nazivom animacija 1.

Na kraju se vrše završni pregledi i ispitivanja koje provodi tehnička kontrola, odnosno kontrolori. Analizira se funkcionalnost modula te ispravnost izrade njegovih elemenata, a utvrđuju se na osnovi tehničke dokumentacije. Provjerava se jesu li cjevovodi izrađeni prema nacrtima i postavljeni na odgovarajuće mjesto, zatim način spajanja pojedinih cijevi, način priključenja cjevovoda na pumpe, te je li potrebna još kakva dorada. Također provjerava se i jesu li svi ventili na odgovarajućoj poziciji, prate li smjer fluida i je li rukovanje njima prihvatljivo. Vršiti se i kontrola pumpi, jesu li adekvatno pripojene za temelje i je li smjer pumpe ispravan (tlačni i usisani dio), te se kontrolira rotor pumpe tzv. ispitivanjem pumpe na hladno. To se izvodi na način da se rukom zavrti rotor pumpe i prati okreće li se rotor slobodno ili zapinje za neki dio.

Nakon završenog ispitivanja slijedi ukrućivanje i priprema modula za transport na brod, što obavljaju bravari i mornari. Modul se podiže s platforme i spušta na prikolicu, na kojoj se prevozi do broda na navozu gdje će se izvršiti konačna montaža (slika 4.6.). Sijedi podizanje modula sa prikolice i pažljivo spuštanje na mjesto za montažu, u čiji su proces uključeni transportnih radnici i mornari. Modul postavljen u prostoru strojarnice, pričvršćuje se na dvodno broda i spaja sa ostatkom opreme sustava.



Slika 4.6. Primjer modula spremnog za ukrcaj na brod

Na brodu se tada vrši posljednja provjera odnosno ispitivanje modula, kako bi se utvrdilo je li ispravno instaliran i odgovara li specifičnim zahtjevima i uvjetima na brodu. Cjevovod se naposljetku označava prugama u boji, na način da se na završno obojan cjevovod na svakih otprilike 1-2 m, vrši obilježavanje cijevi prema službama (slika 4.7. i 4.8.).

OZNAČAVANJE SLUŽBI CJEVOVODA		GLAVNE BOJE ZA MEDIJE (ISO 14726)	
OZNAKA	BOJA	SLUŽBA	
	ZELENA-OKER ŽUTA-ZELENA	MORSKA VODA	RASHLADNA
	ZELENA-BIJELA-ZELENA		BALAST
	CRVENA-ZELENA-CRVENA		GAŠENJE POŽARA
	CRNA-ZELENA-CRNA	KALJUŽA	
	PLAVA-LJUBIČASTA-PLAVA	RASHLADNA SLATKA VODA	
	PLAVA-ZELENA-PLAVA	PITKA, TOPLA I HLADNA VODA	
	PLAVA-SIVA-PLAVA	DESTILIRANA VODA	
	PLAVA-SREBRNA-PLAVA	NAPOJNA VODA	
	CRVENA-OKER-CRVENA	PJENA	
	SREBRNA-OKER-SREBRNA	PARA	
	SREBRNA-BIJELA-SREBRNA	KONDENZAT	
	SMEĐA-CRNA-SMEĐA	TEŠKO GORIVO	
	SMEĐA-OKER ŽUTA-SMEĐA	DIESEL GORIVO	
	NARAN.-OKER-NARAN.	MAZIVO ULJE	
	NARAN.-SIVA-NARAN.	HIDRAULIČKO ULJE	
	SIVA-SMEĐA-SIVA	INTERNI PLIN	
	CRVENA-SIVA-CRVENA	CO ₂	
	OKER ŽUTA-SIVA-OKER ŽUTA	FREON	
	SIVA-CRVENA-SIVA	KOMPRIMIRANI ZRAK 3 MPa	
	SIVA-NARAN.-SIVA	KOMPRIMIRANI ZRAK 0.8 MPa & 0.2 MPa	

Slika 4.7. Oznake cjevovoda prema službi



Slika 4.8. Primjer obilježenog cjevovoda na brodu

5. VIZUALNI PRIKAZ PROJEKTA

Projekt opisanog cijevnog modula je za potrebe ovoga rada izrađen u Microsoft Project (MS Project) programu, specijaliziranom softverskom alatu za upravljanje projektima koji osigurava planiranje, praćenje i vođenje različitih vrsta i veličina projekata. On omogućuje organiziranje zadataka, upravljanje resursima, praćenje vremena i troškova te izvještavanje o napretku projekta. U njemu su stoga izrađeni vizualni prikazi ovog projekta u obliku gantograma i mrežnog dijagrama s naznačenim kritičnim putem, a kroz daljnji će tekst navedeni grafički prikazi biti i detaljnije razrađeni.

5.1. Gantogram

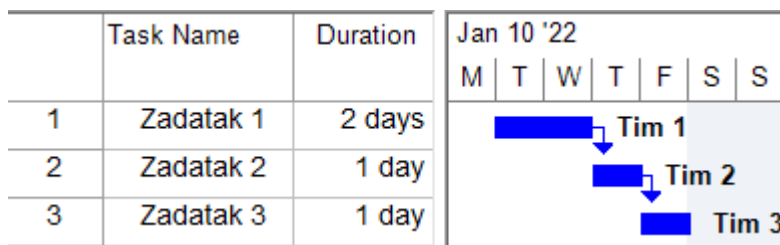
Gantogram poznat i kao Ganttov dijagram, je vrsta grafikona koji se koristi za vizualizaciju vremenskog rasporeda aktivnosti projekta. Jednostavan je i analitički alat koji omogućuje planiranje, upravljanje i praćenje projekta pružajući pregled svih aktivnosti potrebnih za njegovo izvršenje. Osim toga prikazuje datume početka i završetaka pojedinih aktivnosti te njihove međusobne ovisnosti kako bi se osiguralo njihovo obavljanje pravim redoslijedom. Ova metoda linijskog plana, najčešće je korišten prikaz projekta (slika 5.1.).

Aktivnost	Dani									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	■									
B	■	■								
C		■	■	■	■					
D				■	■					
E						■	■	■		
F								■	■	■

Slika 5.1. Primjer gantograma

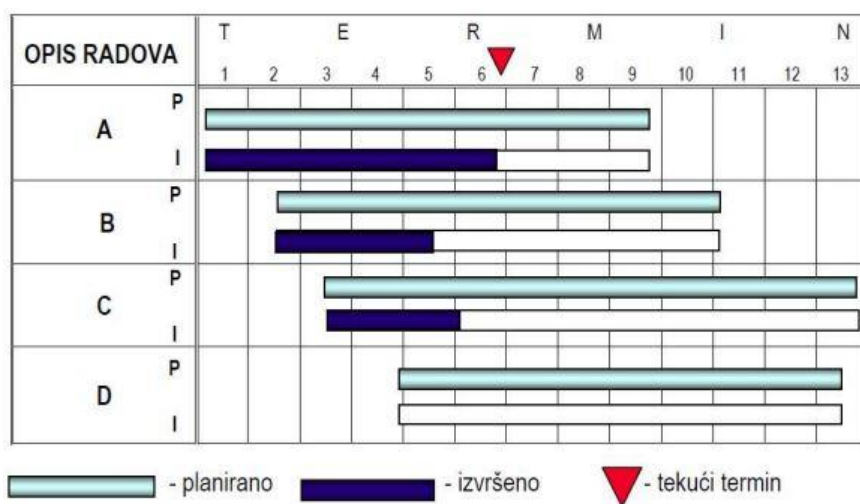
Na gantogramu su aktivnosti prikazane kao vodoravne trake koje se protežu preko vremenske skale na horizontalnoj osi. Svaka aktivnost ima svoju traku, a njezina dužina iskazuje planirano trajanje aktivnosti. Ovisnosti među pojedinim aktivnostima prikazane su strelicama odnosno linijama koje

povezuju zadatke, čime se naglašava redoslijed izvođenja. Također, svakoj aktivnosti se mogu dodijeliti i resursi radi jasnog identificiranja odgovornih osoba ili timova (slika 5.2.).



Slika 5.2. Gantogramski prikaz

Gantogram stvara precizan vremenski okvir projekta te pruža mogućnost ranog prepoznavanja problema s rasporedom aktivnosti kako bi se izbjegli potencijalni problemi preklapanja kritičnih zadataka ili praznina u vremenskoj traci koje bi mogle uzrokovati kašnjenja. Nudi jasan prikaz napretka projekta te omogućuje usporedbu planiranih i stvarnih datuma završetka aktivnosti (slika 5.3.), a timovima također olakšava da jasno vide sve zadatke projekta i njihove vremenske okvire, pružajući im potrebne smjernice za uspješnu realizaciju projekta. Osim toga pruža učinkovito upravljanje resursima osiguravajući da oni budu dostupni kada su najpotrebniji, te omogućuje planiranje različitih scenarija kako bi se odredio najbolji plan projekta prije nego što se on stvarno implementira.

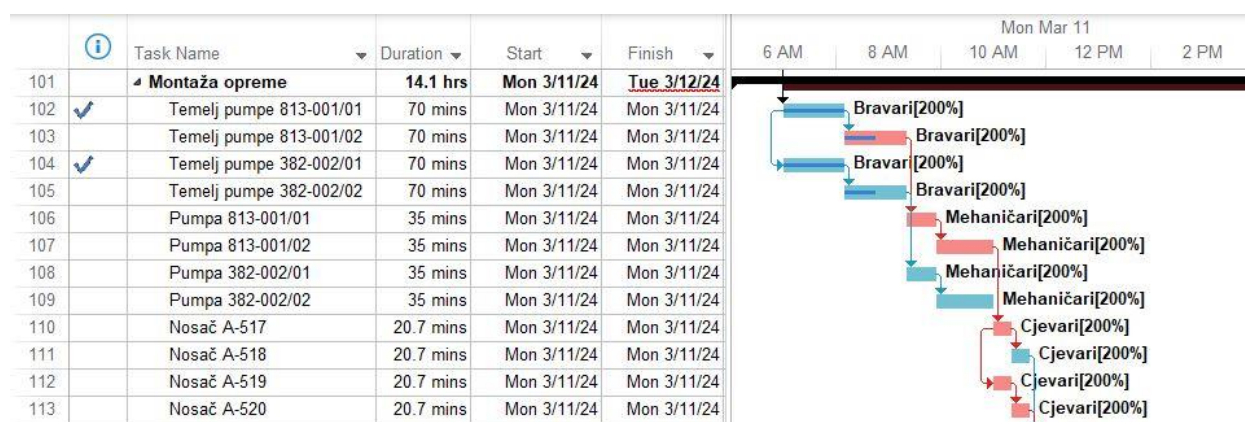


Slika 5.3. Prikaz napretka projekta [8]

Prednost gantograma leži u tome što omogućuje detaljno planiranje projekta, čime se smanjuje rizik od kašnjenja i prekoračenja budžeta. Također, olakšava komunikaciju među sudionicima projekta te pruža bolju kontrolu nad njegovim tijekom jer omogućuje brzo reagiranje na eventualne probleme ili promjene. Osim toga pomaže u učinkovitom upravljanju vremenom i identificiranju kritičnih točaka u projektu odnosno aktivnosti kod kojih je važno da ne dođe do kašnjenja u izvršenju jer bi to moglo prouzročiti njegovo produljenje.

Za izradu plana projekta cijevnog modula u gantogramu najprije je potrebno definirati sve aktivnosti unutar toga projekta. Na sučelju gantograma je stoga s lijeve strane u tabličnom dijelu prikazan popis svih aktivnosti od kojih se projekt sastoji, te vrijeme potrebno za njihovo izvršenje koje je dobiveno na temelju normativa brodogradilišta. Označen je i slijed izvođenja radova pomoću čega se dobivaju datumi početka i završetka pojedinih aktivnosti, a njima su pridodana i odgovarajuća zanimanja koja ih izvršavaju, zajedno sa troškovima za obavljeni posao. Na desnoj strani se na vrhu gantograma nalazi vremenska skala, a ispod nje je svaka pojedina aktivnost navedena na lijevoj strani, prikazana kao vodoravna traka čija duljina ovisi o njenom vremenu trajanja. Unutar traka nalaze se i linije koje označavaju postotak obavljenog posla.

Aktivnosti su međusobno povezane strelicama, a označavaju slijed izvođenja radova pri čemu se na slici 5.4. može vidjeti da se neke aktivnosti mogu izvoditi paralelno dok druge ne mogu započeti dok se prethodne ne završe do kraja.



Slika 5.4. Primjer veza u gantogramu

Crvenom je bojom u dijagramu označen kritični put koji predstavlja ukupni vremenski okvir projekta, no više o njemu biti će riječi u poglavlju 5.3. Cijeli postupak izrade i montaže modula zajedno s kritičnim putem u vizualnom je obliku prikazan u prilogu 1.

5.2. Mrežni dijagram

Mrežni dijagram je vizualni alat koji na grafički način prikazuje sve aktivnosti projekta, njihov tijek i međusobne veze. Koristi se za planiranje, analizu i upravljanje projektima, a njegova primjena donosi transparentnost, efikasnost i preciznost u vođenju i realizaciji projekata.

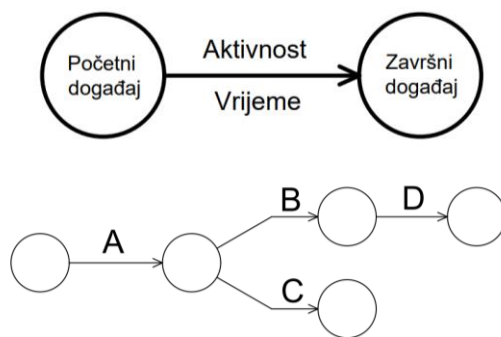
On znatno olakšava upravljanje projektima, posebno velikim i složenim, jer omogućuje razumijevanje njegovog procesa kroz jednostavno mapiranje rasporeda aktivnosti i njihovog redoslijeda. Mrežni dijagram osim toga daje uvid u cjelokupnu strukturu projekta i međuovisnosti pojedinih aktivnosti što timovima olakšava praćenje redoslijeda zadataka. Također omogućuje procjenu trajanja projekta i pruža pregled njegovog napretka.

Postoji jedan početni i jedan krajnji događaj, a sve povezane aktivnosti između njih čine put. Kritični put je onaj put koji ima najduže trajanje odnosno vremenski je najopterećeniji dio projekta. Njegovom identifikacijom omogućuje se prepoznavanje ključnih aktivnosti i pravovremena reakcija na eventualna kašnjenja ili promjene u rasporedu. Važno je izvršavanje pravovremenih analiza i korekcija mrežnog plana kako bi se optimalno iskoristili svi resursi (ljudski, vremenski, financijski).

Postoje dvije glavne vrste mrežnih dijagrama, a to su:

- Metoda dijagrama sa strelicama (ADM)
- Metoda dijagrama prednosti (PDM)

Metoda dijagrama sa strelicama je vrsta mrežnog dijagrama koja koristi strelice za predstavljanje aktivnosti projekta međusobno povezane preko čvorova. Pritom rep strelice predstavlja početak aktivnosti, a glava strelice završetak, dok je njezina dužina često proporcionalna trajanju pojedine aktivnosti. Svaka strelica povezuje dva polja, poznata kao „čvorovi”. Čvorovi predstavljaju početak ili kraj aktivnosti u nizu. Početni čvor naziva se „i-čvor” a krajnji čvor naziva se „j-čvor”, stoga je ova metoda poznata i kao i-j metoda (slika 5.5.).

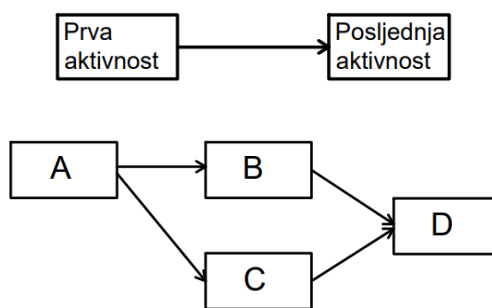


Slika 5.5. Metoda dijagrama sa strelicama

Kod ove metode mreža strelica pokazuje samo odnos Finish to Start (kraj - početak) između aktivnosti projekta, što znači da naredna aktivnost može početi tek po završetku prethodne aktivnosti.

Prednost ove metode leži u jednostavnom i brzom prikazu koji ne zahtijeva previše vremena za izradu, ali nedostatak je u nemogućnosti da se u dijagram uvrste ubrzanja i kašnjenja aktivnosti bez dodavanja novih elemenata što čini ovu metodu pomalo pojednostavljenom kada je riječ o kompleksnijim odnosima između aktivnosti (što je česti slučaj složenijih projekata).

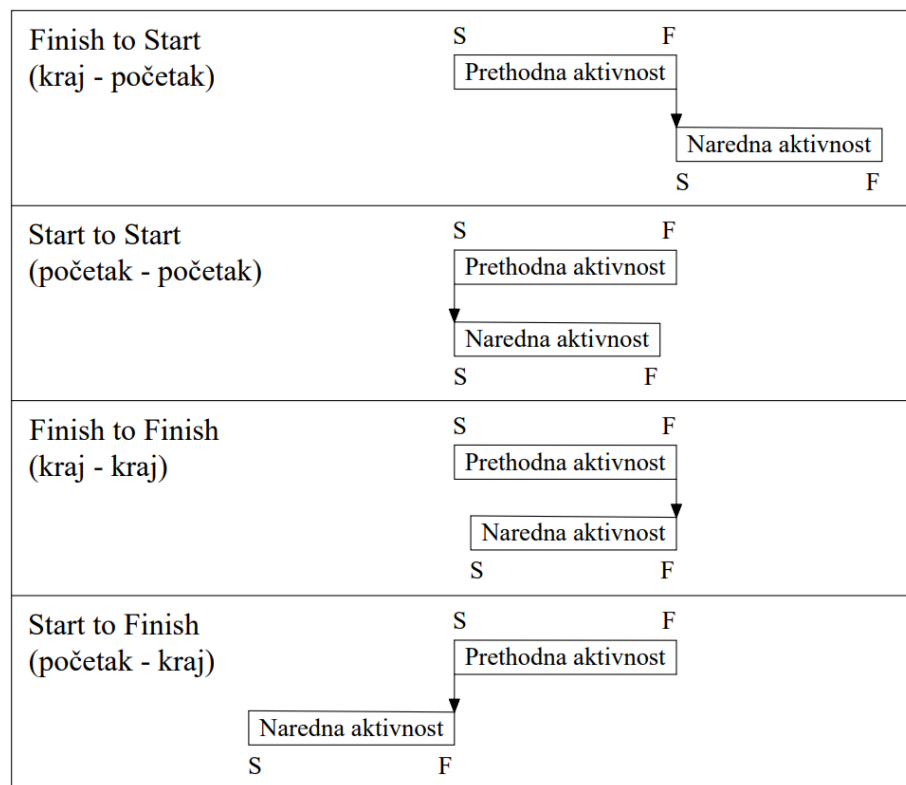
Metoda dijagrama prednosti za prikazivanje aktivnosti koristi kvadrate povezane sa strelicama koje označavaju njihove međusobne veze. Strelice su pritom orijentirane na način da prate smjer sa lijeva na desno pri čemu je lijeva aktivnost prethodna, a desna naredna. Važno je napomenuti da dužina linije koja povezuje aktivnosti ne predstavlja njezino vremensko trajanje kao kod metode dijagrama sa strelicama (slika 5.6.).



Slika 5.6. Metoda dijagrama prednosti

Ova metoda uključuje četiri moguća odnosa (slika 5.7.):

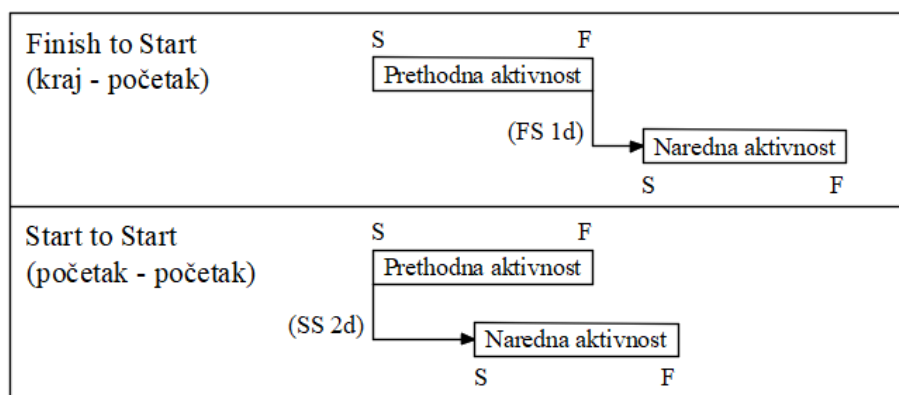
- Finish to Start – FS (kraj - početak) – naredna aktivnost ne može početi prije nego što prethodna aktivnost završi
- Start to Start – SS (početak - početak) – dvije aktivnosti započinju istovremeno
- Finish to Finish – FF (kraj - kraj) – dvije aktivnosti završavaju istovremeno
- Start to Finish – SF (početak - kraj) – završetak naredne aktivnosti ovisi o početku prethodne aktivnosti (obično se ne koristi)



Slika 5.7. Međuodnosi aktivnosti

Između prethodne aktivnosti i one naredne, može postojati i vremenska odgoda ili pomak koji se uglavnom izražava u danima, a on se može dodati bilo kojoj vrsti veze. Odgoda je uglavnom pozitivna, ali može biti i negativna.

Slika 5.8. prikazuje primjere veza za slučaj Finish to Start - FS (kraj - početak), gdje naredna aktivnost može početi 1 dan nakon završetka prethodne aktivnosti, te slučaj Start to Start - SS (početak - početak) gdje naredna aktivnost može početi 2 dana nakon početka prethodne aktivnosti.



Slika 5.8. Primjeri veza

Ova metoda zahtjeva više vremena nego jednostavna metoda dijagrama sa strelicama, ali se dugoročno više isplati zbog dobivenih točnijih i detaljnijih informacija. Osim toga omogućava preciznije modeliranje kompleksnih projektnih planova, stoga se za potrebe ovoga rada upotrebljava upravo ova metoda.

Mrežni dijagram projekta ovog modula može se vidjeti u prilogu 2, u kojem je prikazana svaka faza proizvodnog procesa cijevi, temelja i nosača, kao i njihov redoslijed sastavljanja u modul te zaključna ugradnja modula na brod. Sadrži iste ulazne podatke kao i gantogram, a to su popis aktivnosti, njihovo trajanje te datumi početka i završetka, kao i zanimanja koji vrše odgovarajuće poslove.

5.3. Kritični put

Kritični put predstavlja niz aktivnosti u projektu koje određuju minimalno vrijeme potrebno za njegovo dovršenje. Te međusobno zavisne aktivnosti moraju biti završene na vrijeme kako bi se osigurao završetak projekta u okviru planiranog roka. Čak i najmanje kašnjenje u bilo kojoj od aktivnosti koje se nalaze na kritičnom putu može rezultirati kašnjenjem projekta u cjelini. U tom bi se slučaju trebali poduzeti potrebni koraci kako bi se projekta vratio na pravi put. Kritični put stoga određuje krajnji datum projekta, no aktivnosti unutar njega ne moraju biti i često nisu njegovi najvažniji dijelovi.

Metoda kritičnog puta u upravljanju projektima koristi se upravo za prepoznavanje tih ključnih aktivnosti koje imaju najmanju fleksibilnost. Naime aktivnosti na kritičnom putu nemaju slobodnu vremensku rezervu, što znači da svako kašnjenje u tim aktivnostima direktno utječe na ukupno trajanje

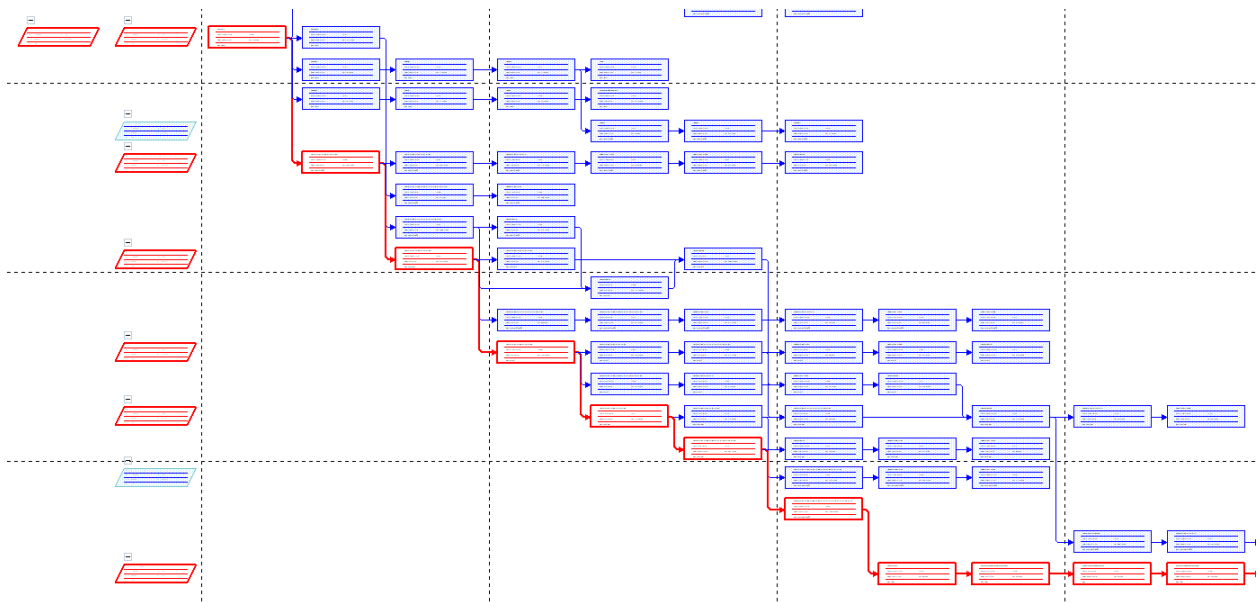
projekta stoga se posebna pažnja usmjerava upravo na te aktivnosti, kako ne bi došlo do njihovog produženja ili odgode.

Ova metoda je ključan aspekt u planiranju i vođenju projekta, koja olakšava upravljanje rokovima i procjeni rizika, te razlučuje realne mogućnosti od planiranih. Omogućuje vizualizaciju projekta u grafičkom obliku, a veze čini jasnim i transparentnim. Tehnika obuhvaća popis svih aktivnosti potrebnih za izvršenje projekta, njihovo trajanje i veze među njima.

MS Project program pomaže u uočavanju i praćenju aktivnosti na kritičnom putu, te raspolaže svim potrebnim informacijama za potpunu kontrolu nad projektom. Omogućava prikazivanje kritičnog puta u gantogramu i mrežnom dijagramu koji su izrađeni za potrebe ovoga rada, u kojima su aktivnosti na kritičnom putu označene sa crvenom bojom (slika 5.9. i 5.10.). Programski softver osim toga osigurava da se sve promjene vide u realnom vremenu te da se u svakom trenutku mogu prepoznati aktivnosti koje su na kritičnom putu, kako bi se moglo pravovremeno reagirati da bi projekt bio gotov u planiranom vremenu.



Slika 5.9. Primjer kritičnog puta u gantogramu



Slika 5.10. Primjer kritičnog puta u mrežnom dijagramu

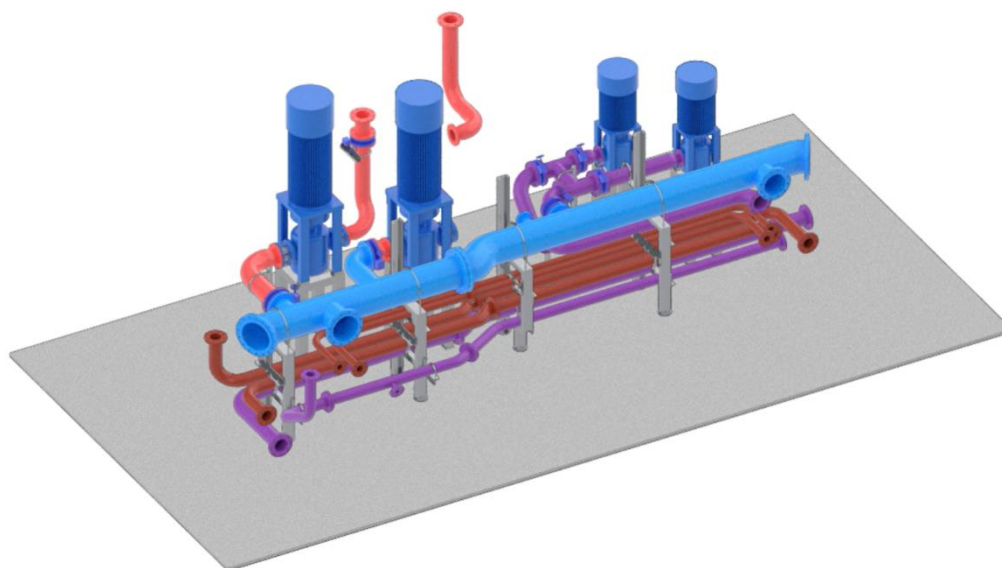
6. ANALIZA PRIJEDLOGA POBOLJŠANJA PROJEKTA

Osnovna varijanta projekta (varijanta 1) nastala je na temelju uobičajenog početnog tehnološkog procesa izrade modula koji se koristi u brodogradilištu »3. maj«. Uključuje minimalan broj radnika zaduženih za obavljanje pojedinih zadataka, a sam projekt izvodi se unutar radnog vremena brodogradilišta. Projekt se sastoji od tri osnovne grupe radova, a to su izrada elemenata opreme, njihovo sastavljanje u modul te ugradnja gotovog modula na brod. Navedene grupe radova objedinjuju niz aktivnosti potrebnih za njihovo izvršenje, a koje su prethodno opisane u poglavljima 3 i 4.

Kako bi se projekt uspješno izradio potrebno je napraviti dobar plan i raspored izvođenja radova, a u tome uvelike pomaže programska aplikacija MS Project, u kojoj je u konačnici ovaj projekt i izrađen. Kako bi se dobio uvid u vrijeme potrebno za dovršetak cjelokupnog projekta potrebno je svakoj aktivnosti dodijeliti njezino vrijeme izvršavanja, koje se dobiva na temelju normativa brodogradilišta i iskustva njegovih zaposlenika. Upisanom vremenu također se pribrajaju i plaće radnika za obavljeni posao, a na taj način dobivaju se troškovi resursa za projekt. Sve navedeno može se vidjeti u prilogu 1 u dodatku ovog rada.

U brodogradilištu često ne postoje idealni uvjeti pri kojima bi sastavljanje modula moglo započeti odmah nakon završetka izrade svih elemenata, kao ni njegova montaža na brod odmah po završetku njegovog sastavljanja. Razlog tome su moguća kašnjenja u izradi, čekanje na slobodni transport ili druge nepredvidljive okolnosti. Iz tog se razloga određuju fiksni datumi početka i završetka radova unutar kojih projekt mora biti gotov, čime se osigurava dovoljno vremena za izradu te se smanjuje mogućnost neželjenih poteškoća i zastoja, koji bi posljedično mogli uzrokovati kašnjenje u montaži na brod.

Projekt započinje izradom cijevi pri čemu se poslovi preklapaju kako bi se izveli u što kraćem vremenu. Na polovici procesa izrade cijevi, započinje izrada bravarske opreme (temelja i nosača) koji zbog manje količine posla prolaze kroz različite faze obrade bez preklapanja aktivnosti, a radovi se završavaju gotovo istovremeno kao i izrada cijevi. Prilikom montaže opreme također se primjenjuju odvojeni radovi po zanimanjima kako si radnici ne bi međusobno smetali kod montaže elemenata i njihovog spajanja. Redoslijed montaže opreme detaljno je prikazan je animaciji 1 koja je priložena u dodatnom materijalu ovoga rada (slika 6.1.).



Slika 6.1. Isječak iz animacije 1

Budući da se teži čim bržoj izradi modula, napravljene su varijante mogućih poboljšanja izvedbe ovoga projekta kako bi se smanjilo vrijeme potrebno za izradu i montažu opremnih dijelova. Određena vremenska poboljšanja moguće je postići povećanjem broja zaposlenih i promjenom u raspodjeli poslova. Radi usporedbe navedenih varijanti kreirana je tablica u kojoj su sadržani svi resursi potrebni za izvođenje pojedinih grupa radova te vrijeme izvršavanja istih. Osim toga naznačeni su i poslovi kod kojih su se uvodile promjene za svaku novu varijantu, u odnosu na onu prethodnu (tablica 6.1.). Priloženi podaci preuzeti su iz informacija dobivenih u MS Project programu.

Tablica 6.1. Usporedba svih varijanti projekta

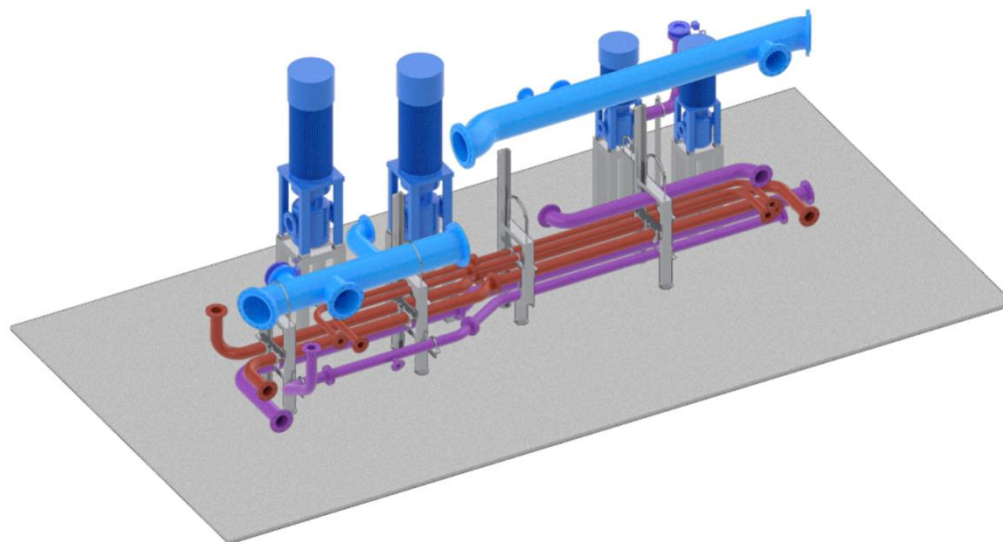
Varijanta:	1	2	3	4
Zanimanja	Broj radnika			
Izrada temelja i nosača				
Bravari	2	2	2	4
Zavarivači	2	2	2	2
Brusači	1	1	1	1
Kontrolori	1	1	1	1
Sačmarioc	1	1	1	1
Ličioc	1	1	1	1
Transportni radnik	1	1	1	1
Trajanje izrade bravarije:	90,75 h	75,75 h	68,25 h	60,75 h
Izrada cijevi				
Cjevari - rezanje cijevi	3	3	3	3
Cjevari - savijanje cijevi	2	2	2	2
Cjevari - formiranje cijevi	4	6	6	6
Zavarivači cijevi	2	2	4	4
Brusači	2	2	2	2
Kontrolori cijevi	2	2	2	2
Kontrolori nepropusnosti cijevi	4	4	4	6
Sačmarioc	1	1	1	1
KZ radnik - zaštita cijevi	1	1	1	1
KZ radnik - pocinčavanje	1	1	1	1
Ličioc	1	1	1	1
Transportni radnik	1	1	1	1
Trajanje izrade cijevi:	173,75 h	173,75 h	143,75 h	136,25 h
Montaža opreme				
Bravari	2	2	4	4
Brodski mehaničari	2	2	2	4
Cjevari	2	4	4	4
Transportni radnik	1	1	1	1
Trajanje sastavljanja modula:	38,73 h	27,93 h	26,33 h	25,43 h

U nastavku teksta provodi se analiza svake varijante poboljšanja te predlaže najbolja od njih po procjeni karakteristika cjelokupne kvalitete izrade projekta, a također slijedi i uvid u troškove ovoga projekta.

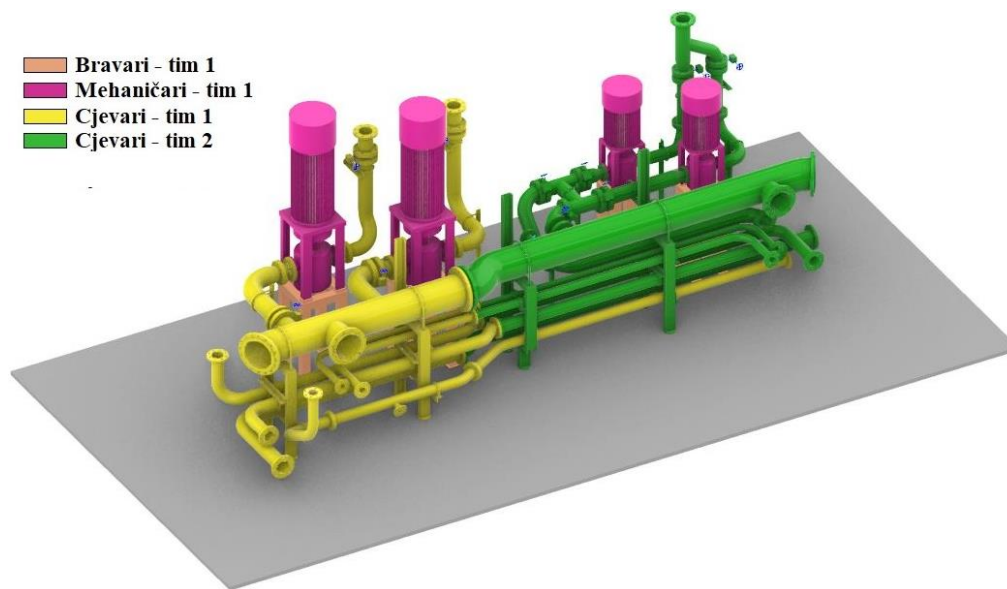
6.1. Varijanta 2

Varijanta 2 osmišljena je kao prijedlog poboljšanja prethodne varijante, s ciljem da se skрати vrijeme potrebno za izradu radova na projektu te ostvari njegovo moguće unaprjeđenje. Navedeno se može postići povećanjem broja resursa kao i promjenom tehnološkog procesa izrade elemenata opreme te sastavljanja cijevnog modula.

Prilikom izrade cijevi uključuje se stoga dodatni tim radnika zaduženih za formiranje cijevi, što u konačnici ne dovodi do željenog ubrzanja u samom procesu izrade već samo omogućuje brži završetak radova u cjevarskoj radionici. Što se tiče izrade bravarskih elemenata radi ubrzanja procesa primjenjuje se preklapanje radova odnosno paralelni rad koji uključuje istovremeno izvođenje aktivnosti različitih zanimanja, za razliku od prethodne varijante kod koje to nije slučaj. Ova promjena dovodi do ubrzanja izrade bravarije u iznosu od 15 h. Prilikom sastavljanja modula u radionici, također se uključuje dodatni tim radnika zaduženih za montažu cijevi, a radovi brodskih mehaničara osim toga započinju u ranijoj fazi, točnije pri završetku bravarskih radova postavljanja temelja, čime se u konačnicu ostvaruje ubrzanje procesa sastavljanja modula od 10,8 h. Pritom je osigurano da si timovi radnika međusobno ne smetaju prilikom obavljanja radova u predviđenom prostoru u kojem zajedno rade (slika 6.2. i 6.3.).



Slika 6.2. Varijanta 2 - Sastavljanje modula



Slika 6.3. Varijanta 2 - Raspodjela poslova po timovima

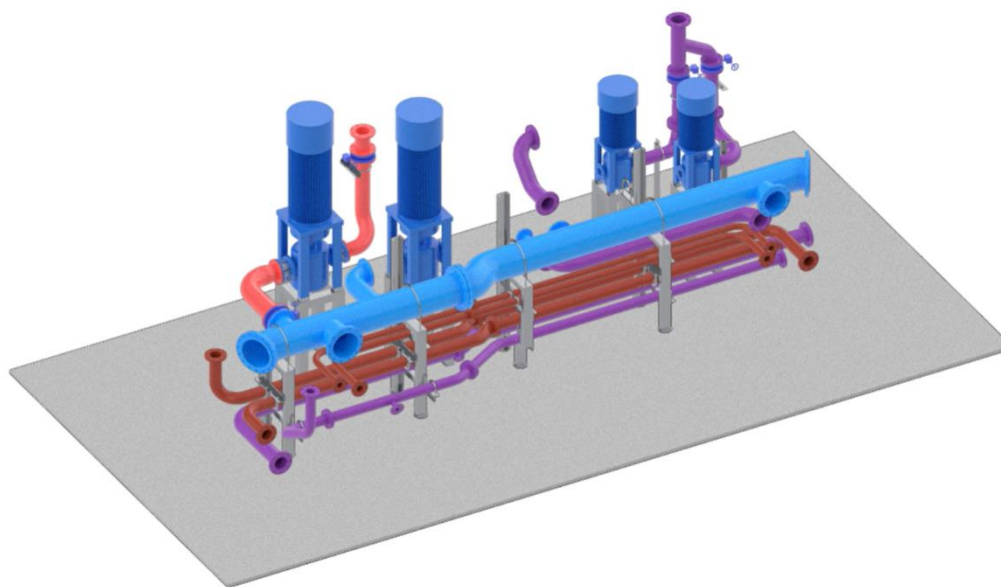
Cijeli postupak izrade projekta prikazan je u prilogu 3, a redoslijed montaže opreme u animaciji 2. Iako su u ovoj varijanti postignuta vremenska poboljšanja prilikom izrade bravarije i sastavljanja modula, ista nisu ostvarena prilikom izrade cijevi koja iziskuje i najduži period rada, stoga ova varijanta daje dobar uvid u smjer za potencijalna daljnja poboljšanja izvedbe projekta, kao i dobru podlogu za sljedeću varijantu.

6.2. Varijanta 3

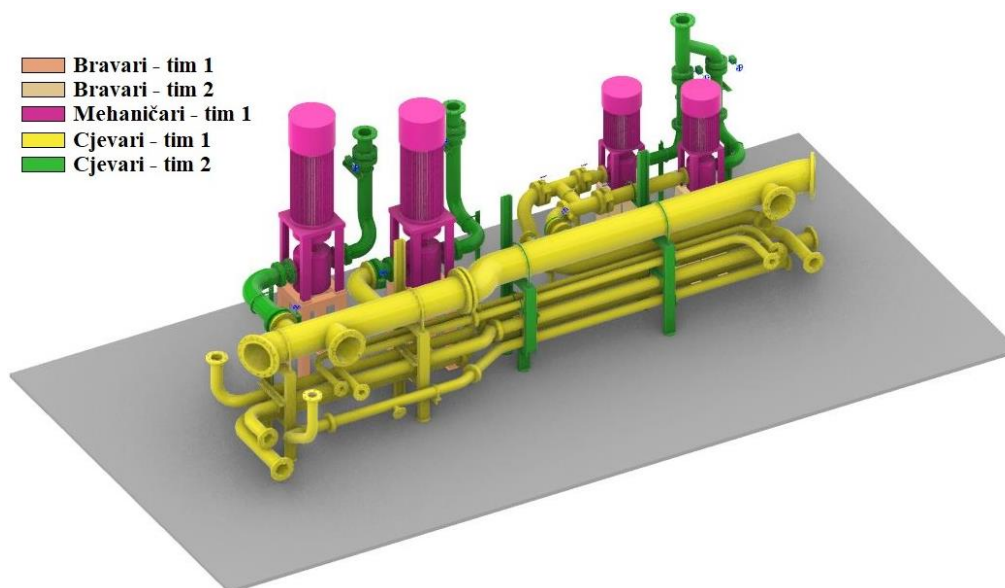
Kako bi se postiglo dodatno smanjenje vremena potrebno za izvođenje radova unutar projekta, izrađena je nova varijanta koja zadržava sve aspekte prethodne varijante 2 i njezinih poboljšanja, ali uvodi dodatno povećavanje broja resursa i promjenu redoslijeda obavljanja pojedinih aktivnosti, čime se nastoji dodatno unaprijediti proces izvedbe radova.

Ova varijanta uključuje povećanje broja zavarivača cijevi s obzirom da ti radovi iziskuju najduži vremenski period rada potreban prilikom izrade cijevi. Na taj način postiže se željena vremenska ušteda od 30 h u odnosu na prethodnu varijantu 2. Prilikom izrade bravarske opreme dolazi do promjene u rasporedu izvođenja radova kod zavarivača što također dovodi do skraćenja vremena potrebnog za izradu u iznosu od 7,5 h. Kod sastavljanja modula uvodi se dodatni tim bravara za montažu temelja kako bi se ti radovi prije završili, a osim toga primjenjuje se i nova tehnika redoslijeda

opremanja cijevi koja omogućuje timovima da rade udaljeni jedni od drugih, kako bi se maksimalno smanjila njihova međusobna interakcija koja bi mogla uzrokovati smetnje prilikom montaže opreme. Novo uvedene promjene donijele su uštedu u vremenu od 1,6 h, no iako nije došlo da velikog skraćanja vremena prilikom sastavljanja modula, timovima je osigurana mogućnost potencijalnog lakšeg načina izvođenja radova i uvjeta rada u zajedničkom prostoru (slika 6.4. i 6.5.).



Slika 6.4. Varijanta 3 – Sastavljanje modula



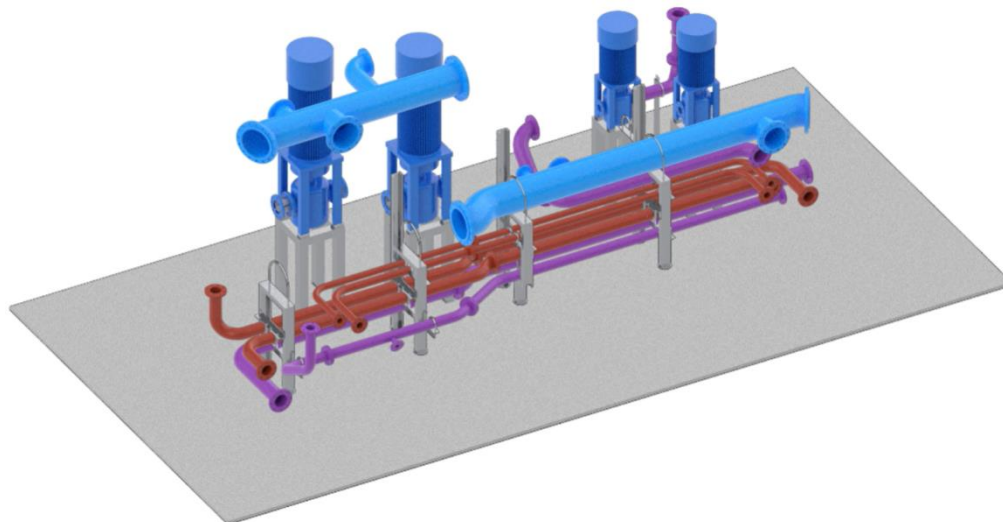
Slika 6.5. Varijanta 3 - Raspodjela poslova po timovima

Postupak izrade projekta za ovu varijantu prikazan je u prilogu 4, a redoslijed montaže opreme u animaciji 3. Ovom varijantom se u konačnici omogućilo skraćanje vremena unutar svake grupe radova što je bio i cilj njezine izrade. Nema značajnih nedostataka, a povećanje broja radnika i tehnološki proces su se pokazali vrlo uspješnim.

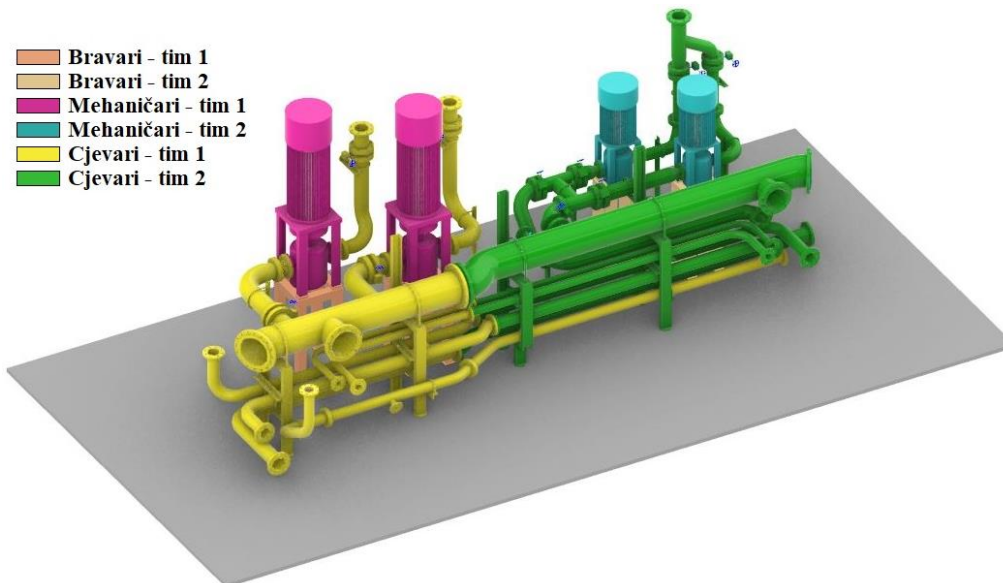
6.3. Varijanta 4

Zbog težnje za maksimalnom uštedom vremena, izrađena je i posljednja varijanta u kojoj se dodatno povećava broj radnika, ne bi li se ostvarila još veća vremenska poboljšanja i prikazala moguća dodatna rješenja. Varijanta 4 predstavlja nadogradnju varijante 3, ali teži također i boljem rješenju varijante 2, stoga predstavlja novi redoslijed sastavljanja modula kako bi se utvrdio mogući bolji postupak izvršenja radova i ispunio potencijal za unaprjeđenje.

Broj radnika se u ovoj varijanti povećava kod svake grupe radova, pa se tako prilikom izrade cijevi uključuje dodatni tim kontrolora za tlačenje cijevi čijim se radom postiže 7,5 h uštede u odnosu na varijantu 3. Također kod izrade bravarske opreme dovodi se novi tim bravara što omogućuje da svaki tim radnika obavlja svoj dio posla odvojeno bez utjecaja drugog tima. S obzirom na drugačiju raspodjelu poslova u ovoj metodi dolazi do skraćanja vremena potrebnog za izradu bravarskih elemenata u iznosu od 7,5 h. Kod radova sastavljanja modula uvodi se dodatni tim brodskih mehaničara za postavljanje pumpi, a dolazi i do promjene u redoslijedu postavljanja cijevi kao mogućeg poboljšanja varijante 2, no ona su u ovom slučaju neprimjetna. Sve navedene promjene prilikom sastavljanja modula dovode od skraćanja vremena za 0,9 h u donosu na varijantu 3. Pritom se kao i kod prethodnih varijanti posebna pažnja pridala uvjetima rada kako bi oni tijekom obavljanja poslova bili zadovoljavajući (slika 6.6. i 6.7.).



Slika 6.6. Varijanta 4 – Sastavljanje modula



Slika 6.7. Raspodjela poslova po timovima

Varijanta 4 izrade projekta prikazana je u prilogu 5, sa odgovarajućim redoslijedom montaže opreme vidljivog u animaciji 4. Sa ovom varijantom postignuto je najveće ubrzanje obavljanja svih grupa radova koje se prate unutar ovoga projekta, ali u globalu ne dovodi do velike razlike u odnosu na prethodnu varijantu 3, posebno u slučaju sastavljanja modula. Osim toga bi preveliko povećanje broja radnika moglo dovesti do smetnja pri radu, a i sam obim posla to ne zahtjeva, stoga se varijantom 4 završavaju prijedlozi poboljšanja projekta, budući da nije nužno uvoditi dodatne u kojima bi se mogli stvoriti nepovoljni uvjeti rada.

6.4. Odabir optimalne varijante

Na temelju prethodno provedenih analiza svih varijanti ovog projekta, može se zaključiti da je varijanta 3 pokazala najbolje rezultate njegove izvedbe.

Ona u odnosu na varijantu 1 i varijantu 2 omogućuje brže izvođenje radova u svim područjima izrade modula, pa se tako prilikom izrade bravarske opreme (temelja i nosača) postigla najveća vremenska ušteda, s istim brojem resursa. To je omogućila bolja organizacija poslova odnosno primjena tehnike vremenskog preklapanja aktivnosti i pravovremeno uključivanje radnika kod pojedinih poslova. U slučaju izrade cijevi, povećanje broja radnika zaduženih za obavljanje poslova koji zahtijevaju najduži period rada, utjecalo je na njeno vremensko skraćenje. Kod sastavljanja modula sa izrađenim opremnim dijelovima, došlo je do ubrzanja procesa uključivanjem dodatnih timova radnika, pri čemu su osigurani dobri uvjeti rada koji pružaju mogućnost slobodnog kretanja radnika u prostoru.

Usporedbom sa varijantom 4 može se utvrditi kako dodatno povećanje resursa ne utječe značajno na daljnje skraćenje vremenskog trajanja radova, stoga je najbitnija stavka kod plana ovoga projekta osigurati odgovarajući redoslijed obavljanja aktivnosti kojim se omogućuje najveća ušteda u vremenu. Na taj se način postiže brži završetak opremnih radova što je i cilj brodogradilišta.

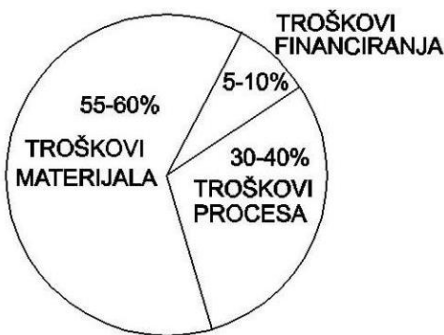
O ugradnji modula na brod pritom nije bilo riječi u ovoj analizi, s obzirom da ti radovi kod svake varijante ostaju nepromijenjeni iz razloga što se na njihovo ubrzanje, za razliku od ostalih radova unutar projekta, ne može utjecati.

Za uspješnu realizaciju odabrane varijante izvedbe ovoga projekta, potrebno je osigurati stručnu radnu snagu koja će kvalitetno obavljati pojedine aktivnosti, te im pružiti zadovoljavajuće uvjete rada kako bi svi poslovi bili obavljeni unutar predviđenog roka.

6.5. Troškovi projekta

Troškovi za izradu cijelog projekta mogu se podijeliti na (slika 6.8.):

- troškove materijala
- troškove financiranja
- troškove procesa



Slika 6.8. Struktura troškova projekta

Troškovi materijala ovise o tržištu i zajedno sa troškovima financiranja izrade predstavljaju fiksne troškove na koje brodogradilište nema velikog utjecaja, dok su troškovi procesa direktni troškovi na koje brodogradilište ima utjecaj prilikom izrade ovoga projekta.

Troškovi procesa mogu se dalje podijeliti na dvije osnovne skupine:

- fiksni troškovi procesa
- troškovi rada

U fiksne troškove procesa ubrajaju se neophodni vanjski „ulazi” koji se koriste u brodograđevnom procesu kao što su troškovi energenata (električna energija, gorivo, plin), različite usluge, voda itd. Oni su u integraciji državne uprave, te na njih brodogradilište također ne može utjecati, a iznose oko 10% ukupnog utroška procesa.

Troškovi rada predstavljaju stoga jedinu skupinu troškova na čije smanjenje brodogradilište može utjecati, a odnose se na cijenu rada odnosno plaće radnika i utrošak radnih sati (norma sati).

Troškovi radne snage su za projekt ovog modula dobiveni na temelju trenutnog normativa brodogradilišta »3. maj«. Normativi rada pritom predstavljaju prosječni usvojeni utrošak rada radnika po jedinici proizvoda, koji je zasnovan na provjerenim rezultatima znanosti, tehnike i iskustva. Drugim riječima norma rada predstavlja točno određeno vrijeme koje je potrebno da obučeni čovjek po određenom postupku i redosljedu radnih operacija, odgovarajućom vrstom materijala, alata i strojeva može izvršiti određeni posao. Ukoliko se pokaže da radnici mogu izvršiti određene aktivnosti brže nego što to nalaže norma, ona se može smanjiti čime bi se ujedno ubrzao proces i smanjili njegovi troškovi.

Što se tiče cijene rada, budući da brodogradilište »3. maj« ne raspolaže dovoljnim brojem vlastitih radnika, veliki se dio poslova obavlja u suradnji s kooperantima kao što je slučaj i za ovaj projekt. Cijena rada kooperanata je pritom veća nego u slučaju plaćanja rada vlastitih zaposlenika, a ovisi o ugovoru kojeg sklope sa brodogradilištem (tablica 6.2.). To u konačnici predstavlja i uspješan poslovni potez jer kada kooperanti odrade svoj posao, oni više nisu potrebni i ne opterećuju daljnji budžet brodogradilišta, što je slučaj kod radnika koji su njegovi stalni zaposlenici.

Tablica 6.2. Ugovorena cijena rada

Zanimanje radnika	Satinica
Cjevvari	20 €/hr
Bravari	20 €/hr
Zavarivači	20 €/hr
Brusači	17 €/hr
Kontrolori	23 €/hr
Sačmarioc	17 €/hr
KZ radnici	17 €/hr
Ličioc	17 €/hr
Brodski mehaničari	20 €/hr
Transportni radnik	17 €/hr

Osim troškova rada, na smanjenje troškova projekta najznačajniji utjecaj imaju upravo dobra strategija i organizacija rada. Pravilnim odabirom tehnološkog procesa kojim će se smanjiti trajanje procesa izrade cijevnog modula, direktno se može utjecati na ubrzanje radova opremanja broda, a time i na smanjenje ukupnih troškova gradnje broda.

7. ZAKLJUČAK

Na samom završetku može se zaključiti da primjena modularnog načina opremanja broda ima značajan utjecaj na proces izgradnje, omogućuje skraćeno vrijeme potrebno za izradu te poboljšava kvalitetu prilikom procesa proizvodnje. Osim toga, modularno opremanje olakšava održavanje i nadogradnju broda jer omogućuje zamjenu ili nadogradnju pojedinih dijelova, bez potrebe za radikalnim promjenama na cijelom brodu. Prilikom primjene modularizacije mogući su također i određeni nedostaci, no sve veća upotreba ovakvog pristupa u uspješnim brodogradilištima ukazuje na još uvijek prisutan potencijal za unapređenje industrije.

Za izradu cijevnog modula u brodogradilištu »3. maj«, potreban je prvenstveno dobar plan izrade projekta. To se može ostvariti upotrebom specijaliziranih softvera poput MS Project programa koji na vizualni način prikazuje projekt u cjelini. Ovaj program osim toga pomaže u organizaciji i upravljanju projektom te daje uvid u vrijeme i troškove resursa za njegovu izradu.

S obzirom da brodogradilište teži čim bržem završetku opremnih radova pa tako i izrade navedenog cijevnog modula, koriste se različite tehnike unaprjeđenja procesa kao što su promjene rasporeda izvođenja aktivnosti ili povećanje broja resursa kako bi se to ostvarilo. Osim što se tim metodama dovodi do skraćivanja vremena potrebnog za izradu, brodogradilištu ujedno omogućuje i smanjenje ukupnih troškova gradnje broda.

Pritom je za uspješnu izradu modula potrebna stručna radna snaga koja će obavljati pojedine poslove, a njima je važno osigurati zadovoljavajuće uvijete rada kako bi u konačnici rad rezultirao kvalitetnim proizvodom i svi poslovi bili gotovi unutar zadanog vremenskog roka.

LITERATURA

- [1] Erikstad, S. O.: „Modularisation in Shipbuilding and Modular Production”, s interneta, https://www.researchgate.net/publication/267375279_Modularisation_in_Shipbuilding_and_Modular_Production, Trondheim, 2009.
- [2] Rubeša, R.; Fafandjel, N.; Kolić, D.: „Procedure for estimating the effectiveness of ship modular outfitting”, s interneta, <https://hrcak.srce.hr/file/104820>, 2011.
- [3] Matulja, T.: „Opremanje i remont broda”, nastavni materijal, Tehnički fakultet, Rijeka, 2021/2022.
- [4] Gockowski, K.: „Modularisation in ship equipment”, Maritime Advanced Research Centre (CTO S.A.), Vol. 3, No. 2, pp. 1-14, Gdańsk, 2005.
- [5] Deschamps, L.: „Extended Modularization of Ship Design & Build Strategy”, s interneta, <http://www.sparusa.com/Presentations/Modularization%20Analysis%20Presentation%20Revised.pdf>, Charleston, 2008.
- [6] Agarwala, N.: „Modular Construction and IHOP for increased Productivity in Shipbuilding”, Marine Engineers Review (India), Vol. 15, No. 3, pp. 21-27, India, 2021.
- [7] Laginja, D.: „Proces izrade cijevi u cjevarskoj radionici”, završni rad, Visoka tehničko-poslovna škola, Pula, 2014.
- [8] Matulja, T.: „Tehnike planiranja”, predavanje, Rijeka, 2022/2023.

POPIS SLIKA I TABLICA

Popis slika

Slika 2.1. Primjer modula sustava za transfer goriva [3]

Slika 2.2. Primjer visoko opremljene sekcije broskog trupa [5]

Slika 2.3. Strukturni modul (lijevo) i strukturni strojni modul (desno) [2]

Slika 2.4. Modularna soba za posadu i putnike

Slika 2.5. Modul hidrofora (lijevo), modul separatora (sredina) i modul za tretman otpadnih voda (desno) [5]

Slika 2.6. Neopremljena sekcija dvodna na navozu

Slika 2.7. Montaža modula morske rashladne vode

Slika 2.8. Montaža modula protupožarnih pumpi

Slika 2.9. Montaža modula pumpi za transfer goriva

Slika 2.10. Montaža modula pumpi opće službe

Slika 2.11. Montaža modula pumpi morske vode

Slika 2.12. Završno povezivanje cjevovoda na navozu

Slika 3.1. Montažni nacrt modula za požar i pranje palube

Slika 3.2. Radionice opreme brodogradilišta »3. maj«

Slika 3.3. Ulazno priručno skladište cijevi

Slika 3.4. Tračna pila

Slika 3.5. Savijačica cijevi sa unutarnjim trnom

Slika 3.6. Stroj za tokarenje krajeva cijevi

Slika 3.7. Vrste pripreme krajeva cijevi za zavarivanje u ovisnosti o debljini stijenke [3]

Slika 3.8. Trasiranje i ručno rezanje ogranaka pomoću plinskog plamenika

Slika 3.9. Detalj prodora dviju cijevi

Slika 3.10. Primjer privarenih cijevi

Slika 3.11. Primjer privarenih prirubnica

Slika 3.12. Prirubnice sa cijevnim oznakama

Slika 3.13. Detalj zavarenog prirubničkog spoja

Slika 3.14. Brušenje zavarenog prirubničkog spoja (lijevo) i koljena (desno)

Slika 3.15. Shematski prikaz principa tlačenje cjevovoda u radionici [3]

Slika 3.16. Komora za sačmarenje

Slika 3.17. Kada za neutralizaciju nakon tretiranja kiselinom

Slika 3.18. Kada za cinčanje

Slika 3.19. Primjer pocinčanih cijevi

Slika 3.20. Bojanje cijevi

Slika 3.21. Oslanjanje elementa u komori za bojanje i sušenje

Slika 3.22. Tirolitka

Slike 3.23. Stupna bušilica

Slika 3.24. Detalj perforiranog nosača

Slika 3.25. Primjer izbrušenih temelja

Slika 4.1. Montaža temelja

Slika 4.2. Montaža pumpi

Slika 4.3. Montaža nosača kolektora i cijevi unutar njega

Slika 4.4. Montaža kolektora i njegovo spajanje sa pumpama

Slika 4.5. Montaža vertikalnih cijevi

Slika 4.6. Primjer modula spremnog za ukrcaj na brod

Slika 4.7. Oznake cjevovoda prema službi

Slika 4.8. Primjer obilježenog cjevovoda na brodu

Slika 5.1. Primjer gantograma

Slika 5.2. Gantogramski prikaz

Slika 5.3. Prikaz napretka projekta [8]

Slika 5.4. Primjer veza u gantogramu

Slika 5.5. Metoda dijagrama sa strelicama

Slika 5.6. Metoda dijagrama prednosti

Slika 5.7. Međuodnosi aktivnosti

Slika 5.8. Primjeri veza

Slika 5.9. Primjer kritičnog puta u gantogramu

Slika 5.10. Primjer kritičnog puta u mrežnom dijagramu

Slika 6.1. Isječak iz animacije 1

Slika 6.2. Varijanta 2 - Sastavljanje modula

Slika 6.3. Varijanta 2 - Raspodjela poslova po timovima

Slika 6.4. Varijanta 3 – Sastavljanje modula

Slika 6.5. Varijanta 3 - Raspodjela poslova po timovima

Slika 6.6. Varijanta 4 – Sastavljanje modula

Slika 6.7. Raspodjela poslova po timovima

Slika 6.8. Struktura troškova projekta

Popis tablica

Tablica 6.1. Usporedba svih varijanta projekta

Tablica 6.2. Ugovorena cijena rada

SAŽETAK

Ovaj diplomski rad temelji se na primjeni modularnog načina opremanja broda koji se provodi u radionicama brodogradilišta »3. maj«. Odabrani cijevni modul za požar i pranje palube, smješta se na krov dvodna strojarnice broda za prijevoz kemikalija, a proces njegove izrade detaljno je opisan u tekstu rada. Osim toga, plan izrade ovoga projekta izrađen je također i u MS Project programu koji omogućuje grafički prikaz cijelog procesa njegove izvedbe u obliku gantograma i mrežnog dijagrama s naznačenim kritičnim putem.

Projekt se sastoji od tri osnovne grupe radova, a to su izrada elemenata opreme, njihovo sastavljanje u modul te završna ugradnja modula na brod. Kao dodatni vizualni prikaz izrađen je i 3D model broskog cijevnog modula u kojem je redoslijed montaže opreme prikazan u obliku animacije.

Budući da se teži čim bržoj izradi modula, predložena su moguća poboljšanja osnovnog procesa te je provedena analiza istih kako bi se moglo odabrati optimalno rješenje. Na taj je način dobiven uvid u troškove i vrijeme potrebno za izvedbu ovoga projekta.

Ključne riječi: modularno opremanje broda, brodski cijevni modul za požar i pranje palube, izrada cijevnog modula, MS Project, gantogram, mrežni dijagram, kritični put, 3D model, brodogradilište »3. maj«

ABSTRACT

This master's thesis is based on the application of a modular approach to equipping a ship, which is carried out in the workshops of the shipyard »3. maj«. The selected pipe module for fire and deck washing is placed on the roof of the double-bottom engine room of a chemical transportation ship, and the process of its production is described in detail in the text of the paper. Furthermore, a plan for the execution of this project has been created in MS Project software, which enables a graphical representation of the entire implementation process in the form of a Gantt chart and network diagram with the indicated critical path.

The project consists of three main groups of works: the production of equipment elements, their assembly into module, and the final installation of module on the ship. As an additional visual representation, a 3D model of the ship's pipe module has been created, showing the sequence of equipment assembly in the form of an animation.

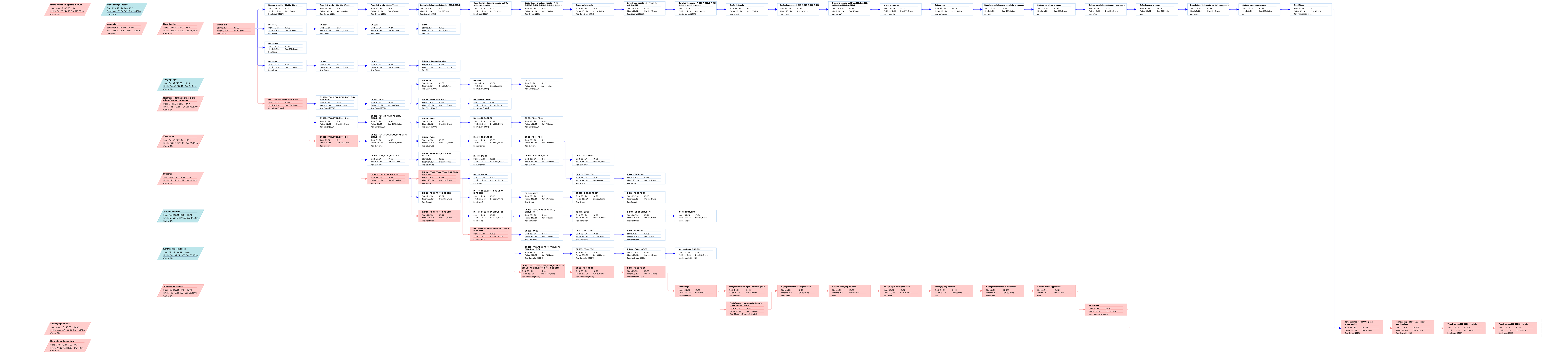
Since the aim is to achieve faster module production, possible improvements to the basic process have been proposed, and an analysis of them has been conducted to choose the optimal solution. This approach provides insight into the costs and time required for the implementation of this project.

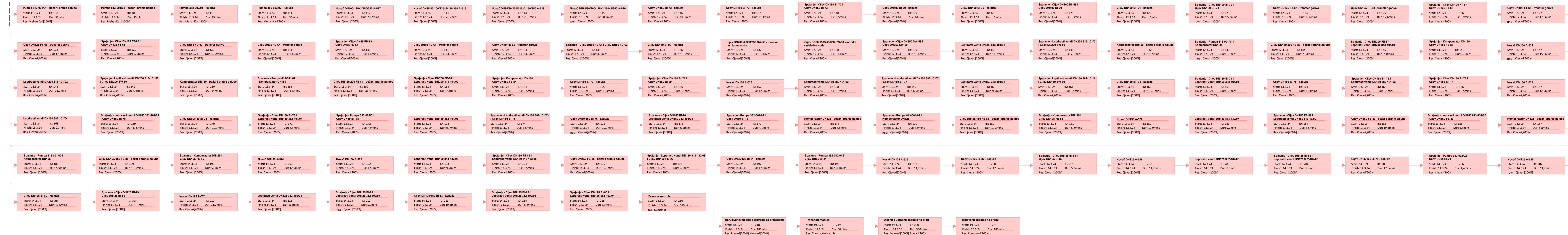
Keywords: modular ship equipment, ship pipe module for fire and deck washing, production of pipe module, MS Project, Gantt chart, network diagram, critical path, 3D model, shipyard »3. maj«

PRILOZI

Prilog 1 – Gantogram projekta cijevnog modula

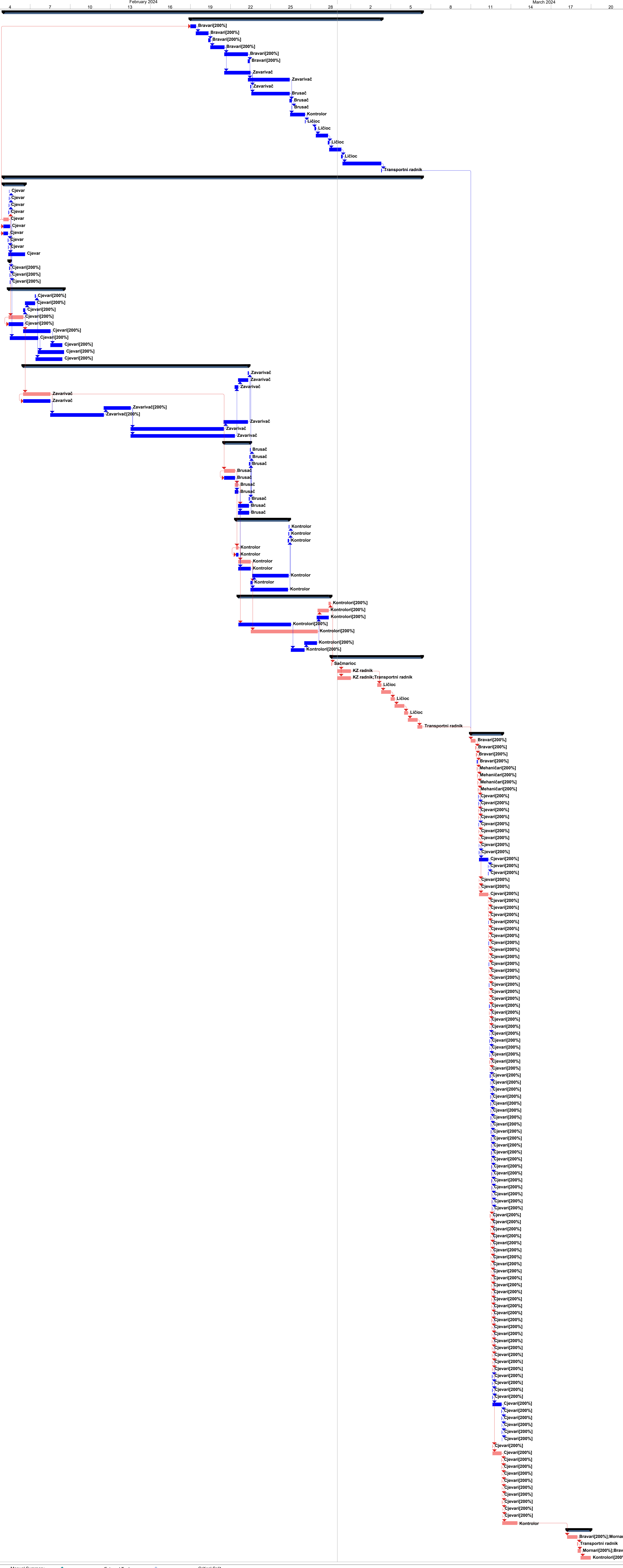
Prilog 2 – Mrežni dijagram projekta cijevnog modula





Prilog 3 – Gantogram varijante 2 projekta cijevnog modula

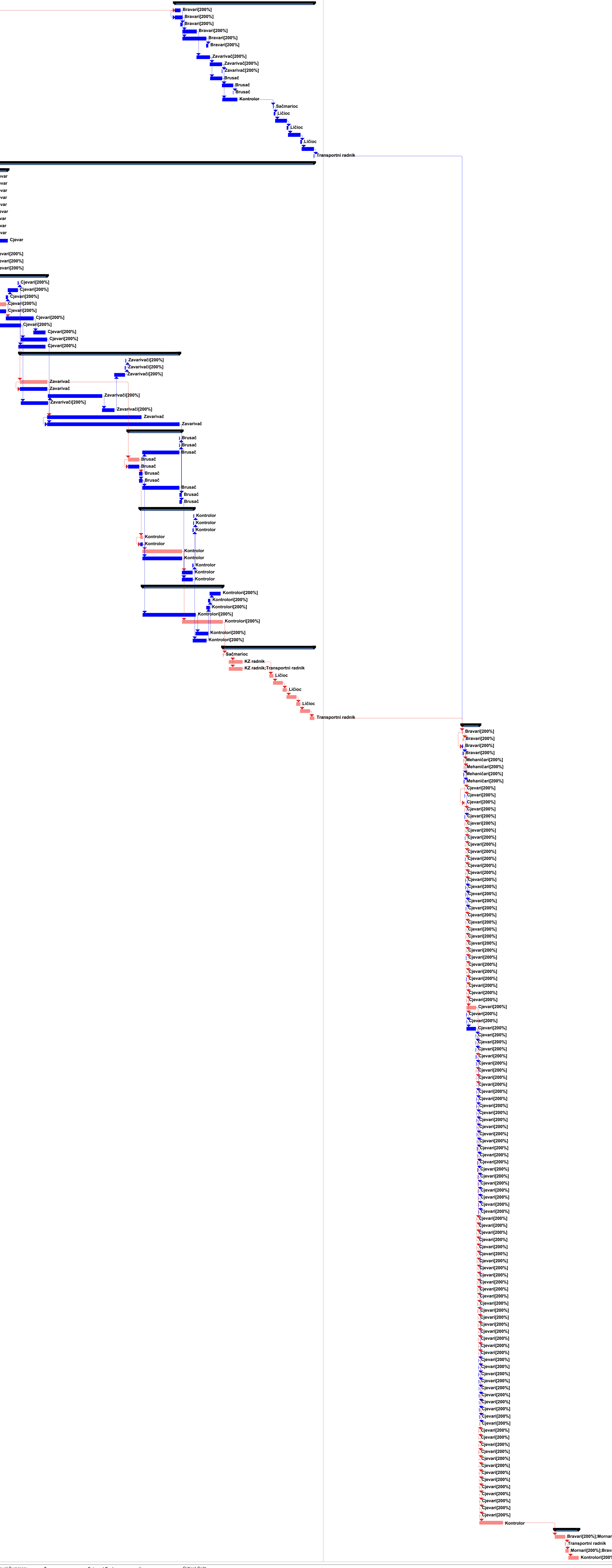
Table with columns: Task Name, Duration, Start, Finish, Predecessors, Resource Names, Cost. Contains detailed task list for 'Izrada elementa opreme' and 'Sastavljanje modula M-203'.



Prilog 4 – Gantogram varijante 3 projekta cijevnog modula

Prilog 5 – Gantogram varijante 4 projekta cijevnog modula

Table with columns: Task Name, Duration, Start, Finish, Predecessors, Resource Names, Cost. Rows include tasks like 'Izrada elementa opreme', 'Rezanje U profila', 'Sastavljanje i pripremanje temelja', 'Zavarivanje nosača', 'Brisanje nosača', 'Kontrola nepropusnosti', 'Sastavljanje modula', 'Temeljni pumpe', 'Spajanje - Cijev DN150', etc.



DODATNI MATERIJAL (CD)

Animacija 1 – Varijanta 1 redoslijeda sastavljanja modula

Animacija 2 – Varijanta 2 redoslijeda sastavljanja modula

Animacija 3 – Varijanta 3 redoslijeda sastavljanja modula

Animacija 4 – Varijanta 4 redoslijeda sastavljanja modula