Proizvodnja brodske sekcije i optimizacija procesa

Manev, Saša

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:212:677209

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

Digital repository of Istrian University of applied sciences

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

1. UVOD

Brodogradnja je širok pojam. Područje brodogradnje obuhvaća osim velikih i malih brodova, i izradu nekih drugih plovnih objekata kao što su podmornice, splavovi i platforme. Svaki od proizvoda je jedinstven i zahtjeva drugačije metode rada, materijale, alate, znanja korištena u radu, ali ipak je najveća razlika između proizvodnje malih i velikih brodova.

Veliki brodovi se ne mogu raditi na jednom mjestu iz malog broja dijelova poput malih brodova. Veliki brodovi se sklapaju na navozu ili suhom doku od dijelova prethodno napravljenih u radionicama. Veličina, težina i složenost tih dijelova ovisi o tehnologiji izrade kojom raspolaže brodogradilište. U principu je cilj što više posla napraviti u radionicama gdje se radi lakše, brže i sigurnije. Budući da je u proces uključen veliki broj ljudi na taj način se višestruko povećava i radni prostor. Ponekad se uza sve radionice i hale za predmontažu svejedno dogodi da zbog povećanog obujma posla brodogradilištu manjka prostora ili radnika. U tom slučaju brodogradilište se oslanja na vanjske suradnike ili kooperante.

Sustavi gradnje i konstrukcija broda su vrlo kompleksne teme te se o njima u ovom radu nije puno pisalo. Također se nije ulazilo u detaljne analize i proračune. Tema ovog rada je vezana isključivo za proizvodnju sekcije, tehnologije i poboljšanje proizvodnih procesa u smislu upravljanja aktivnostima od kojih se sastoji, ljudima koji u njemu sudjeluju, te ostalim sredstvima potrebnima za gradnju. Tehnologija rada objašnjena u radu odnosi se na manju kooperantsku firmu koja je preuzela izradu nekoliko brodskih sekcija velikog broda za kopanje morskog dna od Nizozemskog brodogradilišta. Proizvodnja na drugim mjestima može se razlikovati u većoj ili manjoj mjeri, a u radu je prikazan samo jedan način pristupanja problemima u proizvodnji.

1.1 Teze osnovnog sadržaja

Postupak izrade brodske sekcije trupa u širem procesu izgradnje velikih brodova, te optimizacija procesa u svrhu postizanja kraćeg vremena izrade i smanjivanja ukupno utrošenog broja sati za izradu.

1.2 Cilj i svrha rada

Cilj i svrha rada je prikazati i analizirati cjeloviti proces izrade brodske sekcije sa odabirom odgovarajućih postupaka izrade, te analizirati mogućnost optimizacije procesa u svrhu smanjivanja ukupnih troškova proizvodnje.

1.3 Hipoteza

Detaljnom analizom, planiranjem i organizacijom rada mogu se postići znatne uštede u vremenu i troškovima izrade broda.

1.4 Struktura završnog rada

Rad se sastoji od tri djela.

Prvi dio rada obuhvaća opće pojmove vezane za brodogradnju i konstrukciju broda, sustave gradnje, tehnologije rada i problematike vezane za proizvodnju. Ukratko su pojašnjeni alati i način njihova korištenja, materijali korišteni u gradnji, te elementi konstrukcije trupa broda sa ulogama koje ostvaruju.

Drugi dio rada bavi se postupcima izrade brodskih sekcija, na način da su detaljno opisani svi procesi korišteni u gradnji pramčane sekcije, oznake 1370, spomenute na početku. Na kraju opisa svakog procesa naveden je broj radnika koji su sudjelovali u procesu, sati potrošeni za rad, te vrijeme koje je bilo potrebno da se proces završi.

U trećem djelu rada prikazan je način kontroliranja i manipulacije aktivnostima, te pokušaj optimizacije pomoću mrežnog dijagrama i analize metoda korištenih u radu. Uz to su navedene neke od najučestalijih pogrešaka u gradnji sekcije koje mogu produžiti proces i na taj način dovesti do probijanja roka i velikih troškova proizvodnje.

2. INDUSTRIJA BRODOGRADNJE

2.1. Pomorski promet

Svijet, u kojem međunarodna trgovina ima veliku ulogu i na neki način oblikuje ekonomski identitet svake zemlje, zahtjeva velika transportna sredstva na prekoocenaskim putevima. U ovom trenutku oko 100 000 plovećih vozila nalazi se u svjetskim morima. Više od polovice su teretni brodovi - brodovi za prijevoz nafte, kontejnera, suhog tereta i sl. No tu su i putnički brodovi, kruzeri, ribarski brodovi, platforme, brodovi specijalne namjene i mnoga druga. Na tisuće novih brodova se pridružuje svjetskim plovnim putovima svake godine, a koliko je pomorski promet razvijen najbolje se vidi u velikim prometnim čvorištima kao što su Sueski kanal, Panamski kanal ili luka u Singapuru.

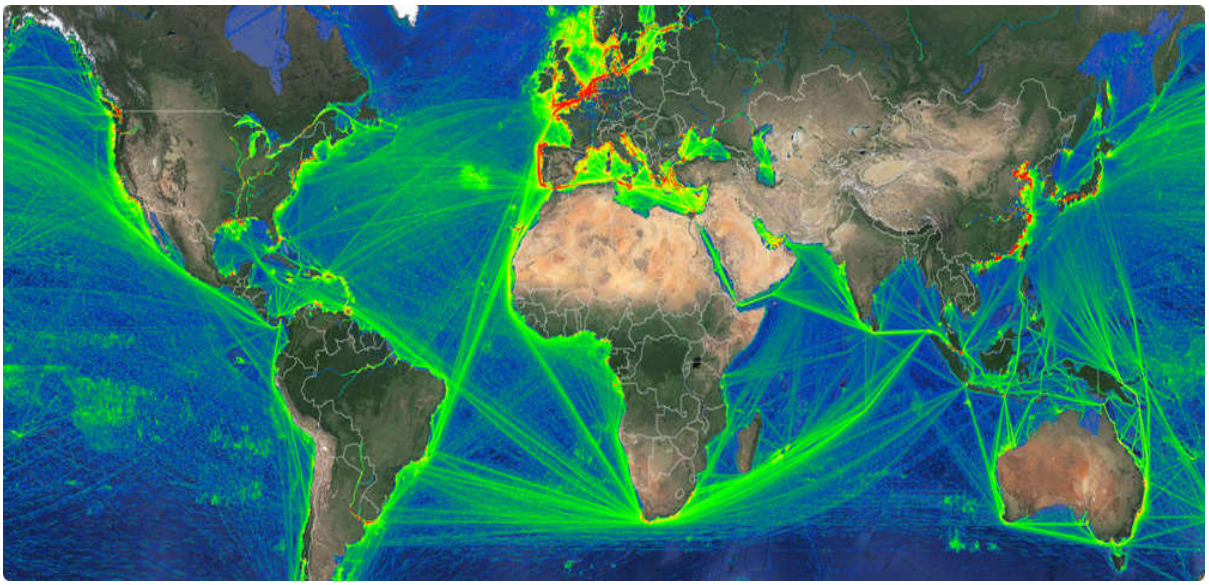


Slika 1. Gore lijevo – Singapurska luka, gore desno – prolaz kroz Sueski kanal, dole – Panamski kanal.

2.2. Razvoj plovnih puteva

Gledajući kroz povijest, razvoj brodova uvelike je uvjetovao razvoj ljudske civilizacije. Omogućavajući ljudima veću pokretljivost nego na kopnu, bilo da se radi o transportu, trgovini ili ratnim pothvatima, priobalne civilizacije imale su daleko veće mogućnosti razvoja naspram ostalih. Iako su nekoć davno samo najbolji Rimski brodovi mogli prijeći Mediteransko more, šezdesetina cijene transporta kopnom bila je dovoljno dobar razlog da se u čovjeku rodi težnja za gradnjom boljih, većih i bržih brodova.

Iz novije povijesti znamo za velika putovanja Kolumba, Magellana, i Marka Pola u vrijeme kad se trgovalo namirnicama i obilazilo Afriku kako bi se moglo doći do Indije i drugih Azijskih zemalja. Nakon što je Kolumbo u 16. stoljeću došao do Amerike počela je razmijena dobara preko Atlantskog ocena. Sve je to dovelo do razvoja brodogradnje i jačanja cijele industrije. Danas putevi pomorske trgovine povezuju sva mora svijeta te je postalo nezamislivo imati ekonomski razvoj bilo gdje na Zemlji bez pomorskog transporta (slika 2).



Slika 2. Pomorski promet danas.

2.3. Moderna brodogradnja

Potreba za različitim vrstama plovila postala je toliko velika da je brodograđevnu industrijsku dovela u sam vrh svjetske industrije. S time je porasla i konkurencija, što znači da brodove osim kvalitetno treba raditi jeftino i brzo. Komplicirana proizvodnja velikog broda sa

mnoštvom procesa i podprocesa zahtijeva dobru organizaciju i detaljno planiranje rokova koji su zbog zahtijeva tržišta sve kraći. S druge strane smanjenje vremena izrade nepovoljno se odražava na kvalitetu koja ponekad ne udovoljava uvjetima postavljenima od strane kupaca, standardima registra ili etičkih normi. Na kraju najviše trpe radnici koji su dužni raditi brže i više kako bi plovilo moglo biti isporučeno na vrijeme.

Najveći dio današnje proizvodnje brodova otpada na Azijske zemlje kao što su Kina, Japan i Južna Koreja, no kad govorimo o zaradi još uvijek prednjače Europska brodogradilišta. Tako su u jednom periodu 2016. godine Europska brodogradilišta osigurala nove ugovore u vrijednosti od 11,6 bilijuna dolara što je 61% globalnog trgovačkog udjela, dok su Kina, Japan i Južna Koreja tek nešto više od pola tog iznosa. Najveći pogoni u brodograđevnoj industriji danas su Hyundai Heavy Industries, Samsung Heavy Industries, Daewoo Shipbuilding i Marine Engineering (DSME) te Mitsubishi Heavy Industries.

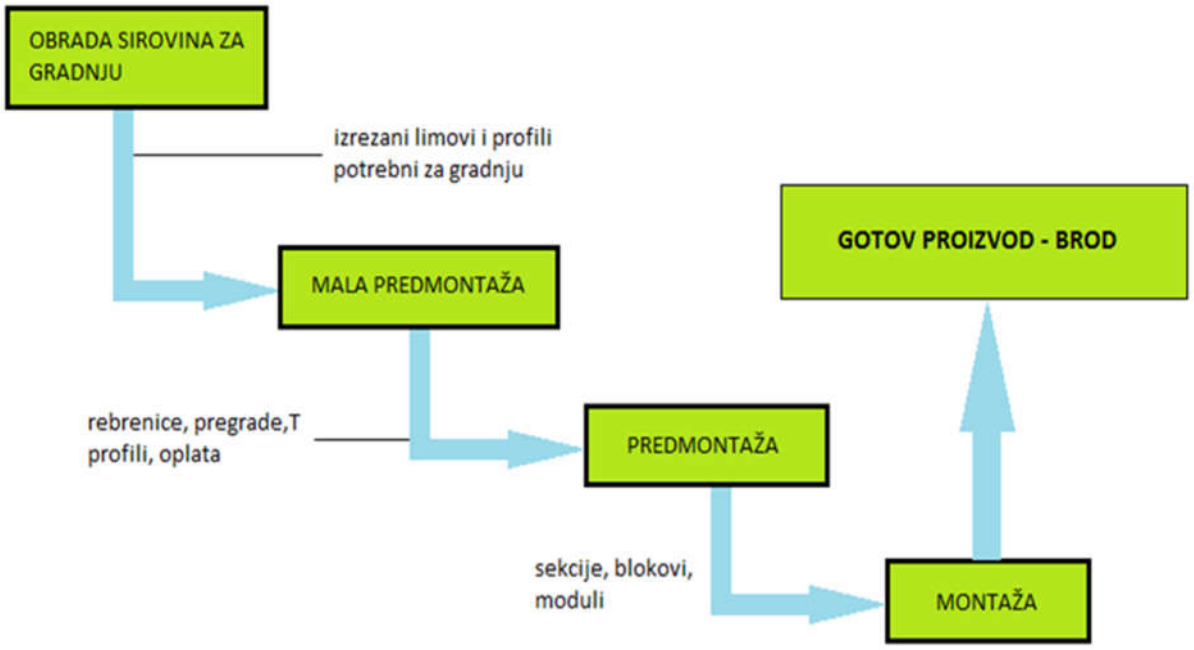
Iako je brodograđevna industrija relativno otporna na utjecaj ekonomskih kretanja, posljednja velika financijska kriza u svijetu je jako utjecala na ovu granu industrije. Mnoga brodogradilišta su dovedena do samog ruba ekonomske održivosti, a pojedina su čak i ugašena. Hrvatska brodograđevna industrija je također imala jako veliki pad od 2007. godine kao posljedica financijske krize u svijetu.

2.4. Proizvodnja velikih brodova

Bitna je razlika u tehnologijama izrade velikih brodova od proizvodnje onih manjih. Brodogradilišta poput Uljanika, 3. Maja ili Splitskog Škvera koja proizvode tankere, brodove za prijenos kontejnera, auta i sl. moraju raspolagati velikim dizalicama, velikim halama za predmontažu, transportnim sredstvima velikih nosivosti, masivnim strojevima, itd. Osim toga, planiranje i organizacija proizvodnje moraju biti jako dobro napravljeni uzimajući u obzir veliki broj različitih struka, te procesa i podprocesa u proizvodnji.

Veliki brodovi se grade na navozu ili suhom doku iz više dijelova koji su prethodno sastavljeni u predmontažnim halama (slika 3). Razlog tomu leži u veličini konstrukcije koju bi bilo nepraktično raditi na jednom mjestu. Montaža na navozu je tek završna faza u izradi konstrukcije kojom se dobiva konačan proizvod sa funkcijom koja mu je bila definirana u samom početku. Montažu možemo opisati kao postupak u kojemu se vrši formiranje sklopova u jednu funkcionalnu cjelinu. Sklopovi od kojih se sastavlja brod mogu biti raznih veličina,

oblika i razine složenosti, a mogu biti u obliku sekcija, blokova ili modula, što ovisi o tehnologijama proizvodnje kojima brodogradilište raspolaže. Na taj način montaža se pojednostavljuje i ubrzava.



Slika 3. Procesi u gradnji konstrukcije trupa broda.

2.5. Podjela na podprocese

Brod je multifunkcionalno plovilo koje dok plovi osim svoje glavne zadaće za koju je namijenjen mora osigurati njegovim putnicima gotovo sve pogodnosti koje imaju na kopnu. To uključuje veliki opseg inženjerskih struka - iz područje elektrotehnike, elektronike, strojarstva, građevine (arhitekture) i drugih. Električari, cjevari, bravari, brodomehaničari, monteri, radnici za postavljanje izolacije i za bojanje su samo dio različitih zanimanja koje sudjeluju u izgradnji broda. Veliki broj radnika različitih struka teško da bi se mogao uskladiti na jednom mjestu i organizirati na način koji bi bio efikasan i učinkovit. Iz tog razloga se izgradnja broda dijeli na podprocese.

2.6. Procesi u gradnji

Nakon što se izrežu limovi i profili, isti se sklapaju u nešto veće pregrade, dijelove palube ili velike profile. Od tih se dijelova zatim sklapaju sekcije, a sekcije se sklapaju u blokove (slika 3). Brod se radi od blokova kojih ovisno o veličini broda može biti do nekoliko desetaka. Sekcije i blokovi se sklapaju u halama na tlu, a postupak njihova sklapanja nazivamo predmontaža. Na taj se način povećava radna površina i omogućava se istovremeni rad velikom broju radnika. Hale za predmontažu su posebno opremljene kako bi olakšale i pojednostavile rad koji je na brodu otežan. Visina, mali i nepristupačni prostori na brodu onemogućavaju korištenje velikih strojeva i alata, te otežavaju kretanje radnicima. Stoga se nastoji što je više moguće posla napraviti na tlu. Hale za predmontažu moraju biti opremljene mosnom dizalicom, aparatima za zavarivanje i ostalim alatom potrebnim za rad.

2.7. Klasifikacijska društva i registri

Klasifikacijska društva izdaju pravila i regulative koje se odnose na kvalitetu izrade, čvrstoću broda, opremljenost adekvatnom opremom, i sposobnost rada strojeva. Utemeljena su kako bi osiguralo ispunjenje svih zahtjeva brodovlasnika, ali i vlasnika tereta kojeg brod prevozi. Najstariji registar je Lloyd Register of Shipping, osnovan 1760 godine. Brod izgrađen po Lloydovim pravilima i standardima nalazi se u knjizi registra sve dok se gradi i održava prema pravilima i standardima tog klasifikacijskog društva.

Danas imamo klasifikacijska društva raznih zemalja: Lloyd´s Register of Shipping (Velika Britanija), Det Norske Veritas (Norveška), Registro Italiano Navale (Italija), Bureau Veritas (Francuska), Germanischer Lloyd (Njemačka), American Bureau of Shipping (USA), Hrvatski registar brodova (Hrvatska), itd.

3. OPĆI POJMOVI U BRODOGRADNJI

3.1. Posebna terminologija

Terminologija koja se koristi u brodogradnji razvijana je stoljećima u pomorskim mjestima, a proizlazi od duboke povezanosti čovjeka s morem. Nazivi brodskih elemenata, alata, uređaja, dijelova broda i slično, najčešće su nepoznati velikoj većini onih koji žive na kopnu. Upliv govora u žargonu dodatno otežava stvar tako se ponekad isti element u drugim gradilištima naziva drugačije. Zato se u posljednje vrijeme sve više mijenja i ustupa se mjesto stručnoj terminologiji ili engleskim nazivima dijelova broda. Jedan od razloga leži u velikom broju stranih radnika u brodogradilištima diljem svijeta.

Radi boljeg razumijevanja i lakšeg praćenja, na kraju rada su navedeni neki od osnovnih pojmova u brodogradnji.

3.2. Dijelovi brodske konstrukcije

Najjednostavnija podjela broda bila bi kad bismo ga podijelili na trup i nadgrađe. Trup je vodonepropusna struktura broda, a nadgrađe ili nadgradnja je dio iznad trupa, smješten na gornjoj palubi. Ako je nadgradnja uža od trupa tj. ako se ne pruža od jednog kraja boka do drugog onda je riječ o palubnoj kućici.

Struktura trupa broda ovisi najviše o vrsti broda. U tipičnom modernom čeličnom brodu struktura se sastoji od uzdužnih i poprečnih čeličnih profila i traka koji su presvučeni oplatom. Uzdužni i poprečni profili daju brodu čvrstoću i krutost, dok oplata daje brodu nepropusnost. Trup broda se najčešće sastoji od valjanih limova te valjanih i složenih profila koji su međusobno spojeni zavarivanjem.

Po globalnoj podjeli konstrukciju broda dijelimo na:

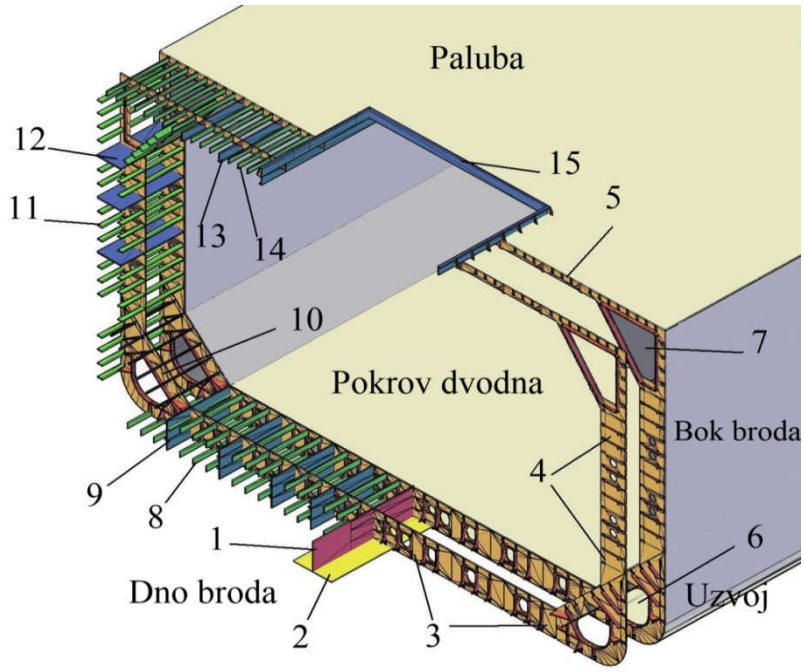
- kostur (konstrukcija strukture) i
- oplatu.

Kostur predstavlja poprečne okvire rebra i uzdužne nosače, izvedene u pravilu iz profila koji služe u svrhu davanja željenog oblika brodu, osiguravajući pri tome traženu čvrstoću, a ujedno omogućavaju sigurno postavljanje oplate na svoju strukturu.

Oplata predstavlja vanjsko opločenje, limove koji se postavljaju na konstrukciju kostura i međusobno spajaju kako bi osigurali brodu nepropusnost i sudjeluju u osiguranju njegove čvrstoće. Osim nadgrađa oplata je jedini dio broda koji vidimo izvana.

Unutar globalnih grupacija postoje područja koja se nalaze na svakom brodu bez obzira na tip, vrstu i namjenu (slika 4). To su:

- dno broda,
- uzvoj,
- bokovi (bočna oplata ili dvobok),
- završni voj (razma),
- paluba.



Slika 4. Osnovni elementi trupa broda: 1.Hrptenica, 2.Kobilični voj (kobilica), 3.Rebrenica, 4.Rebro, 5.Palubna sponja, 6.Uzvojni tank, 7.Bočni tank, 8.Uzdužnjaci dna, 9.Bočni nosači dvodna, 10. Uzvojno koljeno, 11.Uzdužnjaci boka, 12.Uzdužni nosači boka, 13.Palubna proveza, 14.Uzdužnjaci palube, 15.Pražnjica teretnog grotla.

3.3. Građevni materijal

Osnovni materijal u brodogradnji je brodograđevni čelik, a klasifikacijska društva propisuju njegova mehanička, toplinska i kemijska svojstva. Od materijala se traži mala specifična težina, velika čvrstoća i žilavost, dobra obradivost, otpornost na koroziju, vatrootpornost i trajnost. Prije čelika za gradnju se koristilo željezo. Prijelaz se odvijao postupno i trajao je gotovo dva desetljeća. Tek pojavom inovacija u proizvodnji i obradi, te nakon poboljšanja kvalitete i postupnog smanjenja cijene, čelik u potpunosti zamjenjuje željezo. Upotreba čelika je omogućila proizvodnju puno većih valjanih profila i raznovrsnije oblike, no glavna značajka je smanjenje dimenzija građevnih elemenata. U jednom od prvih čeličnih brodova Lloyd's Register je dozvolio smanjenje, tabelarno definiranih, dimenzija željeznih građevnih elemenata za 25%, a kasnije je postalo uobičajeno smanjenje za 20%. Klasifikacijska društva u procesu proizvodnje kontroliraju svojstva materijala od kojeg se grade vitalni dijelovi broda.



Slika 5. Prikaz raznih vrsta profila i limova koji se najčešće koriste u brodogradnji.

Pri izboru materijala u brodogradnji teži se određenom kompromisu zato što širokom opsegu zahtjeva ne može udovoljiti samo jedan materijal. Radi održavanja na površini vode brodovi moraju biti što lakši zbog čega je bitna mala specifična težina materijala. Brodski trup se najvećim dijelom sastoji od valjanih limova, te valjanih i sastavljenih profila koje po određenim specifikacijama brodogradilištima isporučuju čeličane pod nadzorom klasifikacijskih društava (slika 5). Brodograđevni čelik normalne čvrstoće se na osnovi zahtjeva za ispitivanjem žilavosti dijeli na četiri kategorije označene slovima A, B, D, i E. Čelici povišene čvrstoće se još dijele na tri podskupine prema vrijednostima granice tečenja R_e. Na primjer: A32, A36, i A40.

Ispred oznake čelika se obično dodaje i oznaka klasifikacijskog društva, na primjer GL, LR, CRS itd. Prema tome, na primjer, kompletna oznaka za Germanischer Lloyd i Hrvatski registar brodova bi izgledala: GL-A32 ili CRS-A32. Za brodograđevni čelik normalne čvrstoće se može koristiti i oznaka MS (mild steel), a za čelik povišene čvrstoće HT (high tensile steel).

Brodograđevni čelik normalne čvrstoće	Min. granica razvlačenja (yield point) ***Re***	235 N/mm2
	Min. vlačna čvrstoća (tensile strenght) ***Rm***	400-490 N/mm2
Brodograđevni čelik povišene čvrstoće	Min. granica razvlačenja (yield point) ***Re***	315,355,390 N/mm2
	Min. vlačna čvrstoća (tensile strenght) ***Rm***	470-620 N/mm2

Tablica 1. Osnovna mehanička svojstva brodograđevnog čelika.

Na primjer, CRS-D32 označava brodograđevni čelik koji mora biti proizveden i isporučen po pravilima i standardima Hrvatskog registra brodova. Osim toga, mora zadovoljavati sljedeća mehanička svojstva:

- minimalna granica tečenja: Re = 315 N/mm2 (podskupina 32),
- vlačna čvrstoća: Rm = 470 do 590 N/mm2,

- temperatura ispitivanja žilavosti: -20 ℃ (kategorija D),
- udarni rad loma, KV, J, min. : 31(uzdužno), 22(poprečno).

Oznaka klase F se odnosi na čelike za primjenu na niskim temperaturama (-60 °C). U nekim slučajevima se može uz oznaku klase koristiti i oznaka H za čelike povišene čvrstoće: AH, DH, EH.

3.4. Alati za montažu i zavarivanje

Da bi posao montaže radnik obavio kako treba i na vrijeme, potreban mu je adekvatan alat. Alat mora biti ispravan i redovito servisiran, a za neke je potrebno svako malo raditi i provjeru sigurnosti. Skladišta alata su većinom postavljena u blizini radnog mjesta kako radnik ne bi gubio puno vremena na zamjenu neispravnog alata sa novim.

Montaža brodskih elemenata temelji se na njihovu smještanju na pozicije na lim, njihovom postavljanju u ispravan položaj, te pripremanju spojeva za zavarivanje. Budući da se radi o tankim limovima i profilima od čelika velike žilavosti i dobrih obradivih svojstava, rukovanje materijalom pri postavljanju maksimalno je olakšano, a ako bi bili sigurni da su elementi ili sklopovi broda postavljeni ispravno monter mora posjedovati određene mjerne instrumente. (Za donošenje materijala na mjesto montaže koriste se dizalice koje će biti opisane u drugom dijelu ovoga rada.)

Instrumenti za mjerenje i označavanje su: metar dugi i kratki, kutnik, kreda, tanki konop, crtača olovka, laser, vaservaga (libela), visak, itd.

Alati za rukovanje materijalom su: metalna poluga, čekići do 5 kg, lančana dizalica, mehanička ili hidraulična pumpa, stezaljke, klinovi i gafe (pomoćna naprava u montaži).



Slika 6. Mehanička dizalica, hidraulična pumpa, ručna lančana dizalica.

Alati za obradu materijala su: plinski rezač, brusilica ravna i kutna, i grijač. Plinski rezač koristi se pri montaži radi oblikovanja krajeva limova i profila (slika 7). Kao plin se koriste kisik i acetilen ili butan (slika 8). Brusilice se najčešće koriste kod oblikovanja zavara i oštrih bridova.



Slika 7. Postupak rezanja.

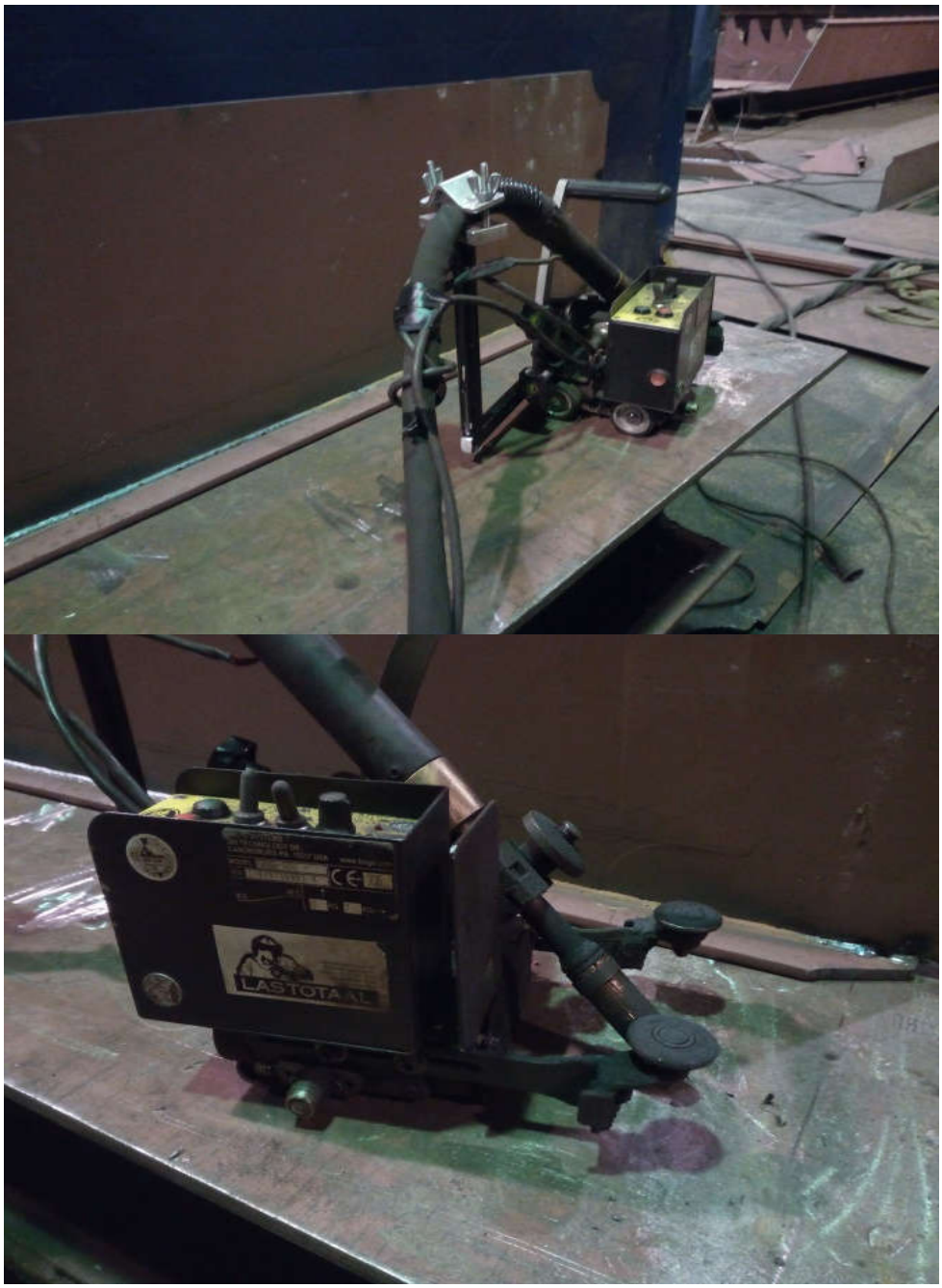


Slika 8. Pribor i boce sa plinom i kisikom za plinski rezač.



Slika 9. Aparat za zavarivanje MIG postupkom (gore lijevo) i postupak zavarivanja čelične cijevi (gore desno). Spajanje cijevi pri montaži i prihvaćanje izvodi se kratkim zavarima na određenim mjestima kako bi se komad učvrstio. Za to se koristi REL postupak zavarivanja (dolje desno). Aparat za REL zavarivanje (dolje lijevo).

Aparati i alati za zavarivanje su: uređaji za REL, MIG i EEP postupak zavarivanja, kablovi i kliješta, maska za zavarivanje, piket (čekić/batić koji se koristi za skidanje šljake kod zavarivanja), kliješta. Postupak zavarivanja profila i limova najčešće se izvodi MIG postupkom (slike 9 i 10), dok se pričvršćivanje dijelova pri montaži izvodi REL postupkom zavarivanja (slika 9).



Slika 10. Zavarivanje pomoću automastkog MIG aparata za zavarivanje kojim se pojednostavljuje postupak zavarivanja dugih ravnih profila.

Alati za transport i vezivanje tereta su: sajle, transportne trake, kliješta za prihvat, lanci i kuke za podizanje tereta, magneti za prijenos ravnih limova, drvene palete, itd. (slika 11).



Slika 11. Sredstva potrebna za transport u radioni za predmontažu.

Sredstva za zaštitu na radu su: radno odijelo, kaciga, radne cipele, prozirne naočale, naočale za rezanje, čepovi za uši, rukavice, potkapa, kožna jakna (za zavarivače), itd.

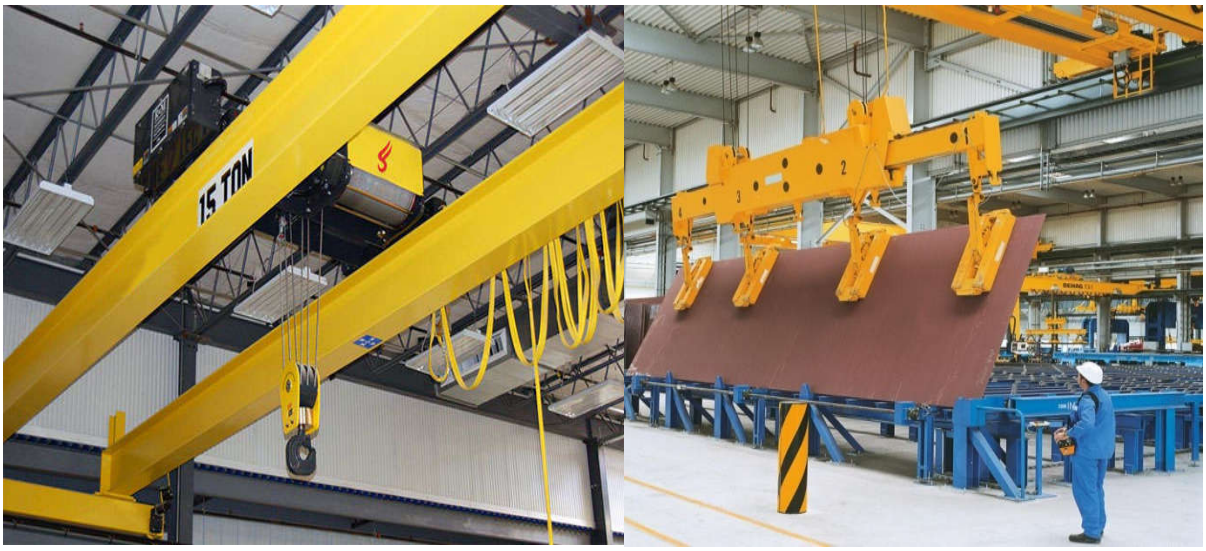
3.5. Uređaji za transport

Brodogradilišta mogu normalno funkcionirati samo ako raspolažu jakim transportnim sredstvima. Na neki način upravo ta tehnologija određuje principe rada u proizvodnji. Veći i jači strojevi znače da se više posla može napraviti odjednom, sa manje spojenih dijelova na konstrukciji.

Osim obradnih strojeva, veličina limova za gradnju ovisi i mogućnostima njihova prijenosa na željeno mjesto. Ponekad se rezaonice za pripremu materijala nalaze u sklopu brodogradilišta, pa se materijal u hale za predmontažu dovozi putem transportnih traka. U slučajevima kada se materijal naručuje iz udaljenih pogona transport se obavlja kamionima.

Daljnje rukovanje materijalom nakon što je dovezen obavlja se dizalicama, viličarima, paletarima i sl. U halama se koriste mosne dizalice (slika 12). Njihova nosivost kreće se u širokom rasponu ovisno o veličini hale. U brodogradilištu Uljanik hala za predmontažu ima pokretni krov kojim se otvara pristup velikim vanjskim dizalicama za prijenos sekcija, zbog čega nosivost dizalica u hali, budući da rukuju samo manjim dijelovima sklopova ne mora biti velika.

U nekim drugim brodogradilištima za svaku se sekciju rade postolja koja omogućavaju prolaz velikom nosaču da prođe ispod sekcije podigne ju i iznese izvan hale gdje se sekcija predaje u ruke većoj dizalici (slika 13).



Slika 12. Tip dizalica korištenih u halama za predmontažu. Mosna dizalica sa kukom (lijevo), dizalica na magnet (desno).

Većinom hale zbog velikog proizvodnog kapaciteta raspolažu sa više dizalica. Kada jedna dizalica ne može prihvatiti ukupan teret, uvijek postoji mogućnost upotrebe više dizalica odjednom. Stoga nosivost unutarnjih dizalica često ne mora biti veća od 20 tona. Umjesto

klasičnih mosnih dizalica sa kukom, u brodogradnji se koriste i magnetne dizalice za prihvat velikih limova (slika 12).

Vanjske dizalice velikih nosivosti koriste se za postavljanje sekcija, blokova ili modula na brod (slika 13). Ako je pogon za predmontažu dio brodogradilišta onda se transport sekcija i blokova do mjesta gradnje broda obavlja velikim dizalicama nosivosti i po par stotina tona, kao u Uljaniku. O njima najviše ovisi veličina sekcija i blokova od kojih se gradi brod. Splitski Škver raspolaže vanjskom dizalicom nosivosti 200 tona, što je i dalje mala nosivost spram nekih većih svjetskih brodogradilišta, no ipak veća od 150 tona kojom raspolaže Uljanik. Logično je za zaključiti da u Splitu postoji mogućnost izrade većih i težih sekcija. Ako je proizvodni pogon izvan brodogradilišta ili van dohvata velikih dizalica građevni elementi se dovoze kamionima ili nosačima.



Slika 13. Dizalice za montažu sekcija u Uljaniku.

4. SUSTAVI GRADNJE

4.1. Entiteti čvrstoće broda

Kad su se počeli raditi brodovi većih dužina, što znači da se povećala razlika omjera visine i duljine broda, do izražaja su došle slabosti palubne konstrukcije. Željezni brodovi projektirani su na način da se velika količina konstrukcijskog materijala nalazila u dnu broda dok je gornji dio trupa bio zanemaren. U osnovi možemo reći da je čvrstoća konstrukcije ovisila samo o donjem djelu trupa. Brodovi su bili građeni isključivo poprečnim sustavom gradnje, poput nekadašnjih drvenih brodova, što je za posljedicu imalo prevelika uzdužna opterećenja.

U tijeku plovidbe brod je izložen većem broju različitih opterećenja. Uslijed valova i gibanja broda dolazi do dinamičkih opterećenja odnosno javljaju se inercijalne sile i hidrodinamički tlakovi koji izazivaju naprezanja na savijanje, smična naprezanja, i torzijska naprezanja. No i pri mirovanju u vodi javljaju se naprezanja zbog djelovanja hidrostatskog tlaka koji održava brod na površini vode, te zbog težine tereta koji se nalazi na brodu.

Čvrstoća broda je svojstvo brodskog trupa da preuzme globalna i lokalna statička opterećenja, dinamička opterećenja nastala prirodom okolišnih uvjeta u kojem se brod nalazi, te ostala neprirodna opterećenja kao što su nasukavanje ili sudari.

4.2. Uzdužna opterećenja

Na trup broda u stanju mirovanja djeluju tri bitne komponente opterećenja; hidrostatski tlak ili uzgon koji brod održava na površini vode, opterećenje na palubi izazvano raspodjelom tereta, i težina same konstrukcije broda.

Da bi brod plutao mirno na površini vode uzgon mora biti jednak njegovoj cjelokupnoj težini, a to znači zajedno sa teretom. Sila uzgona ovisi samo o podvodnoj formi brodskog trupa dok opterećenje teretom ovisi o raspodjeli težine tereta na brodu. Uslijed nejednolike raspodjele sila uzgona i tereta u pojedinim poprečnim presjecima trupa nastaju poprečne sile i momenti savijanja. Tako da brod ustvari možemo zamislit kao gredu promjenjivog presjeka opterećenu na savijanje. Te dvije sile suprotstavljene su jedna drugoj. Pri valovima sila uzgona se mijenja po dužini broda dok je raspodjela opterećenja zbog težine tereta ista. To znači da će na određenim mjestima na trupu gdje je val prevladati sila uzgona dok će na drugim mjestima

prevladati sila nastala od tereta. Kad se val nalazi na sredini broda većina je uzgona koncentrirana upravo u tom djelu dok su krajevi na krmi i pramcu u isto vrijeme opterećeni teretom. U tom slučaju dolazi do pregiba broda. Gornje uzdužne veze opterećene su vlačno dok su donje veze opterećene tlačno.

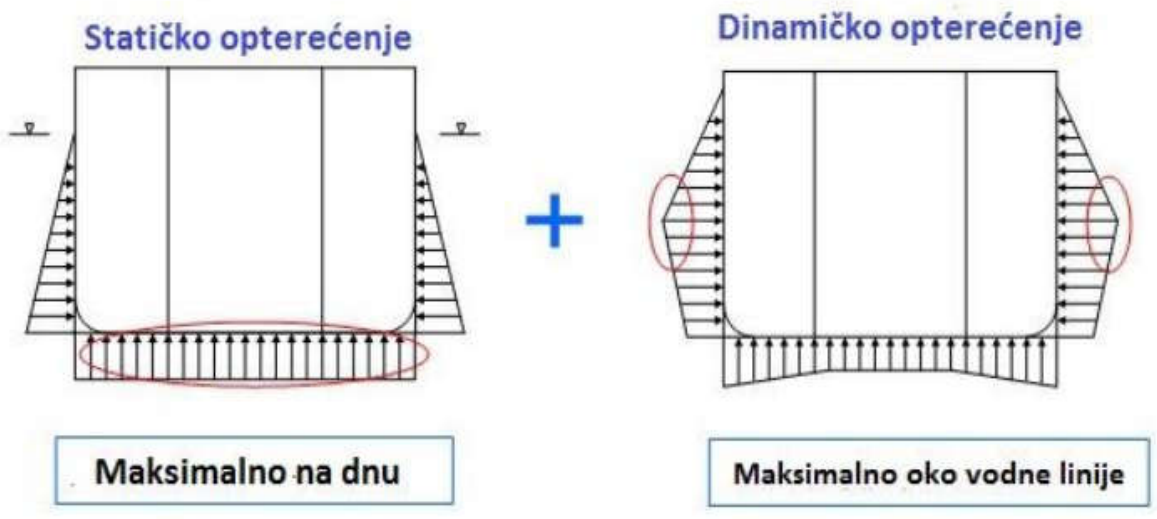
Kada je situacija obrnuta, odnosno kada je sila uzgona najjača na krajevima broda, a sredina ostaje opterećena težinom tereta, dolazi do progiba broda.

4.3. Poprečna opterećenja

Poprečno opterećenje nastaje neovisno od uzdužnog savijanja broda. Sile koje djeluju na poprečni presjek trupa uzrokuju deformacije i naprezanja u poprečnim vezama.

Kod statičkog opterećenja opterećeni su djelovanjem hidrostatskog tlaka dno i bokovi broda, gornje palube opterećene su teretom i visinom vodenog stupca na bokove, dok su dno i donji dijelovi broda opterećeni težinom tereta, konstrukcije i brodskih uređaja (slika 14, lijevo).

Do dinamičkog opterečenja dolazi uslijed valova i gibanja broda . Tada se javljaju sile inercije i hidrodinamički tlakovi (slika 14, desno).



Slika 14. Prikaz opterećenja poprečnog presjeka brodskog trupa.

4.4. Poprečni sustav gradnje

U vrijeme gradnje drvenih brodova postojao je problem oko nepropusnosti drvene oplate zbog čega su poprečna orebrenja morala biti postavljena gusto. Na taj način oplata je dobivala na krutosti što je spojeve činilo nepropusnima. Kasnije su se poprečnom gradnjom gradili i prvi čelični brodovi, a danas se koristi kod manjih brodova kod kojih problem uzdužne čvrstoće nije toliko izražen.

Sami naziv nam govori da u ovom sustavu gradnje osnovu kostura broda čine poprečni okviri tj. rebrenice, sponje i rebra koja se nalaze na svakoj ordinati broda i pružaju se od krova dvodna uz bok do gornje palube.

Elementi za uzdužnu čvrstoću konstrukcije su oplata, dvodno i palube sa svojim uzdužnim vezama. Za razliku od uzdužnog kod poprečnog sustava gradnje ne postoji uvijek dvodno. U tom slučaju poprečna čvrstoća umjesto nepropusnih rebrenica ima i okvirne rebrenice.

4.5. Uzdužni sustav gradnje

Uzdužna se gradnja koristi kod duljih brodova, a najprije se počela primjenjivati kod proizvodnje tankera. Brodovi velikih dužina izloženi su visokim momentima savijanja (pregibu i progibu) koji u različitim uvjetima opterećenja djeluju kroz čitavu strukturu broda. Kod ovog sustava uzdužnjaci su ugrađeni u okvire (najčešće svako četvrto rebro) i osnovni su element strukture trupa. Pružaju se od krme do pramca i prolaze dnom, bokom i palubom. Zajedno s hrptenicom, neprekinutim uzdužnim nosačima dna, bočnim provezama i uzdužnim pregradama, osiguravaju brodu veliku uzdužnu čvrstoću.

Okvirni elementi strukture smještaju se obično kao svako četvrto rebro što znači da su npr. okvirna rebra, okvirne sponje, jake rebrenice smještene tako da su obično međusobno udaljene četiri razmaka rebara. Konfiguracija brodskih prostora zahtijeva odstupanje kod ovog načela, razmaci se mogu adekvatno povećati i smanjiti, što naravno izaziva promjene dimenzija elemenata strukture.

Poprečnu čvrstoću i ukrepljenje uzdužnih veza osiguravaju jaki poprečni okviri. Na taj se način sa ovakvim sustavom gradnje postiže znatno kruća konstrukcija protiv izvijanja. Osim toga, pri ovom sustavu s lakšom konstrukcijom postiže se potrebna čvrstoća broda, što znači da je takav brod ekonomičniji zbog uštede na težini. Težina trupa se smanjuje oko 10%.

Elementi uzdužne čvrstoće kod uzdužnog sustava gradnje su oplate dna, dvodna, boka, palube, dvoboka, kobilica, završni voj, palubna proveza, uzdužni nosači dvodna i dvoboka, palubne podveze te uzdužnjaci svih oplata koji se spajaju na odgovarajući način.

Elementi poprečne čvrstoće kod uzdužnog sustava gradnje su poprečne pregrade, poprečni nosači dvodna i dvoboka, te okvirne sponje koje se ponekad kod tankova izvode iznad palube. Elementi lokalne čvrstoće kod uzdužnog sustava gradnje su uzdužnjaci svih oplata. Elementi lokalne čvrstoće su i sve ukrepe protiv izvijanja dvodna i nosača.

4.6. Kombinirani ili mješoviti sustav gradnje

Koristi se na velikim brodovima gdje jake bočne proveze i okvirna rebra ne pružaju dovoljno prostora za ukrcaj tereta. Kod mješovitog sustava gradnje koristi se uzdužno ukrepnjenje dna i gornje palube, te poprečno orebrenje bokova i donjih paluba.

Elementi uzdužne čvrstoće kod ovog sustava su oplata dna, dvodno sa svojim uzdužnim nosačima, gornja paluba i kobilica.

Elementi poprečne čvrstoće su poprečni nosači dvodna, okvirne sponje i rebra, te poprečne pregrade. Okvirne sponje i okvirna rebra se postavljaju u razmacima na svako četvrto rebro ili na manjim razmacima ako je potrebno.

Elementi lokalne čvrstoće su rebra i uzdužnjaci oplate.

4.7. Osnivanje broda

Početak razvoja svakog broda, nakon ideje vlasnika i odluke da je provede, a prije razrade projekta i njegove gradnje, je u osnivanju. Ono se često miješa sa pojmom projektiranja, ali iako za cilj imaju istu stvar, a to je gotov projekt, osnivanje je početno definiranje broda dok je zadatak projektiranja konačno definiranje karakteristika i elemenata broda. Neki autori kao definiciju osnivanja navode da je to početak i postupak stvaranja projekta novog broda do njegove minimalne, ali dovoljne definiranosti.

Osnivanje započinje s utvrđivanjem mogućnosti obavljanja nekog posla u kojem će brod sudjelovati tj. stvoriti ideju namjene ili funkcije koju će taj brod obavljati. Definiraju se svojstva broda i sustavi koji podržavaju ta svojstva. Na osnivanje broda utječu mnogi čimbenici, a kroz

vrijeme se razvijalo zajedno sa potrebama brodara i mogućnostima brodograditelja u skladu sa tehnološkim i naučnim saznanjima.

Pri osnivanju broda tri stvari treba uzeti u obzir:

- naručitelj broda i njegovi interesi,
- mogućnosti graditelja broda,
- eksploatacijsko-tržišna okolina.

4.8. Raspodjela na grupe

Prije svega radi se podjela broda na grupe. Stvara se uređeni skup naziva pojedinih dijelova složenog sustava i tako dolazi do stvaranja modela koji racionalno i što jednostavnije predstavlja složeni sustav broda. Grupe su jedinice podjele brodskog trupa koje uključuju jednu ili više sekcija koje čine tehnološku cjelinu. Podjela ovisi o brodogradilištu, a može se izvesti na način da se cijeli brod podijeli na 8 glavnih grupa. To su:

- brod općenito,
- trup,
- oprema za teret,
- brodska oprema,
- oprema za posadu i putnike,
- osnovni strojevi i uređaji,
- sustavi za osnovne strojeve i uređaje,
- brodski sustavi.

Svakoj se grupi dodjeljuje identifikacijski broj. Nakon što je brod prilikom osnivanja podijeljen na sekcije svakoj će se sekciji dodijeliti oznaka ovisno o grupi kojoj pripada i redoslijedu montaže.

4.9. Podjela broda na sekcije

Nakon gotovog modela konstrukcije to jest kada je poznata raspodjela masa može se napraviti podjela broda na sekcije. Ako gledamo na brod kao na proces onda ova podjela znači raščlanjivanje procesa gradnje u više procesa koji se mogu izvoditi na više mjesta i u isto vrijeme. Već je spomenuto da je brod složen i kompleksan proces u kojemu dolazi do interakcije

raznih struka, što bi bio jedan od razloga podjele. Osima toga na taj način je moguće kvalitetno pratiti proizvodnju, organizirati izradu dokumentacije, nabavu materijala, itd.

Podjela broda na sekcije ovisi najviše o tehnološkim mogućnostima graditelja. U obzir se uzimaju tonaža sekcija i njihove dimenzije. Ovisno o veličini broda i tehnološkim mogućnostima brodogradilišta brod se može raditi od sekcija, blokova i modula.

Više dijelova podrazumijeva manje sekcije kojima je lakše rukovati, ali i povećanje broja spojeva te radova koji uključuju njihovo spajanje. Zato se uvijek nastoji maksimalno iskoristiti mogućnosti koje brodogradilište pruža i raditi što veće sekcije.

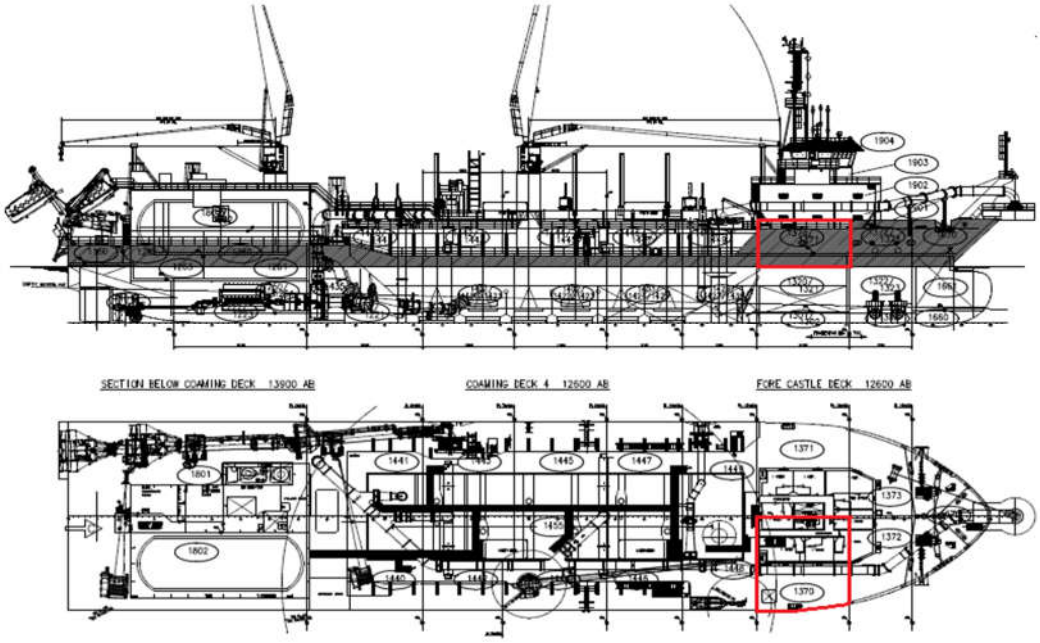
Blokovi su građevne jedinice trupa koje obuhvaćaju više sekcija i više grupa. Gradnja u blokovima rasterećuje mjesto gradnje broda (navoz ili dok) te na taj način olakšava i ubrzava proizvodnju. S druge strane, ovaj način gradnje zahtjeva velike nosivosti dizalica i drugih transportnih strojeva, kao i puno više prostora za izradu i transport.

Najveće tehnološke zahtjeve što se tiče gradnje i transporta zahtjeva gradnja broda iz modula. To su dijelovi broda podijeljenog po dužini koji imaju njegovu punu visinu i širinu.

5. KARAKTERISTIKE SEKCIJE 1370

Sekcija 1370 dio je desnog (SB) pramčanog djela broda za kopanje morskog dna – jaružara (dredgera, slika 15). Jaružar je brod koji se najčešće koriste za produbljivanje luka i kanala, ali se posljednjih desetljeća sve češće koriste i za izgradnju novih obala, otoka i obalnih konstrukcija, a najbolji primjer je izgradnja Otoka palmi u Dubaju.

U sljedećim poglavljima će biti detaljno opisan postupak izrade sekcije 1370, te će se prikazati rezultati optimizacije procesa.

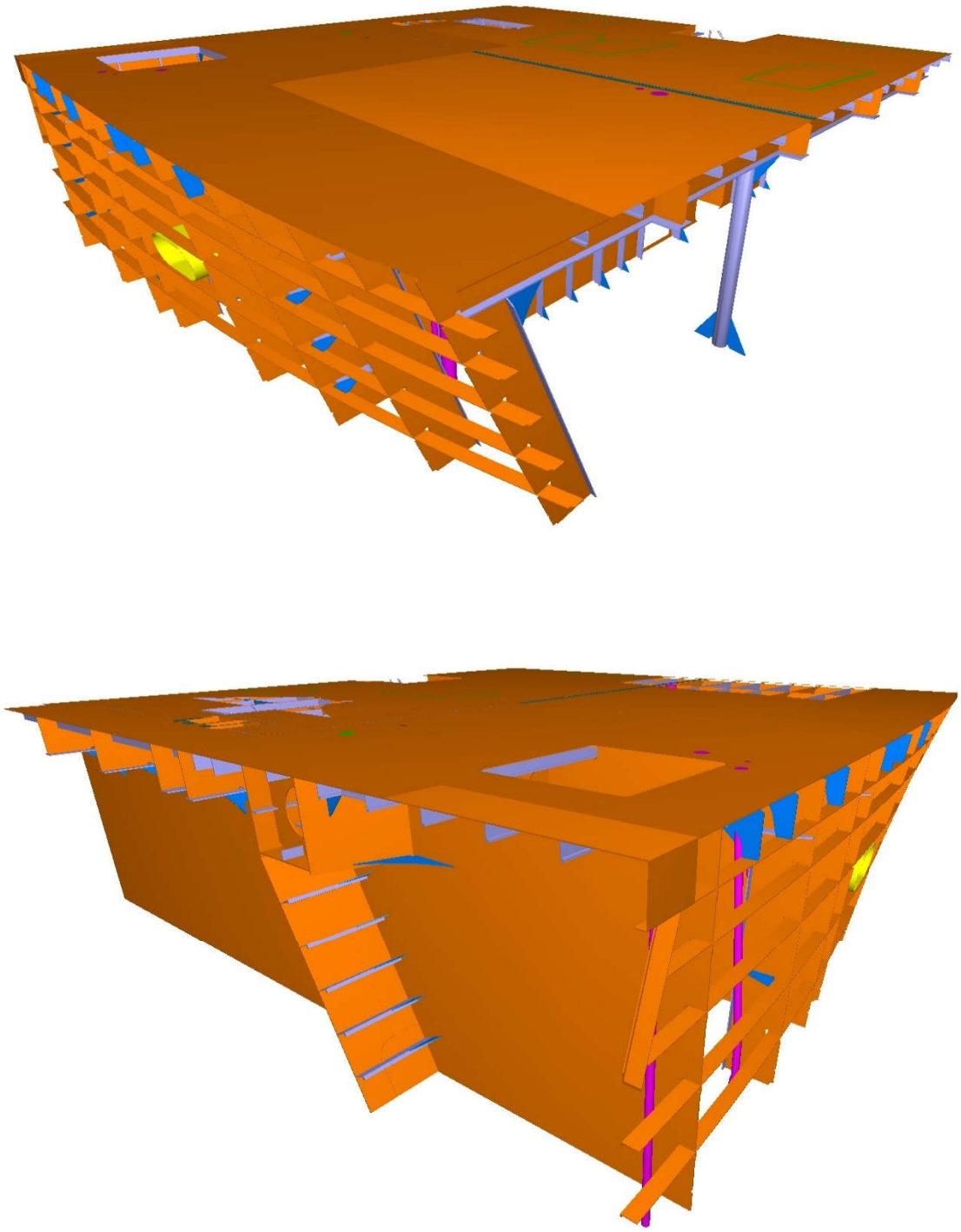


Slika 15. Nacrt jaružara kojem pripada sekcija 1370 – na slici označena crvenom bojom.

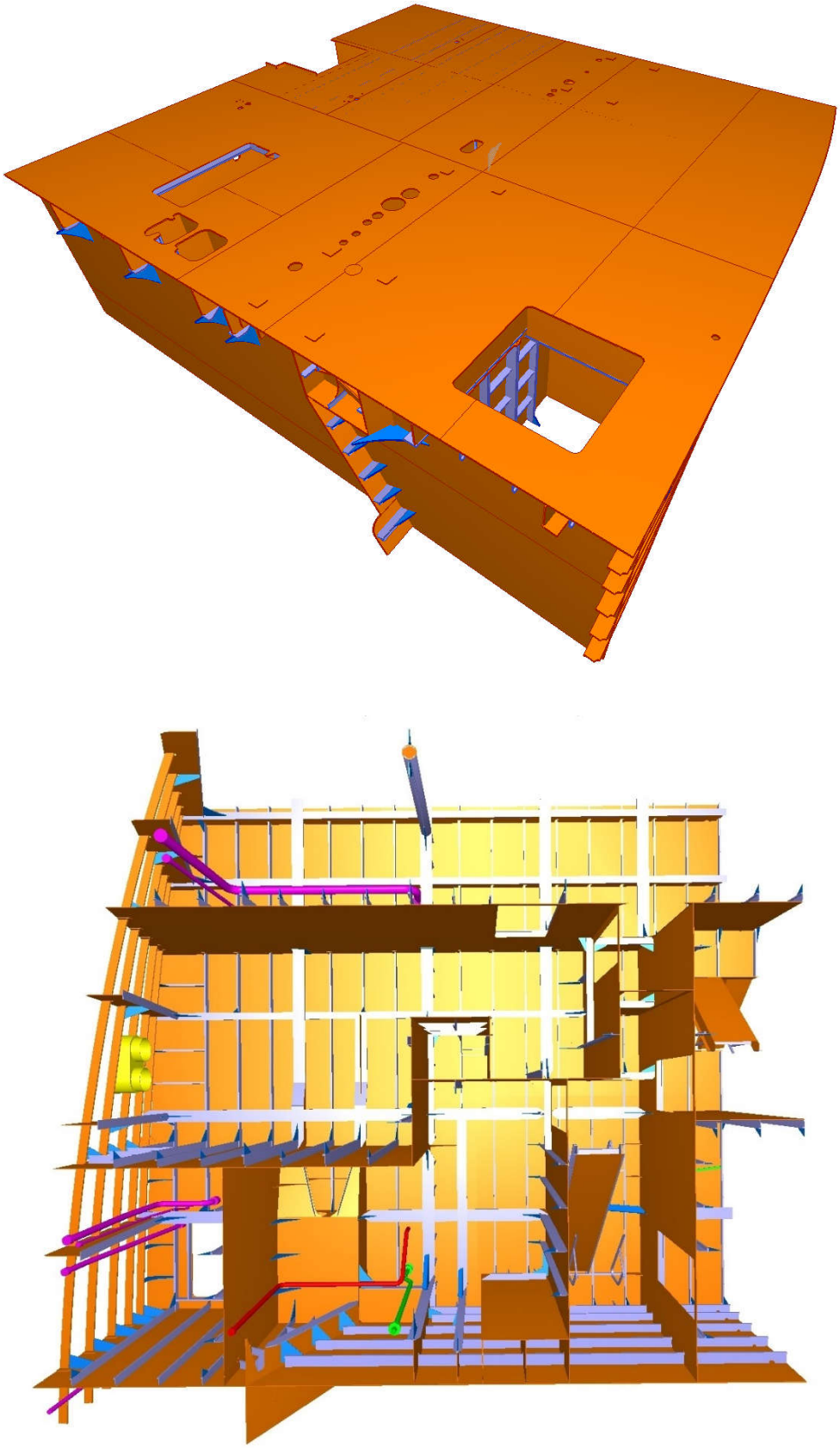
Dužina		11200 mm
Širina		11683 - 12231 mm
Visina		3600 mm
Težina		46518 kg
Razmak rebara		700 mm
Materijal		AH36
Pozicija na brodu:	po dužini	R 114 +350 mm do R 130 +350 mm
	po širini	250 mm desno od CL do ruba broda
	po visini	9000 mm do 12600 mm od linije baze BL
Težišne točke:	po dužini	R 120 +631 mm
	po širini	6415 mm od CL
	po visini	11592 mm od linije baze

Tablica 2. Karakteristike sekcije 1370.

Sve potrebne karakteristike sekcije 1370 (tablica 2) navedene su u glavnom nacrtu na prvom listu koji je zbog preglednosti isprintan na A2 formatu. Nacrti broda i sekcije 1370 priloženi su zajedno sa radom kao njegov dodatak također u A2 formatu.



Slika 16. 3D model sekcije 1370 u prirodnom položaju, prikazan s pramčane (gore) i sa stražnje, krmene strane (dolje).



Slika 17. 3D model sekcije prikazan s gornje strane na kojem se vidi paluba (gore) i pogled s donje strane na kojem se jasno vide sve pregrade (dolje).

6. IZRADA PALUBE

6.1. Pripremanje materijala

Ovaj dio procesa ne ulazi u projekt izrade sekcije 1370. Iako je i priprema materijala dio sveukupnog procesa gradnje broda, sklapanje sekcije se odvija u predmontažnim halama od već pripremljenog materijala koji se dovozi iz rezaonica spreman za montažu.

Sav materijal prije rezanja na mjeru je toplinski obrađen, pjeskaren i obojan protiv korozije. Limovi se režu u velikim bazenima pomoću plazme (slika 18, gore), što onemogućava toplinske deformacije ili ako je riječ o komadima manjih dimenzija, na velikim strojevima za rezanje plinom (slika 18, dolje). Rezanje trakastih, bulb i ostalih profila lako se može izvesti i u hali za predmontažu, ali pod visoku cijenu oduzimanja prostora za izradu sekcije.

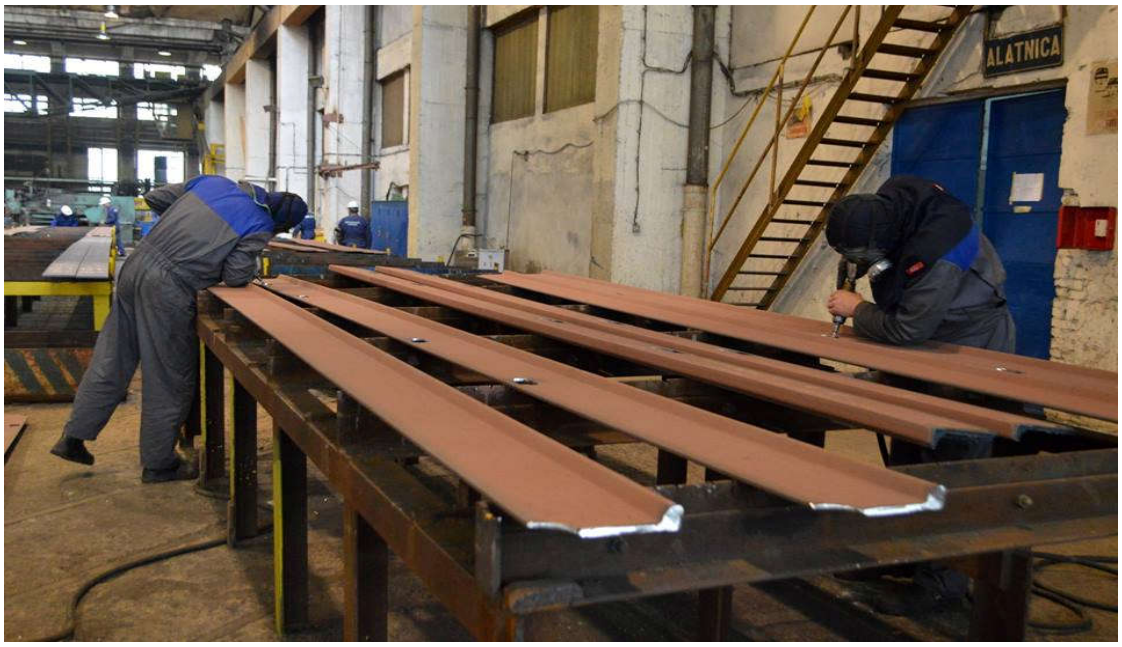


Slika 18. Stroj za plazma rezanje u bazenu (gore), stroj za plinsko rezanje limova (dolje).

Profili se režu plinskim rezačem ili na tračnoj pili, nakon čega se na njih otisne broj koji označava gradnju i oznaku elementa (slika 19). Na limovima se još osim oznaka ucrtavaju linije se navedenim pozicijama profila, limova ili mjera koje su bitne pri izgradnji (vodena linija, središnja linija broda, visina, itd.). Oštre krajeve profila potrebno je izbrusiti (slika 20).



Slika 19. Postupak ispisivanja oznaka gradnje, grupe i oznake lima (gore), lim sa markiranim profilima smještenima na iscrtanu poziciju (dolje).



Slika 20. Brušenje oštrih bridova na profilima nakon što su izrezani.

Ovisno o strojevima za rezanje u rezaonicama, već u izradi projekta su određene dimenzije limova koji će činiti panel. Savršena situacija bi bila kad bi paluba mogla biti izrađena samo od jednog lima, no to bi onda stvorilo niz novih problema. Jedan od razloga zašto se to ne radi je nepraktičnost u smislu rukovanja materijalom i preveliki troškovi prilikom transporta. Druga stvar je da se zbog različitog rasporeda tereta na palubi negdje javlja potreba za tanjim, a negdje za debljim limom. Iz tih razloga limovi obično budu od 6 do 12 metara dužine i 3 metra širine, a kasnije se spajaju pomoću EPP postupka zavarivanja u jedan komad. To možemo vidjeti i na nacrtu palube.

6.2. Uvoz materijala

U halu za predmontažu transportnim kolicima dovezen je materijal za sklapanje sekcije 1370. Limovi palube, uzdužni profili za palubu (uzdužnjaci), limovi pregrade i materijal za sklapanje T profila dovezeni su iz rezaonice posloženi u kupove. Materijal je u rezaonici raspoređen i grupiran ovisno o djelu proizvodnog procesa kojem pripada. Na primjer, limovi palube dolaze zajedno sa uzdužnjacima koji su predodređeni za montažu odmah nakon što se limovi spoje i zavare. U isto vrijeme poslani su i T profili koji će biti sklapani u drugoj hali. Ta dva procesa radit će se usporedno.

Limovi palube skidani su jedan po jedan sa prikolice i odmah postavljani na mjesto spajanja. Bulb profili smješteni su krajem hale kako ne bi smetali za vrijeme spajanja panela. Materijal za T profile smješten je također krajem hale, a u blizini je postavljen dugački metalni radni stol na kojem će radnik vršiti sklapanje.

6.3. Montaža limova palube

OZNAKA LIMA	DEBLJINA (mm)	DIMENZIJE (mm)	TEŽINA (kg)
1	15	1930x5050	1140,75
2	10	3970x5050	1170
3	9	6300x2970	1313,45
4	9	6300x1970	871,2
5	15	4900x1860	1067
6	10	6300x1970	968
7	15	4900x2970	1702,35
8	10	6300x2970	1459,4
9	15	(4900x2351)	1345,5
10	12	(6300x2219)	1156
UKUPNA TEŽINA LIMOVA PANELA			12193,65

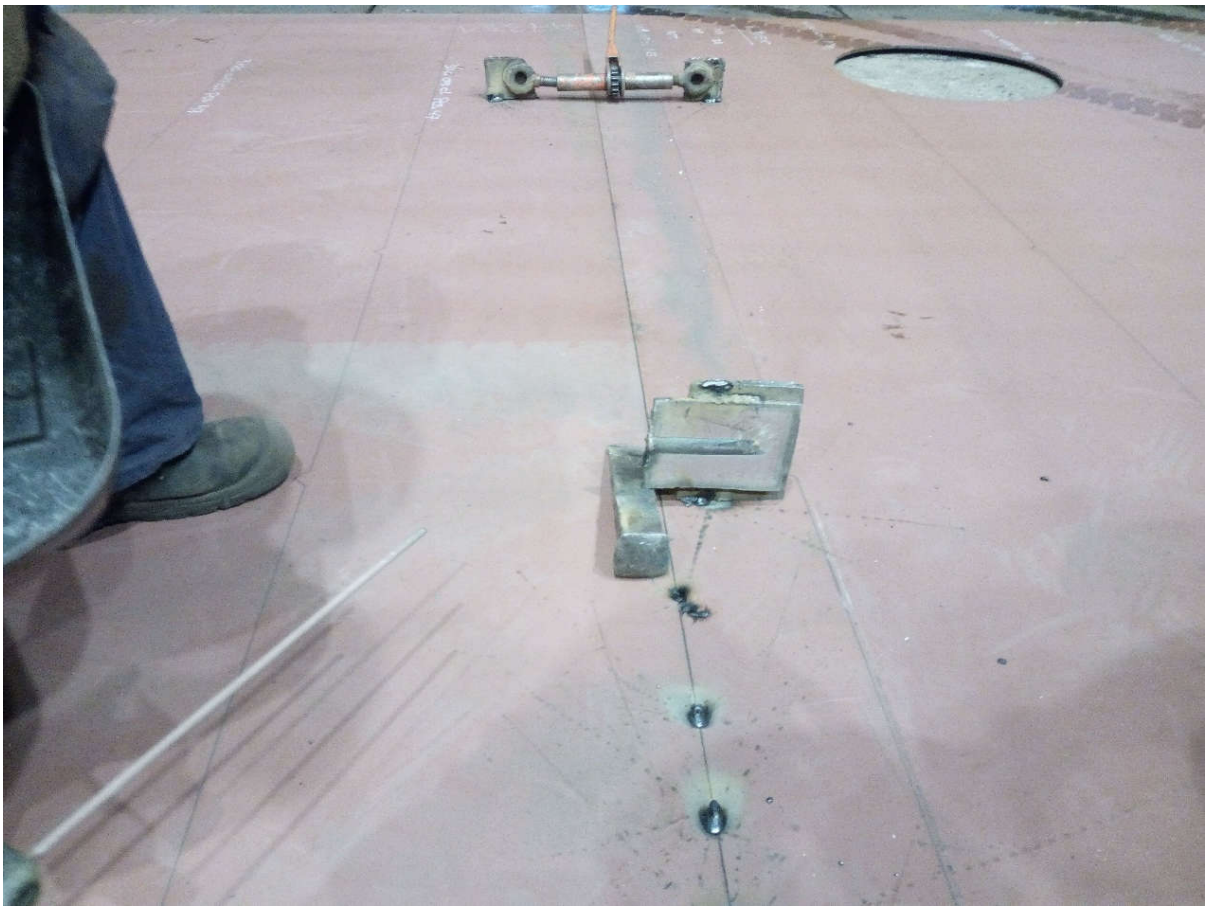
Tablica 3. Popis limova od kojih će se sklapati paluba.

Nakon skidanja materijala sa prikolice i razmještanja materijala po hali, prvo se pristupa montažnom spajanju palube kako bi se limovi kasnije mogli zavariti. Pri tome mislimo na dovođenje limova u željeni položaj i njihovom pričvršćivanju na poziciji kratkim zavarima – točkasto zavarivanje (puntiranje, heftanje). Prilikom samog istovara tereta monteri su vodili računa da limovi koji se spajaju budu što preciznije namješteni jedan do drugog tj. da njihovi rubovi budu što bolje poravnati. Potrebno je imati na umu da je materijal izrezan na mjeru, tako da iako se par milimetara na mjestima spoja čini nebitnim za tako velike dijelove konstrukcije, zbog brojnih mjesta spajanja može doći zbog nagomilavanja grešaka i velikog odmaka od planiranih dimenzija.

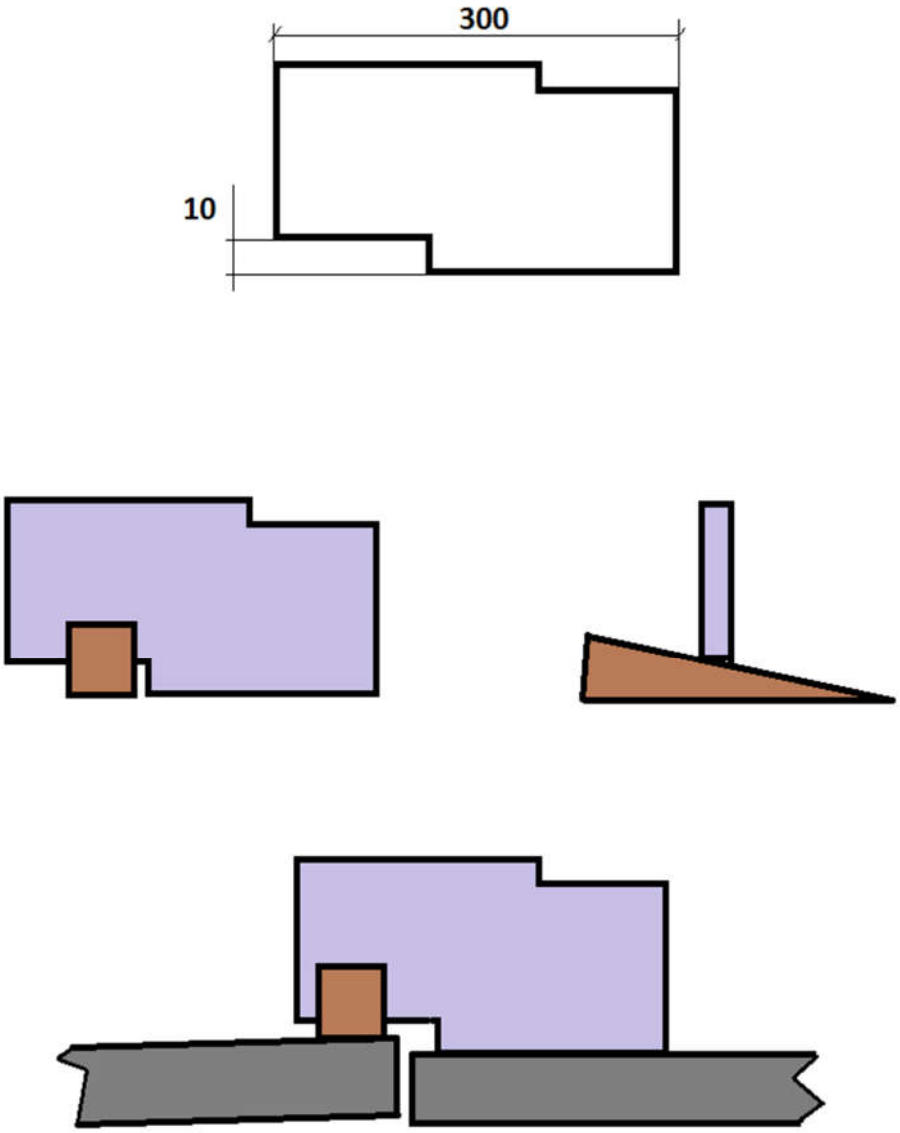
Monteri limove spajaju kratkim zavarima koristeći REL postupak zavarivanja (slika 21). Spoj mora biti pripremljen kao ravni sučelni spoj bez razmaka za zavar, zbog čega monteri koriste razne alate za stezanje lima jedan uz drugi. Ako su limovi različite debljine prije spajanja

treba provjeriti na koju stranu dolazi deblji dio lima. Mjesta prijelaza debljeg lima na tanji i obratno su ublažena postepenim reduciranjem debljine većinom po pravilu 5 na 1. Tako da ukoliko lim od 15 mm spajamo sa limom od 8, razlika toga ili dio koji će ostati viriti poput stepenice 7 mm se ublaži laganim prijelazom dužim 5 puta dakle u ovom slučaju 35 mm. Iznimka su limovi čija razlika u debljini ne prelazi 3 mm. U tom slučaju redukcija debljine nije potrebna.

Poravnanje površine lima izvedeno je pomoću tzv. „gafe“ i klina (slika 21 i 22). Gafa je improvizirani alat koji se odreže od nepotrebnih komada metala kako bi se naguravanjem klina u međuprostor dobila željena pozicija. Neka brodogradilišta takva priručna sredstva režu u rezaonicama, poput Uljanika. Ovdje to nije slučaj i radnici ih po potrebi režu sami.



Slika 21. Prikazuje postupak spajanja limova REL postupkom. U donjem djelu slike vidimo kratke zavare na već prihvaćenom djelu spoja. Stezalica kojom smo limove privukli jedan uz drugog i učvrstili na mjesto može se vidjeti u gornjem djelu slike. U sredini su klin i gafa kojima ravnamo spoj.



Slika 22. Postupak korištenja klina za poravnavanje limova.

Nakon što je lim spojen, na krajeve spoja se postavljaju pločice (slika 23). One se montiraju samo privremeno kako bi početak i kraj zavara bio izvan mjesta spajanja. Tih prvih 15 cm zavara radnik još uvijek stigne podesiti stroj ako neki parametri nisu postavljeni kako treba.



Slika 23. Pločice za početak i kraj zavara EPP postupkom prije i nakon što je lim zavaren.

Sekcija 1370 se sastoji od 10 limova debljine od 9-15 mm. Ako pogledamo nacrt palube možemo vidjeti da se radi o 13 spojeva. Ukupnu dužinu svih spojeva koji se zavaruju EPP postupkom zaokružili smo na 60 metara, iako se radi o nešto manje od toga (tablica 4).

LIMOVI		DUŽINA SPOJA
1	2	5050 mm
1 i 2	5	4900 mm
5	7	4900 mm
7	9	4900 mm
3	4	6300 mm
4	6	6300 mm
6	8	6300 mm
8	10	6300 mm
2	3	2970 mm
2	4	1970 mm
5	6	1970 mm
7	8	2970 mm
9	10	2351 mm
UKUPNA DUŽINA SPOJEVA		57 181 mm

Tablica 4. Prikaz spojeva kompletirane palube i njihovih dužina.

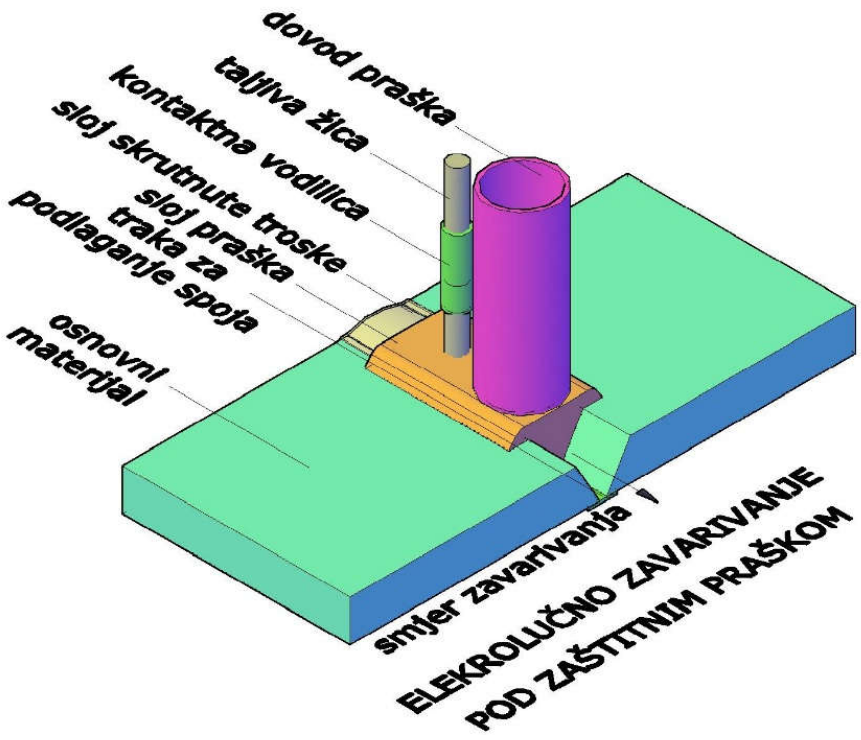
Samo spajanje limova vremenski je trajalo 15 sati s prekidima. Raspoređivanje materijala je prije toga trajalo 3 sata, čime dobivamo 18 sati za trajanje cijelog procesa. S obzirom na to da su posao obavljala dva montera, ukupan je broj potrošenih sati duplo od toga, jer na svakog radnika u procesu dolazi točno 18 sati rada. Stoga bi mogli reći da je 36 sati potrošeno do sada na izradu sekcije.

MONTAŽA			
RASPOREĐIVANJE LIMOVA		SPAJANJE LIMOVA	
trajanje	3 sata	trajanje	15 sati
broj montera	2	broj montera	2
ukupno potrošeno	6 sati	ukupno potrošeno	30 sati
UKUPNO POTROŠENO		36 sati	
UKUPNO TRAJANJE RADA		2 dana (18 sati)	

Tablica 5. Trajanje i potrošnja sati u procesu montažnog spajanja limova palube.

6.4. Zavarivanje limova palube – EPP postupak

Elektrolučno zavarivanje pod zaštitom praška (EPP) se sastoji u tome da se metalna elektroda, koja služi i kao dodatni materijal, topi ispod sloja praška uslijed topline koja se oslobađa u električnom luku (slika 24 i 26). Električni luk se uspostavlja između osnovnog materijala i metalne elektrode. Metalna elektroda se pri tom, u obliku žice namotane u kolut, pomoću pogonskog mehanizma dovodi na mjesto zavarivanja. Tijekom zavarivanja električni luk je pokriven zaštitnim slojem praška za zavarivanje koji se topi. Prilikom topljenja nastaje šljaka koja obavlja niz funkcija isto kao i šljaka nastala topljenjem obloge elektrode. Nakon zavarivanja prašak i šljaka se uklanjaju.



Slika 24. Prikaz zavarivanja postupkom pod zaštitom praška (EPP).

Za zavarivanje se najčešće upotrebljava kombinacija jedne žice i praška, ali se mogu upotrebljavati dvije ili više žica, kao i kombinacija istosmjerne i izmjenične struje. Takvim varijantama postupka postiže se mogućnost većih strujnih opterećenja i veće brzine zavarivanja. Ipak pri spajanju limova u brodogradnji riječ je o samo jednoj žici.

Ako bi usporedili EPP zavarivanje sa REL postupkom vidjeli bismo da je iskorištenje topline znatno bolje nego kod ostalih postupaka zavarivanja (tablica 6).

Utrošak topline	REL %	EPP %
topljenje žice	15	25
topljenje praška	15	22
topljenje osnovnog materijala	10	48
gubitak zračenjem	20	0
gubitak odvođenjem u osnovni materijal	40	5

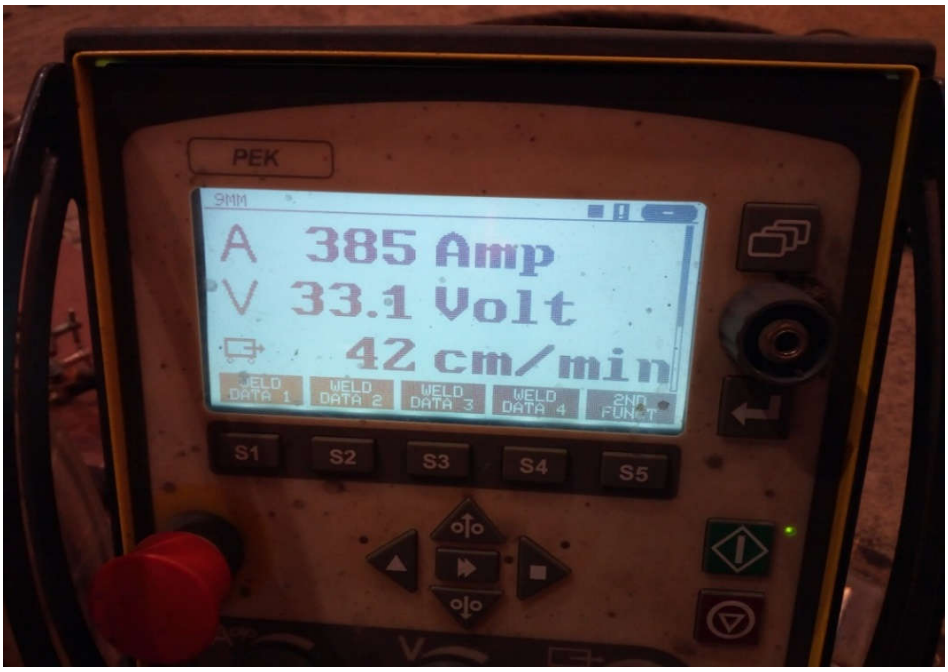
Tablica 6. Usporedba utroška topline kod EPP zavarivanja sa REL postupkom.

Kao izvori struje za zavarivanje upotrebljavaju se uređaji koji daju istosmjernu i izmjeničnu struju. Pri radu s istosmjernom strujom žica se priključuje na plus (+) pol. Jačina struje prilikom zavarivanja sa jednom žicom kreće se od 350A do 1200A, a brzine zavarivanja i preko 2 metra u minuti. Zavarivati i navarivati se može samo u horizontalnom položaju. Ako se zavaruju cilindrični detalji, automatskim napravama se mjesto zavarivanja dovodi u horizontalan položaj.

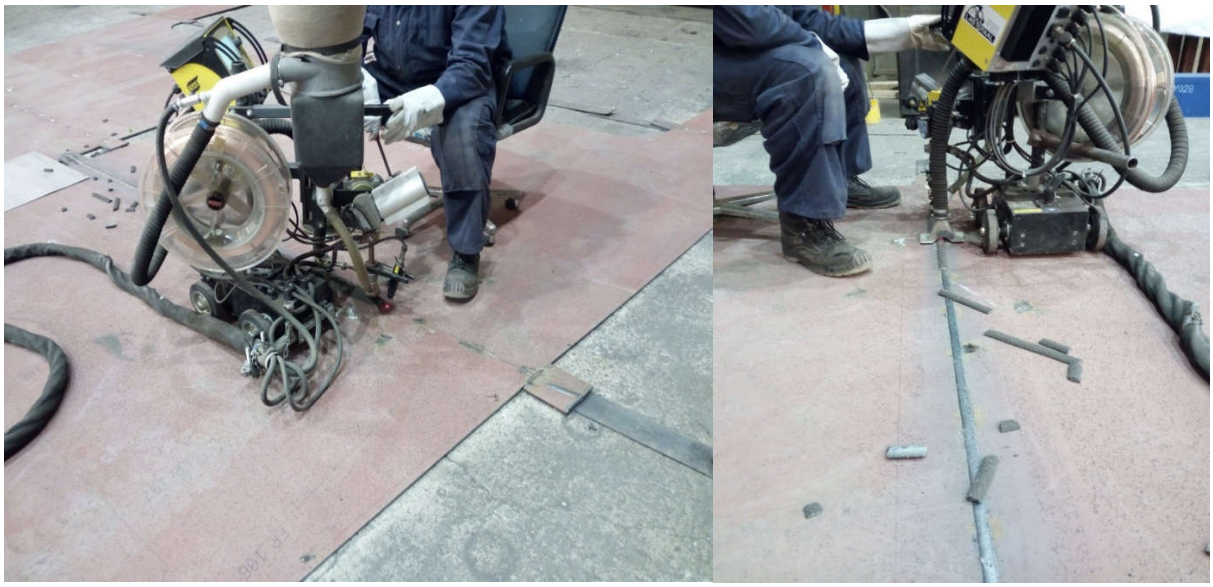
U slučaju sekcije 1370, riječ je o 10 limova različitih dimenzija koji će biti spojeni na 13 mjesta u jedan lim palube. Svaki je spoj ravan sučelni spoj koji je potrebno zavariti s obje strane, što znači da će se u jednom trenutku panel morati okrenuti. Kako bi bilo što manje okretanja, limovi su prvo položeni naopako tj. gornja strana prema gore. Ne smijemo zaboraviti da se ovdje radi o površini djela palube po kojoj će se morati kretati, što znači da će se ukrepni elementi nalaziti ispod. Tako da nakon što se gornja strana limova zavari panel se okrene naopako kako bi se mogli postaviti profili na donjoj strani.

Parametri koje određuje zavarivač u slučaju spajanja limova ovise o debljini lima i željenoj dinamici rada. Za naš slučaj, optimalne struje zavarivanja kreću se oko 350-400 A, napon električnog luka 35 V. Dužina luka je podešena na 2mm, 30V ako dužina luka iznosi oko 4 mm. Brzina zavarivanja je oko 40 cm/min (slika 25). Budući da znamo dužine svih spojeva limova koji se moraju zavarit (tablica 4) iz toga možemo dobiti vrijeme koje je stroj za zavarivanje proveo u radu, od trenutka paljenja stroja do trenutka njegova gašenja, a to je 5 sati. No ne zaboravimo da se radi o 13 šavova za koje je svaki put radnik morao isključiti stroj i premjestiti ga pomoću dizalice. Također je bilo potrebno u trenutku rada kada bi ponestalo žice

ili praška radnik morao isključiti stroj i nadomjestiti potreban materijal, te okrenuti spojene limove na drugu stranu. Čišćenje i održavanje stroja, radnog mjesta, popravci na loše izvedenim zavarima, brušenje, te pauze na koje radnik ima pravo tokom dana, sve je to je produžilo trajanje procesa na 30 sati.



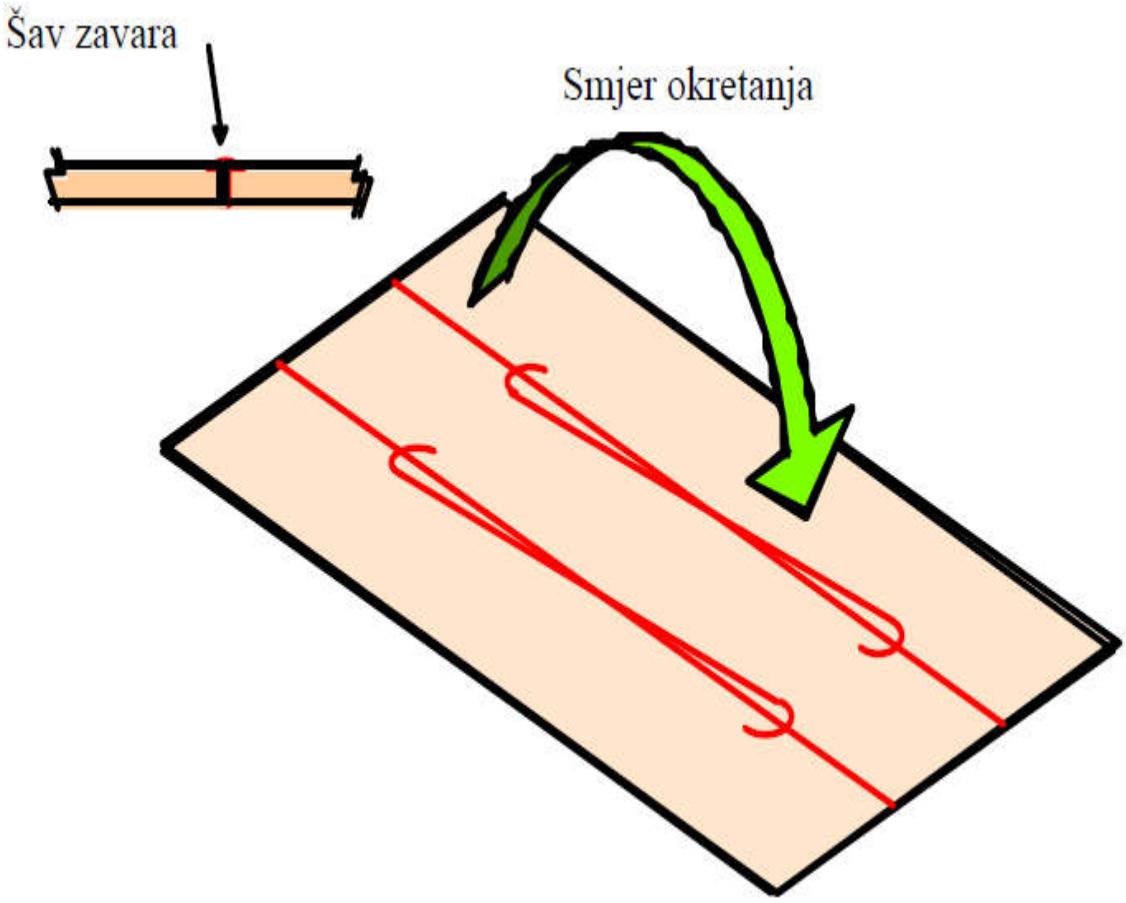
Slika 25. Određeni parametri na stroju za zavarivanje limova EPP postupkom.



Slika 26. Zavarivanje EPP postupkom.

Nakon što je lim zavaren sa jedne strane potrebno ga je okrenuti i zavariti s druge. Okretanje su izveli dvojica montera mostnom dizalicom sa dvije mačke. Radi većeg dosega hvatišta koristili smo dvije grede za balans dužine 2,5 m. Po dvije hvataljke za limove nosivosti 5 tona koristili smo na svakoj gredi.

Prilikom okretanja limova trebalo je voditi računa o načinu na koji ćemo panel okrenut. Limovi zavareni samo sa jedne strane lako se mogu prelomiti u području zavara. Zato ih treba okretati oprezno, a os zakretanja mora biti okomito na šav (slika 27 i 28). Okretanje je trajalo 2 sata, a uz dva montera uključuje i zavarivača koji je čekao da može nastaviti s radom, čime se broj utrošenih sati u procesu spajanja panela povećava za 6 sati.



Slika 27. Smjer okretanja limova.

	Koraci ukjlučeni u proces	Radnici u procesu	Trajanje procesa (ukupno potrošeni sati)
ZAVARIVANJE PANELA	- premještanja stroja - podešavanje parametara - dodavanje dodatnog materijala, žice - dodavanje pjeska - čišćenje šljake - popravci na zavaru (brušenje)	1 zavarivač	30 sati (30 sati)
OKRETANJE PANELA	- zahvačanje panela - okretanje panela	1 zavarivač 2 montera	2 sata (6 sati)
UKUPNO POTROŠENO NA PROCES			36 sati

Tablica 7. Potrošnja sati, trajanje i broj radnika uključenih u proces zavarivanja limova palube.



Slika 28. Okretanje dugih panel limova u hali za predmontažu pomoću dvije grede i mosne dizalice sa dva mačka, nakon što su zavareni sa jedne strane.

6.5. Postavljanje uzdužnjaka na palubu

Rekli smo da u zavisnosti od toga kako su glavni elementi brodske konstrukcije postavljeni u odnosu na uzdužnu os broda, razlikujemo 3 sustava gradnje brodova: poprečni, uzdužni i kombinirani. Kombinirani sustav gradnje uključuje uzdužnu i poprečnu gradnju broda na način da jedan dio broda bude izveden kao uzdužna, a drugi kao poprečna gradnja. Paluba u slučaju broda kojem pripada i sekcija 1370 izvedena je uzdužnim sustavom gradnje .

Uzdužnjaci su ukrepni elementi, u ovom slučaju HP profili (bulb profili,) koji se pružaju dužinom palube. Raspoređeni su paralelno u razmacima od 700 mm, što je najčešće slučaj kod velikih brodova, te su osnovni element za ostvarivanje uzdužne čvrstoće. Na nacrtu ih možemo vidjeti u obliku tankih isprekidanih linija. Oni se prvi montiraju na limove palube nakon čega se zavaruju pomoću poluautomatskog aparata za zavarivanje MIG/MAG postupkom. U nekim modernijim brodogradilištima to izvode roboti što uvelike pojednostavljuje postupak.

Ako promotrimo nacrt deka, vidjet ćemo da se osim uzdužnjaka tu nalaze i neka druga pojačanja od HP ili trakastog profila koja se ne pružaju uvijek uzdužno. Njih smo izostavili iz ovog procesa. Oni će se montirati na panel nakon što se uzdužnjaci zavare kako ne bi smetali prolazu aparata za zavarivanje. Ti kraći elementi se obično zavaruju ručnim MIG postupkom. Dakle u ovom djelu procesa montiramo na palubu samo one elemente koje zavarujemo pomoću poluautomatskog aparata. To su elementi iz tablice 8.

MARKA	KOMADA	DUŽINA (mm)	TEŽINA (kg)
500	2	5776	62.67
501	2	3140	34.1
502	2	10850	117.72
504	1	7920	8.6
505	2	10141	110.13
518	1	6641	72.15
506	1	11200	121.52
507	1	8738	94.8
508	1	7310	79.3
519	1	8741	94.84
510	1	8391	91
511	1	1400	15.2
515	1	4550	49.37
520	1	4541	49.3

Tablica 8. Popis uzdužnih profila koji se montiraju na palubu i zavaruju poluautomatskim MIG postupkom.

Na panelu su pomoću stroja iscrtane linije sa nazivima pozicija koje im pripadaju. Isto se odnosi i na druge elemente, nosače i pregrade. Ono oko čega treba voditi računa prilikom njihova postavljanja je da profil, osim da je montiran na iscrtanu liniju, u potpunosti sjeda na svoje mjesto. To znači da između lima i profila ne smije biti odstupanja. U principu, u ovom se procesu radi na tome da se neravni limovi palube izravnaju i ukrute ravnim uzdužnjacima. Problem nastaje u površini na koju panel bude smješten prilikom montaže, a koja nije ravna. Neka brodogradilišta za ove poslove imaju posebna postolja ili tzv. roštilj koji je napravljen tako da su neravnine što manje.

6.6. Naprave za montažu

Pritiskanje profila na lim može se izvesti improviziranim napravama u kombinaciji sa klinom ili polugom, te strojevima posebno napravljenima za tu namjenu. Na slikama 29 i 30 vidimo jedan takav uređaj koji je korišten u gradnji sekcije 1370. Pritiskanje bulbova na lim izvodi se pomoću hidraulične pumpe i magneta. Uključivanjem magneta fiksira se položaj pumpe koja se nalazi iznad profila, zatim se pritiskom istisne međuprostor ispod profila. Ovaj postupak je brz i jednostavan, ali ima jednu manu. Uključeni magneti otežavaju postupak jer izvlače dodatni materijal u toku zavarivanja, tako da zavari kojima pričvršćujemo na mjestima u blizini magneta izgledaju deformirano i potrebno ih je izbrusiti prije nego li počnemo sa zavarivanjem poluautomatskim uređajem.



Slika 29. Uređaj za montažu ukrepa na lim pomoću magneta i hidraulične pumpe.



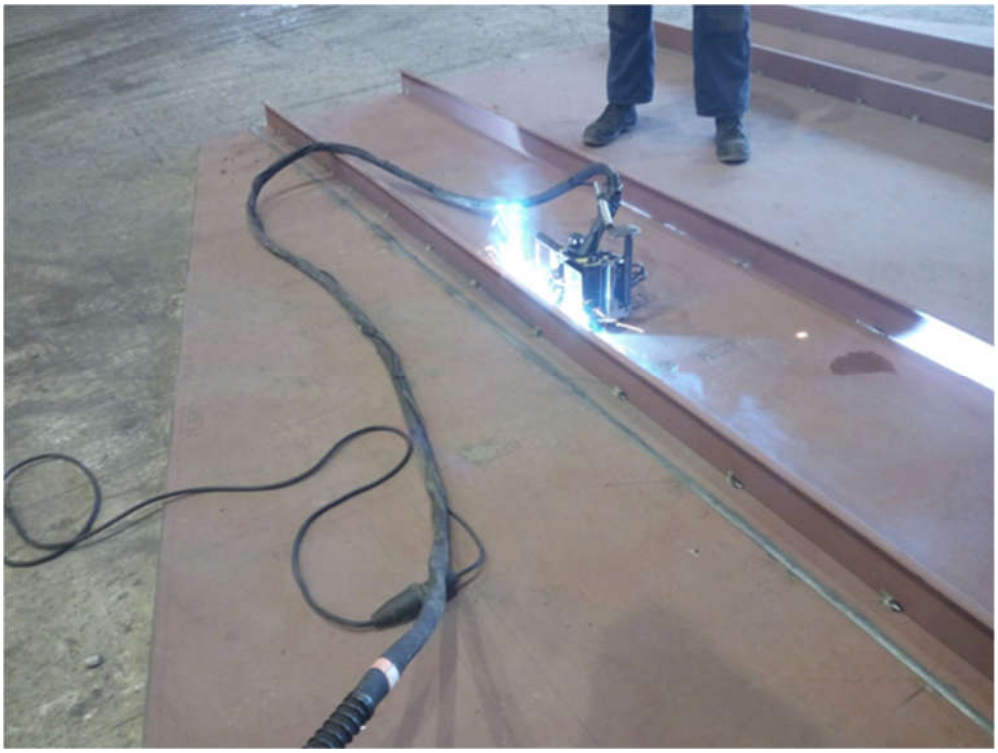
Slika 30. Postupak korištenja magnetskog uređaja i pumpe prilikom rada gdje se jasno vidi odstojanje profila i palube.

Na zadatak montaže uzdužnjaka pri izradi sekcije 1370 bilo je raspoređeno dva radnika, koja su posao napravila za 10 sati. Što znači da je točno 20 sati potrošeno na ovaj proces (tablica 9).

6.7. Zavarivanje uzdužnjaka

U tablici 8 možemo vidjeti da je ukupna dužina profila (uzdužnjaka) koji se zavaruju aparatom nešto više od 100 m, što znači da je s obje strane profila ukupna dužina zavara 200 m. Krajevi uzdužnjaka se ne zavaruju kako bi se u slučaju odstupanja od onog sljedećeg na koji bi se trebao nadovezati postojala mogućnost njihova poravnanja. Većinom zavar prestaje na nekih 300 mm od kraja. Premda je ukupna dužina zavara u tom slučaju nešto manja od 200 metara mi ćemo to zaokružiti jer je razlika zanemariva.

Za zavarivanje uzdužnjaka koristi se MIG postupak. Da bi se proces zavarivanja dugačkih profila pojednostavio zavarivanje se najčešće izvodi pomoću poluautomatskog uređaja za zavarivanje (slika 31). Neka brodogradilišta i ovaj postupak imaju u potpunosti automatiziran.



Slika 31. Zavarivanje uzdužnjaka poluautomatskim uređajem za zavarivanje MIG postupkom.

Zavarivač prije početka rada pregleda točkaste zavare kojima je profil pričvršćen i po potrebi izbrusi zavare koji su preveliki kako na tom mjestu ne bi nastala izbočina. Zavare ne smije izbrusiti do te mjere da on popusti i ponovno oslobodi prostor između profila i lima.

Ponekad je dobro, pogotovo ako sa uređajem rukuje neiskusan zavarivač, točkaste zavare postaviti samo sa jedne strane kako bi bar jedna strana ostala čista. Nakon zavarivanja te strane, zavari sa suprotne strane se mogu izbrusiti u potpunosti.

Problem u ovom djelu procesa može nastati u požurivanju zbog čega se često parametri na uređaju namjeste tako da se zavaruje velikom strujom i velikom brzinom. To na kraju dovodi do velikih deformacija na način da se kut između profila i lima na strani zavara smanjuje, što znači da profil koji bi trebao biti položen okomito na lim naginje u jednu stranu. Također se lim na mjestima zavara savije prema profilu što kasnije usporava montažu poprečnih elemenata.

	Broj radnika	Trajanje	Potrošeno sati
MONTAŽNO SPAJANJE LIMOVA	- 2 montera	18 sati (2 dana)	36 sati
ZAVARIVANJE LIMOVA (EPP)	- 1 zavarivač - 2 montera	30 sati (3 dana)	36 sata (30+6)
MONTAŽA UZDUŽNJAKA NA PANEL	- 2 montera	10 sati (1 dan)	20 sati
ZAVARIVANJE UZDUŽNJAKA	- 1 zavarivač	16 sati (2 dana)	16 sati
IZRADA PANELA	- 2 montera - 1 zavarivač	74 sata (8 dana)	108 sati

Tablica 9. Broj radnika, te potrebno vrijeme i potrošeni sati za kompletan proces izrade panela.

7. SKLAPANJE T- PROFILA

7.1. Brušenje oštrih bridova

Registarsko društvo koje nadzire izgradnju broda nalaže da prije bojanja, nakon što je sekcija gotova, svi oštri bridovi na sekciji budu zaobljeni na radijus od 2 mm (R2). Ono što je bitno da rubovi budu dovoljno zaobljeni kako boja nakon sušenja ne bi pucala na oštrim dijelovima.

Budući da je u brodogradnji uvijek praksa da se što je više posla napravi prije sklapanja sekcije, dok je pristup raznim alatima veći, a materijalom se rukuje puno lakše, odlučili smo dio procesa brušenja bridova na R2 prebaciti u ovaj proces. Na taj način pojednostavili smo brušenje i obrađivanje manje dostupnih dijelova T profila, kao što su prolazi za uzdužnjake ili otvori za kablove, te rad na sekciji kad ona bude u fazi sklapanja.

47 profila je izbrušeno nakon 10 sati rada, a budući da je u procesu sudjelovao samo jedan brusač ukupno je utrošeno isto toliko sati (tablica 10).

7.2. Montaža struka na traku

Gredni nosači kod velikih brodova, kao što su okvirna rebra i sponje, najčešće su izrađeni u obliku T profila, te sastavljenih ili savijenih L profila (flanži). Kao i kod trakastih, bulb ili savijenih L profila i u ovom slučaju najčešća je praksa da se profili rade u bravarskim radionicama ili nekim sličnim, a ne u halama za predmontažu. Projektni i konstrukcijski uredi potom izrađuju bitnu dokumentaciju i radioničke nacrte za sklapanje svakog od profila. Nakon što su izrađeni ovi profili se dovoze u prostor za predmontažu već gotovi nakon čega se vrši njihovo pozicioniranje i zavarivanje.

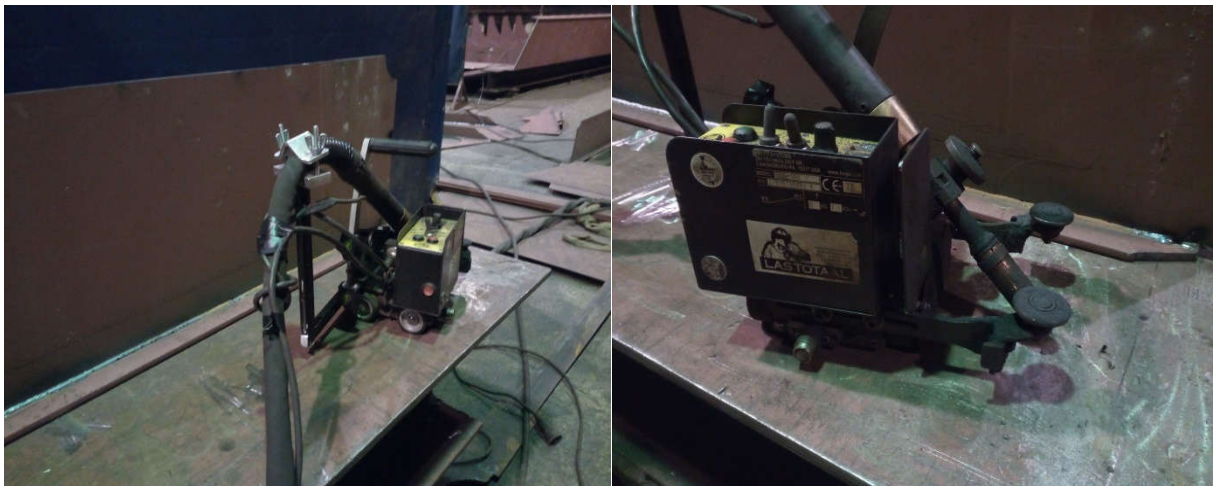
U slučaju sekcije 1370 radi se isključivo o nosačima izrađenih od T profila, koji se sklapaju na stolu u hali za predmontažu u isto vrijeme kad i panel. Proces sklapanja sastoji se od označavanja pozicije struka profila na traci s kojom će biti spojen. Budući da se za ovaj proces koriste radionički nacrti predviđeni za sklapanje sekcije, a ne radionički nacrti za sklapanje profila, postupak je otežan i od radnika se zahtjeva preciznost, te dobro poznavanje nacrta. Radnik je dužan sam doći do potrebnih mjera prateći krajeve spojenih nosača u nacrtu za točno pozicioniranje struka na traku.

Za sklapanje na stolu predviđeno je 47 profila. Sedam profila nisu dio panela već su postavljeni vertikalno na oplatu, dok su ostali horizontalno postavljeni nosači koji idu na limove palube.

Posao sklapanja završen je za tri dana uz prekovremeni rad. Dva montera radila su na sklapanju 30 sati, 10 sati po danu, što znači da je na ovaj proces potrošeno ukupno 60 sati (tablica 10).

7.3. Zavarivanje T profila

Zavarivanje se vrši primjenom poluautomatskog MIG uređaja za zavarivanje (slika 32). Postupak se ne razlikuje puno u odnosu na zavarivanje uzdužnjaka na panel, tako da parametri za zavarivanje mogu ostati isti. Povećanjem brzine zavarivanja se može smanjiti potrebno vrijeme izrade ali se na taj način povećava opasnost od pojave velikih deformacija koje kasnije smetaju u procesu montaže T profila na panel.



Slika 32. Zavarivanje T profila poluautomatskim uređajem za MIG zavarivanje.

Ako postoji sumnja da će zbog dimenzija limova ili jake struje pri zavarivanju doći do neželjenih deformacija materijala, dobro je postaviti na profil dodatna ojačanja kako bi struk i traka nosača zadržali položaj.

U procesu su sudjelovala dva zavarivača kako bi se skratilo vrijeme izrade. Zavarivanje je završeno za dva dana, pri čemu je potrošeno 80 radnih sati (tablica 10). Nakon postupka

zavarivanja T profili se transportiraju u halu za predmontažu gdje će biti postavljeni na panel (slika 33).

	Broj radnika	Trajanje	Potrošeno sati
BRUŠENJE OŠTRIH BRIDOVA	- 1 brusač	10 sati (1dan)	10 sati
MONTAŽA STRUKA NA TRAKU	- 2 montera	30 sati (3 dana)	60 sati
ZAVARIVANJE STRUKA	- 2 zavarivača	40 sati (4 dana)	80 sati

Tablica 10. Izrada T profila – broj utrošenih sati.



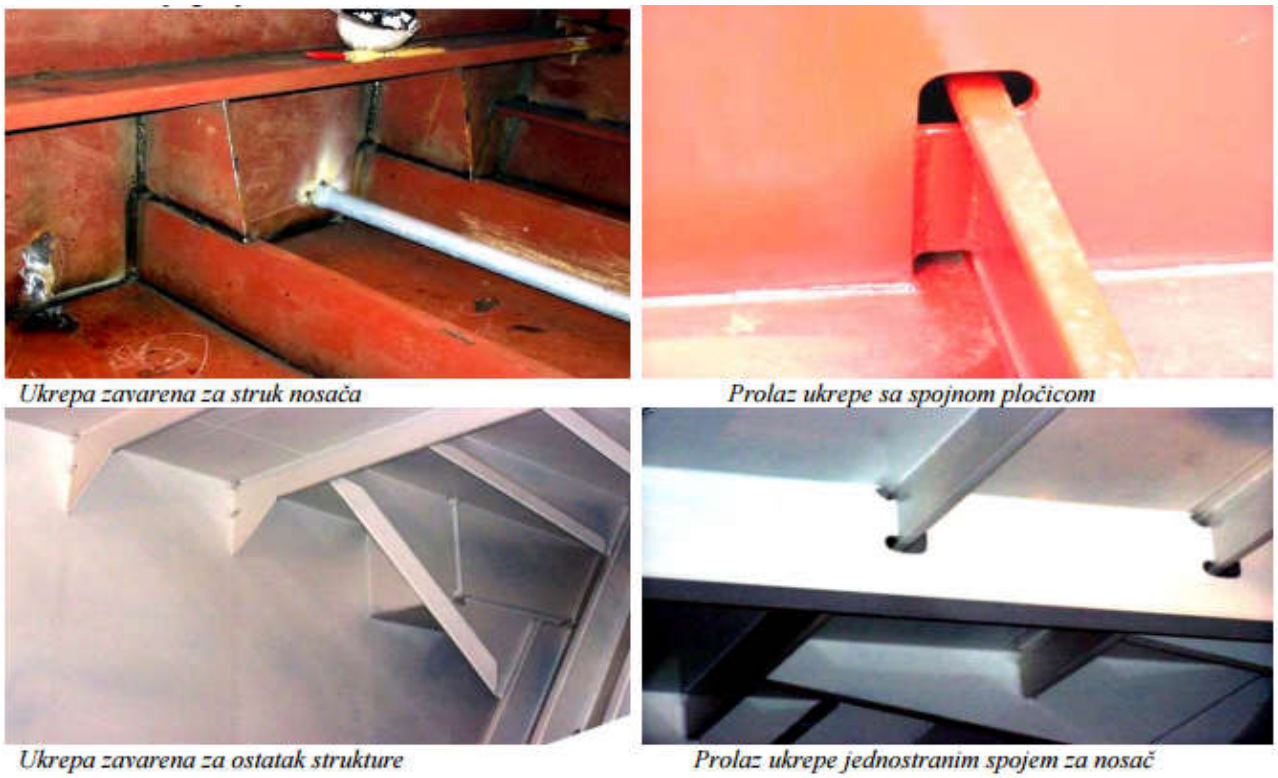
Slika 33. Izrađeni T profili spremni za transport do hale za predmontažu gdje će se montirati na panel.

8. IZRADA PREGRADA

8.1. Ukrepe

Ukrepni elementi kod velikih brodova su najčešće bulb profili i trake. Ukrepljuju se površine limova na koje se sumnja da bi uzdužna naprezanja opteretila materijal na savijanje i dovela do slabljenja konstrukcije. Ovo znači uključuje sve pregradne limove, rebrenice ili koljena većih dimenzija. Kod pregrada ukrepe su većinom raspoređene po rebrima, ako su u pitanju uzdužne pregrade, dok su kod poprečnih pregrada postavljene po uzdužnjacima palube u istoj ravnini. Na taj način opterećenja strukturnih elemenata mogu se neposredno prenositi s jednog elementa na druge podupiruće strukture. Također se pojačavaju mjesta velikih otvora i prolaza.

Ukrepe se na svojim krajevima mogu, ali ne moraju, povezati sa ostatkom strukture na više načina (slika 34). Oslonci krajeva ukrepa kad se veže na sljedeću ukrepu (onu u okomitoj ravnini) ili opločenje pregrade s čije je druge strane ukrepa ostvaruju se koljenima. Tako se dobije kontinuirana struktura što znači da se opterećenja prenose bez naglih promjena u polju naprezanja.



Slika 34. Načini spajanja ukrepa na ostatak strukture.

Oslonci u slučaju kada ukrepa prolazi kroz struk nosača ili pregradu, ostvaruju se spojnim pločicama, zavarivanjem za dio kroz koji prolazi, zavarivanjem za ukrepu ili koljeno ili kombinacijom tih načina.

Ako je ukrepa na svom kraju slobodna i ne veže se za ostatak strukture njezini se krajevi izvode postepenim smanjenjem visine profila – skošene ukrepe (slika 35).



Slika 35. Ukrepe sa skošenjem.

8.2. Značajke male predmontaže

Postupak predmontaže pregrada sastoji se manje više od istih koraka primijenjenih na sklapanju panela. Cilj je da pregrada, kao i panel, bude učvršćena i izravnata pomoću postavljenih profila. Zato pri postavljanju monteri trebaju voditi računa da se ukrepni elementi potpuno oslanjaju na lim. Također je potrebno voditi računa da se ukrepa postavi na točno na njoj predviđenu poziciju (iscrtanu poziciju na limu). U suprotnom će doći do odstupanja od elementa na koje se oslanja.

Postupak je u razvijenijim brodogradilištima automatiziran i sklapanje izvodi stroj (micro panel linija, slika 36). Ipak zbog ograničenja dimenzijama limova koje stroj može prihvatiti, neke dijelove treba napraviti ručno. Proces se odvija u halama sa mosnim dizalicama malih nosivosti i sa manjim brojem radnika. Spojeni dijelovi većinom ne teže više od 2 tone što

olakšava njihov transport iz hale u druge predmontažne hale. Zbog manjih i lakših dijelova za sklapanje, dizalica je potrebna samo u pripremanju limova (slaganju na mjesto rada) i njihovu okretanju ili njihovu transportu iz hale.

Pregrade od više limova tj. ako je u pitanju lim većih dimenzija nego ih stroj za rezanje može izbaciti u jednom komadu ili su dijelovi različitih debljina, prije postavljanja ukrepa limovi se moraju zavariti s obje strane EPP postupkom.



Slika 36. Mikro-panel linija.

Česte greške u ovom djelu procesa javljaju se zbog zanemarivanja i nedovoljnog proučavanja tehničkog crteža (slika 37). Kriva pretpostavka je da postupak koji je maksimalno olakšan označavanjem pozicija montaže i označavanjem dijelova, ne zahtjeva od radnika puno osim slaganja tih elementa na predviđenu poziciju. Upravo zbog toga će se određene greške u samom projektu ovdje prvo vidjeti. Krivo pozicioniranje elemenata kasnije dodatno otežava sastavljanje sekcije i dodatno produljuje proces. Zbog toga je dobro prije postavljanja profila provjeriti poziciju buduće pregrade u odnosu na ostatak konstrukcije i voditi računa o osloncima ukrepa. Najčešće se događa da radnik krivo odredi redoslijed sklapanja nekih elemenata što može dovesti do otežavanja daljnjeg sastavljanja ili će neki elementi smetati u daljnjem procesu montaže te se morati ukloniti (slika 38).



Slika 37. Pogreška pri montaži gdje su ukrepe od trakastih profila okrenute naopako.



Slika 38. Trake na pregradi morale su se rezati nakon što su trake struka nosača priječile njeno postavljanje.

8.3. Montažno spajanje limova pregrada 1370

U slučaju sekcije 1370 predviđeno je sklapanje pregrada od dva lima u većini slučajeva. Budući da se radi o limovima istih debljina razlog zasigurno leži u dimenzijama pregrada koje su prevelike da bi bile izrezane na stroju od jednog komada.

Svi limovi raspoređeni su po hali strateški da zauzimaju što manje prostora. Posao su odradila dva montera koja su također zadužena i za montažno spajanje. Princip rada je isti kao i pri spajanju limova palube osim što je u ovom slučaju riječ o puno manjim limovima te je rukovanje limovima jednostavnije. Na primjer u ovom djelu monteri nisu koristili stezalicu već je limove bilo dovoljno pomicati običnom metalnom polugom. Za poravnanje površine limova korišteni su gafa i klin.

Limovi su skinuti sa prikolice, raspoređeni i spojeni za 12 sati. Točnije dvojici montera je trebao cijeli dan sa četiri prekovremena sata, a posao su nastavili sljedećeg jutra do prve pauze kada je sve bilo gotovo. Ukupno je utrošeno 24 sata rada. Nakon toga može se krenuti na spajanje limova EPP-om.

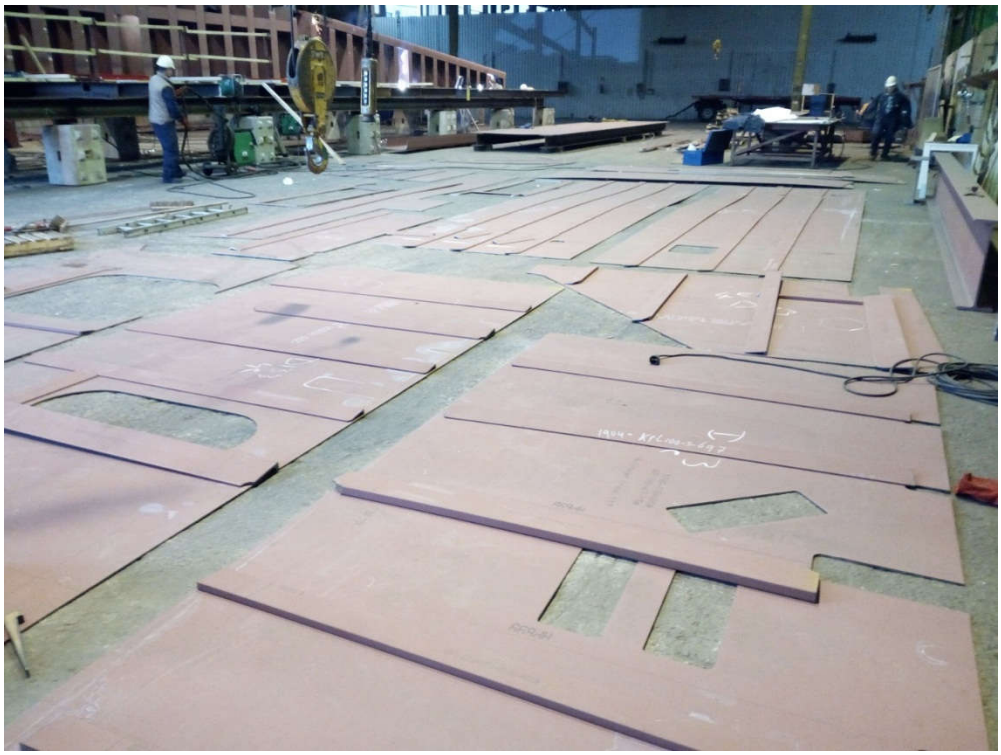
8.4. Zavarivanje limova pregrada EPP postupkom

Postupak zavarivanja se u ovom procesu razlikuje na način da su zavari puno kraći nego kod dugih limova palube. To znači da zavarivač puno češće mora premještati stroj sa mjesta na mjesto i podešavati parametre što oduzima jako puno vremena. U nekim slučajevima na mjesto spoja dolaze otvori zbog čega se spoj dijeli na tri kraća zavara. Da bi izbjegli dva dodatna premještanja stroja, na mjestu otvora postavljeni su tanki limovi preko koji je stroj prešao obavljajući prazan hod (stroj se samo micao no nije obavljao zavarivanje).

Zavarivanje je trajalo dva dana, s tim da su zadnji dan odrađena dva prekovremena sata nakon čega su sve pregrade bile spremne za ukrepljivanje. U proces dodajemo dva montera koji su okretali limove nakon što su zavarani na jednoj strani. Uzimajući u obzir da je približno okretanje jedne pregrade u prosjeku trajalo 15 min, na 8 pregrada i dva radnika potrošeno je dodatnih 4 sata rada. U ovom slučaju čekanje zavarivača nije uzeto u obzir jer je pri okretanju jedne pregrade on mogao zavarivati sljedeću. Ukupno je potrošeno 22 sata.

8.5. Ukrepljivanje pregrada

Proces počinje raspakiravanjem i slaganjem profila na pozicije (slika 39). Većina profila su bulbovi dimenzija 140 x 8 (visina x debljina u milimetrima). Pri postavljanju treba voditi računa o položaju profila, u protivnom se lako može desiti da je krivo okrenut tj. da su zamijenjene pozicije krajeva. Obično je praksa da se na liniji koja predstavlja poziciju na neki način označi na koju stranu se postavlja profil (profil se nikad ne stavlja na sredinu linije), te tada glava bulba treba biti okrenuta na tu istu stranu. Ukoliko je riječ o trakastom profilu jedini način da znamo kako okrenuti profil je da pratimo nacrt osim ako su krajevi ravni, tada je svejedno na koju je stranu profil okrenut.



Slika 39. Limovi pregrada i profili poslagani na pozicije.

Montaža ravnih profila otežana je neravninama na betonskoj podlozi hale koja inače nije namijenjena za malu predmontažu. Profili neće u potpunosti nalijegati na površinu lima zbog čega će monteri morati puno češće koristiti naprave kako bi lim izravnali. Budući da u ovom slučaju uređaj za ravnanje magnetom i pumpom koji smo koristili kod postavljanja uzdužnjaka na panel nije primjeren zbog puno kraćih profila, te bi premještanje stroja na ovako velikom broju ukrepa oduzelo previše vremena, monteri su koristili pomoćne naprave i klinove.

Da bi se proces ubrzao na posao montaže su raspoređena dva para montera. Za predmontažu je ukupno utrošeno 40 sati rada, u vremenskom trajanju od 10 sati tj. radni dio dana plus dva sata prekovremena. Ukupno je potrošeno 160 sati.

8.6. Zavarivanje ukrepa

Zavarivanje se može kod dužih profila izvesti pomoću automata, dok se kod kraćih izvodi ručnim zavarivanjem MIG postupkom. U principu nije bitno da li će zavari biti ostvareni automatom ili ručno budući da se radi o istom postupku zavarivanja. Bitna razlika može biti samo u jednostavnijem izvođenju procesa. Odgovornost je na projektnim uredima da odrede koji postupak će biti primijenjen na određenim mjestima, no često u praksi poslovođe i voditelji zavarivača sami odrede koje bi profile bilo dobro zavariti ručno, a koje automatskim uređajem.

U ovom je djelu poželjno ostvariti dobru komunikaciju između zavarivača i montera radi dogovora oko zavarivanja. Na primjeru pregrade na rebru 120 (limovi 32 i 33) vidimo da bi prolazu automatskog uređaja smetali kratki profili koji povezuju vertikalne ukrepe tako da ukoliko se inzistira na takvom tipu zavarivanja, montažu tih kraćih profila treba odgoditi. To znači da će se monteri morati vratiti kad zavarivanje dužih profila bude gotovo. Na taj način skratilo bi se vrijeme zavarivanja, ali bi se vrijeme provedeno na montaži dodatno produžilo.

Teško je pronaći najprimjereniji način za izvođenje ovog procesa, a puno toga ovisi o kvaliteti radnika, zavarivača i montera, te kvaliteti i ispravnosti uređaja koji se koriste za automatsko zavarivanje. U našem slučaju odlučeno je da će svi poslovi montaže biti odrađeni do kraja, nakon čega će se pristupiti zadovoljavajućim postupcima zavarivanja.

Dijelove koji su zavareni ručno potrebno je prebrusiti kako bi se uklonile neravnine i prskotine nastale u toku procesa. Nepravilnosti također mogu nastati varijacijama struje u uređaju za zavarivanje ili nepravilnim kretanjem uređaja. Te dijelove isto treba brusiti kako bi zavar bio ravan i čist. Prilikom zavarivanja radnici su vodili računa da krajevi zavara (do oko 300 mm) ostanu slobodni (slika 40).

Četiri zavarivača su sudjelovala u procesu, s tim da je jedan od njih bio zadužen za zavarivanje automatom. Proces je trajao pet dana tj. 50 sati zajedno sa prekovremenim radom. Potrošeno je ukupno 200 radnih sati. U to vrijeme ulazi i vrijeme brušenja budući da je svaki

od zavarivača bio zadužen da sam popravi i oblikuje zavar nakon što je gotov. Razlog tomu je nedostatak brusača.



Slika 40. Krajevi profila koji su ostali ne zavareni za slučaj da ih bude potrebno podešavat na mjestu spoja.

9. SKLAPANJE SEKCIJE

9.1. Postolje

Da bi se pojednostavila gradnja i kasnije montaža na brod, sekcije se sklapaju naopako, počevši od palube na koju se slažu elementi koji su sa njene donje strane (slika 41). Na taj se način svi spojevi koji se nalaze u gornjem djelu sekcije zavare u hali za predmontažu dok su na tlu, a prilikom montaže na brod kad se sekcija okrene u svoj prirodan položaj ostaju samo donji spojevi. U principu se radi tako da se zavarivanje uvijek izvodi na tlu, a što manje nadglavno. Prilikom sklapanja od iznimne je važnosti voditi računa o mjerama počevši od ravnine palube. Neravan teren i iskrivljen položaj palube tokom gradnje sekcije otežat će postavljanje pregrada i njihovo međusobno spajanje, a nakon zavarivanja sekcija će imati iskrivljen oblik koji ne samo da će otežati montažu nego može odstupati od ostalih dimenzija broda što je budućem vlasniku broda, kao i klasifikacijskom društvu, neprihvatljivo.



Slika 41. Prikazuje sekciju broda sa montiranim uzdužnjacima, okvirnim nosačima i pregradama koji su sa njene donje strane.

Druga stvar o kojoj treba voditi računa je način na koji će se sekcija iznijeti van iz hale. Jednom kad je sekcija sklopljena i zavarena zbog veličine i težine njezino premještanje će biti moguće samo snažnim transportnim strojevima kao što su velike dizalice, kamioni i samohodne

prikolice velikih nosivosti. Sekcija prije svega mora biti na pristupačnom mjestu. U suprotnom može doći do komplikacija koje će zahtijevati veoma skupa rješenja kao što su rastavljanje hale i slično. Stoga odabir mjesta na kojem će se sekcija raditi mora biti dobro isplanirano (slika 42 i 43).



Slika 42. Sekcija broda postavljena do visine dizalice što je stvaralo problem pri postavljanju gornjih pregrada. U ovom slučaju također možemo primjetiti da je sekcija građena na betonskim blokovima naopačke.



Slika 43. Sekcija krmenog zrcala koja je zauzela sav prostor u hali.

Prednja strana hale u kojoj se radi sekcija 1370 napravljena je tako da se može podići poput vrata i omogućiti slobodan prolaz sekcije. Sekcija se može iznijeti poluprikolicom sa hidrauličkim upravljanjem opremljenom ili zračnim ovjesom ili hidrauličkim izjednačavanjem osovine, ili sa samohodnim prikolicama ovisno o načinu transporta do mjesta montaže. Prije sklapanja sekcije zato treba voditi računa o visini prikolice i postolje podići kako bi prikolica mogla proći ispod. Za to smo koristili dovoljno visoke kamene blokove.

Kako bi sekcija bila ravna na blokove smo postavili duge nosače koji će se pružati čitavom širinom. Nosači su načinjeni od H profila visine 300 mm, dovoljno jakih da se neće savijati pod teškim teretom. Za svaki slučaj, blokovi na kojima će stajati nosači i sekcija su strateški smješteni na ključna mjesta kako bi sekcija ostala ravna. Naravno da blokove i nosače nije primjereno staviti na dijelove sekcije na kojima je praznina tj. na kojima ne postoji nikakva konstrukcijska snaga, nego na mjestima križanja jakih nosača ili pregrada gdje je konstrukcija najjača. I dalje treba imati na umu širinu prikolice koja će morati proći ispod i iznijeti sekciju van (slika 44).



Slika 44. Blokovi i dugi nosači na koje se postavlja paluba.

Nakon što su blokovi razmješteni i nosači postavljeni na njih, laserom smo provjerili dali su svi nosači u istoj horizontalnoj ravnini (slika 45 gore). Na mjestima je bilo potrebno između kamenog bloka i nosača postaviti drvene klinove kako bi podesili visinu nosača (slika 45 dolje). Tek kad su svi nosači bili podešeni na njih smo postavili palubu, okrenutu naopako (slika 46).



Slika 45. Laser korišten za poravnanje nosača (gore), blokovi sa klinovima na kojima stoji nosač (dolje).



Slika 46. Postavljanje panela.

Za cijeli proces namještanja postolja bila su potrebna dva montera. Blokove su rasporedili koristeći viličar budući da je dizalica puno sporija. Za podizanje nosača zbog njihove veličine morali su koristiti dizalicu. Posao je obavljen tokom radnog dana, što znači da je na svakog montera potrošeno 8 sati, ukupno 16 sati.

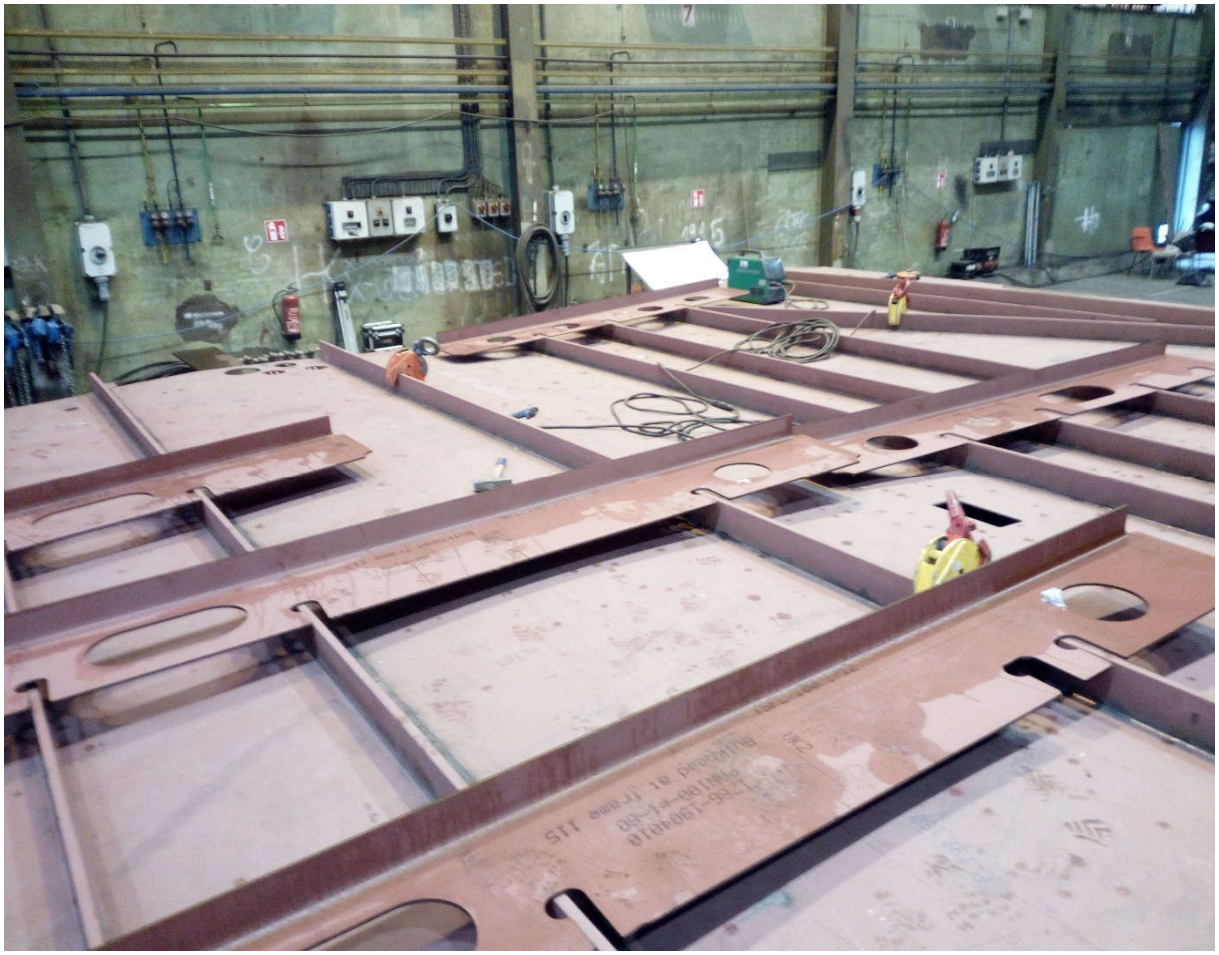


Slika 47. Panel nakon što je smješten na postolje.

Prije postavljanja blokova trebalo je proučiti nacrt kako bi blokove mogli strateški rasporediti na ključne pozicije. Najbitnije je da pružaju oslonac mjestima gdje se nalaze velike pregrade. U protivnom lim palube i pregrada propadaju na mjestu postavljanja što otežava montažu i dovodi u pitanje ravninu palube (slika 47).

9.2. Postavljenje T profila

Postavljanje T profila u principu je isto kao i postavljanje uzdužnjaka. Prvo su dizalicom svi profili poslagani na mjesta montaže (slika 48). Za svaki komad postoji iscrtana linija i naznačena oznaka na palubi koja predstavlja njegovu poziciju. Profil treba postaviti na palubu tako da se istisne sav međuprostor između njih. Na njihovom postavljanju radila su dva montera. Jedan monter je pridržavao komad i namještao ga na poziciju, dok drugi pričvršćuje komad na poziciju kratkim zavarima (ovdje se također radi o točkastim zavarima).



Slika 48. Nosači poslagani na pozicijama spremni za montažu.

U ovom djelu procesa dolazi do izražaja problem oko nepravilnog postavljanja panela na postolje. Kao što vidimo na slici, gredni nosači na kojima je paluba i uzdužnjaci su postavljeni paralelno što je rezultiralo velikim neravninama na dijelovima bez potpore (slika 47).

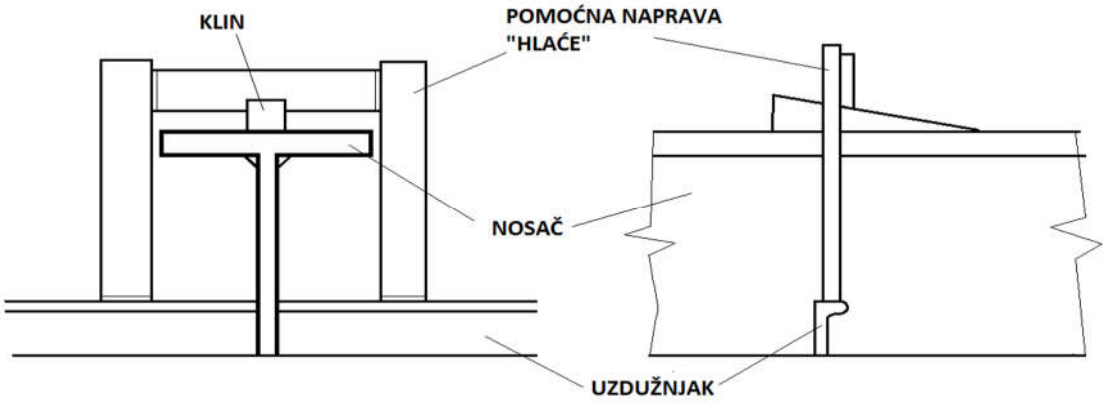
Prvo se postavljaju poprečni profili. Za ovakav način rada ne postoji osobit razlog i posao bi jednako dobro išao i da se radi obratno, ali u ovom slučaju kada dođu na red uzdužni nosači koji su puno veći i duži imat će za oslonac već postavljene poprečne nosače, tako da ne postoji opasnost od njihova prevrtanja (slika 49). Nemojmo zaboraviti da se ovdje radi o uzdužnoj gradnji. Uzdužni su elementi prolazni koji se pružaju cijelom dužinom sekcije bez prekida, na koje se vežu isprekidani poprečni elementi.



Slika 49. Kraći poprečni nosači između kojih će se postaviti dugački uzdužni nosači.

Ni u ovom slučaju ne možemo koristiti magnetni uređaj sa pumpom za stiskanje. Jedan od razloga je veća sila pritiska koja je potrebna da bi podigla neravni dio palube, a koju magneti ne bi mogli podnijeti. Monteri su zato napravili priručno sredstvo od viška materijala koje će poslužiti. Radi se o dobro znanim „hlaćama“ koje se inače koriste u brodogradnji za

postavljanje T profila. Hlaće se postave na glave uzdužnjaka i zavare tako da obuhvate profil sa gornje strane. Nabijanjem klina preko T profila, ispod hlača, smanjuje se međuprostor između palube i nosača (slika 50).



Slika 50. Upotreba pomoćne naprave kod postavljanja T profila.

Međuprostor između lima i profila u ovom slučaju možemo istisnuti i pumpom smo što u tom slučaju moramo ostaviti više prostora iznad trake T profila kako bi je mogli postaviti. Hlaće se postavljaju na mjestu gdje su najpotrebnije, a to ja na uzdužnjacima. Već smo spomenuli kako zavar na mjestima uzdužnjaka povuće lim unutra. Na nekim mjestima je bilo potrebno postavljat ručnu dizalicu ispod palube kako bi lim podigli jer je bila previše pao između nosača.

Kad su svi poprečni profili postavljeni, između njih postavljamo uzdužne profile. Ovaj dio posla je nešto lakši jer oni ne prelaze preko uzdužnjaka i nalaze se na ravnim dijelovima palube. Mjesta križanja gdje se uzdužni i poprečni profili dodiruju, zavaruju se zadnji. Nakon što su svi profili pričvršćeni za palubu vodoravnim zavarima od velike je važnosti provjeriti još jednom laserom da li je paluba u ravnini. Često se u toku rada dogodi da se paluba podigne ili propadne na nekom djelu. Tek nakon što smo sigurni da je ravnina ponovno postignuta zavarujemo i vertikalne dijelove spoja.

Na postavljanje svih T profila na palubu, dvojici montera bilo je potrebno četiri dana s prekovremenim radom. Točnije na posao je potrošeno 40 sati po monteru, što je ukupno 80 radnih sati ukupno potrošenih u procesu.



Slika 51. Prikaz palube nakon što su postavljeni nosači.

9.3. Zavarivanje T profila

Proces zavarivanja može početi odmah nakon što je profil pričvršćen za palubu. Bitno je organizirat ljude na taj način da ne smetaju jedni drugima u radu. Dobro je pustiti montere da se odmaknu na drugi kraj palube kako bi zavarivač mogao raditi bez ometanja. Svjetlo koje nastaje zavarivanjem može oštetiti vid i nerijetka je pojava pogotovo u predmontaži da montere isti dan bole oči od previše svjetla.

U ovom procesu ima jako puno posla za zavarivače i sa dovoljno kvalitetnim parom montera, tri ili četiri zavarivača bi trebala sudjelovat u ovom procesu. Zavaruju se prvo vodoravni spojevi profila na palubu, vertikalni spojevi T profila na uzdužnjacima, zaokruženja, a tek kad smo sigurni da je paluba ravna vertikalni spojevi na drugim T profilima, sučelni spojevi na trakama od T profila i nadglavni zavari na trakama uzdužnih nosača.

Odrediti ukupnu dužinu zavara u ovom slučaju bi bilo dugotrajno i teško. Pogotovo kad su u pitanju vodoravni, vertikalni i djelom nadglavni zavari. U ovakvim se slučajevima rukovoditelji koji su nadležni za zavarivanje mogu osloniti samo na iskustvo, što često predstavlja problem. Pa i onda uvijek postoji sumnja da se posao mogao napraviti brže. Zavarivanje je proces koji treba vremena i požurivanjem zavarivanja može se dobit više lošeg nego dobrog. Na primjer, brže zavarivanje zahtjeva veće parametre, materijal se tada više krivi i može doći do velikih odstupanja od željene pozicije.



Slika 52. Prikaz zavarenih nosača od T profila.

Za vrijeme trajanja ovog procesa monteri su započeli sa montažom pregrada, tako da se osim T profila također mogu zavariti i pregrade na palubu. To znači da u jednom djelu dolazi do isprepletanja 3 procesa – montaže pregrada, zavarivanje T profila i zavarivanje pregrada. Dok je sate za montažu pregrada lako izdvojiti jer se radi o drugačijem procesu i radnicima, pri zavarivanju T profila i pregrada su korišteni isti radnici. Stoga je prilično teško odrediti kako je točno raspoređeno 240 sati ukupno potrošenih u oba procesa. Međutim oslanjajući se na iskustvo i tehnički nacrt, te uzimajući u obzir da kod pregrada ima puno više vertikalnih spojeva, možemo sa velikom sigurnošću pretpostaviti da je 60-65% ukupnih sati potrošeno na njihovo zavarivanje. Sate za zavarivanje jednog i drugog izračunat ćemo tek nakon što svi profili i pregrade budu postavljeni.

9.4. Montaža pregrada

Kod montaže pregrada uvijek je dobro stvoriti strategiju kako se ne bi desilo da si zatvorimo put postavljanja one sljedeće i otežamo posao. Pregrade su nakon ukrepljivanja lagano zakrivljene prema ukrepama jer ih je zavar deformirao. Prije postavljanja pregrada dobro je postaviti na gornju stranu (koja se montira na palubu) neko pojačanje tj. komad bulb profila koji nam ne treba, na taj način će pregrada ostati ravna pri postavljanju i imat ćemo manje posla oko njenog smještanja na poziciju. Jedna od mogućnosti je predgrijavanje pregrada. Predgrijavanje je postupak grijanja mjesta zavarenih ukrepa sa suprotne strane lima (slika 53). Na taj način se napetost u zavaru popušta i lim se vrača u ravan položaj. Ni jedan od ovih postupaka ispravljanja nije neophodan, te ga ne moramo provesti ukoliko mislimo da ne postoji potreba. Limovi se lako mogu ispravljati i pri samom postavljanju.

Pregrade se zahvaćaju sa dva ili četiri zuba ovisno o njihovoj veličini i ostaju zakvačene za dizalicu tokom njihova postavljanja (slika 54 gore). Tek kada je pregrada u potpunosti montirana na palubu, i ako postoji potreba osigurana od prevrtanja na neki drugi način, smijemo je otkvačiti sa dizalice (slika 54 dolje).



Slika 53. Pregrijana pregrada.



Slika 54. Postavljanje pregrade dok traje proces postavljanja (gore) i nakon što je proces završen (dolje).

Postoji mnoštvo načina na koji se pregrada može postaviti na palubu, ali svaki od njih se svodi na isti princip – pregradu je potrebno pozicionirati na liniju i istisnuti međuprostor ispod nje. Budući da su pregrade puno veće i teže za rukovanje, naprave koje smo koristili za postavljanje profila ne mogu nam koristiti. Jedan od načina je pritezanje pregrade sa dizalicama

na lance ili parancima dok se paluba ne izravna (slika 55 gore). Još jedna od tehnika ravnanja palube je podizanje na upadnutim mjestima (slika 55 dolje).



Slika 55. Postavljanje pregrada na palubu pomoću paranka (gore), postavljanje pregrada pomoću paranka i podizanjem palube pomoću ručne dizalice (dolje).

Nakon što su pregrade montirane na palubu, treba montirati vertikalne dijelove gdje se pregrade naslanjaju na drugu pregradu (slika 56), ali prije toga treba biti siguran da je paluba u

ravnini. Na mjestima gdje nema oslonca od ispod, paluba ponekad od težine pregrade ulegne. Ako ne primijetimo to na vrijeme i zavarimo vertikalne spojeve pregrada, paluba će ostati neravna.



Slika 56. Vertikalni spoj dviju pregrada.

U ovaj proces montaže pregrada uključili smo još jedan par montera. Posao je završen nakon 4 dana prekovremenog rada, tijekom kojih je potrošeno je 160 radnih sati.

9.5. Uzvojni limovi

Oplata broda nije cijelim djelom ravna. Ispitivanjem hidrodinamičkih svojstava, složenim računima usklađenim sa funkcijom broda i zahtijevima vlasnika, inženjeri dolaze do oblika plovnog djela broda. O obliku oplate ovisi njegova plovnost, brzina, potrošnja goriva, stabilnost i sl. Dijelovi oplate koji nisu ravni nazivaju se uzvoji. Uzvoji se prije dolaska na predmontažu moraju saviti kako bi dobili oblik predviđen pri osnivanju. Većinom se radi o limovima pramčanog i krmenog djela broda te vanjskim dijelovima dvodna. Limovi oplate 1200 i 1202 imaju blagi uzvoj i dovoze se u halu tek nakon savijanja. Profili koji čine okvire – T profili i uzdužni bulb profili koji se vežu na uzvojnu oplatu također moraju slijediti linije uzvojne linije.

Princip ukrepljivanja uzvojnih oplata je nešto drugačiji. Za razliku od ravnih dijelova oplate koji prvo budu ukrepljeni uzdužnjacima, nakon čega se postavljaju okvirna rebra, a potom cijeli zavareni sklop spaja sa palubom, kod uzvoja je proces obrnut. Većinom se radi na način da se na palubu postave okviri od T profila, a potom uzdužni profili koji prolaze kroz okvire. Tek onda se oplata navlači na postavljene okvire i uzdužnjake. Limove oplate teško je saviti točno na predviđenu mjeru te kod njih postoje određena odstupanja od planiranog oblika. Ista stvar je i sa uzdužnjacima koji su u ovom slučaju savijeni bulb profili. Spajanjem krivo savijene oplate sa krivo savijenim bulb profilima rezultirat će gotovom oplatom koja nema oblik koji bi trebala imati. S druge strane, okvirni profili izrezani su u rezaonicama i njihov je oblik puno preciznije napravljen. Izravnati krivo savijenu oplatu postavljanjem okvira bit će iznimno teško kad je ona već ukrepljena uzdužnjacima. Ako se prisjetimo limovi su upravo zato i ukrepljeni kako bi zadržali oblik koji im je namijenjen. Međutim ako se prvo postave dijelovi za koje smo sigurni da su dobri tj. okvirna rebra, zatim na njih postavimo jednu po jednu ukrepu. Lim uzvoja iako je krivo savijen neće biti problem prilagoditi već postavljenim okvirima i ispravljenim uzdužnjacima. Negativne karakteristike ovakvog načina rada su puno više posla za zavarivače koji u ovom slučaju sva rebra i uzdužnjake moraju zavarivati ručno u vertikalnom i nadglavnom položaju.

9.6. Ukrepljivanje oplate 1200 i 1202

U slučaju sekcije 1370, proces sa pokušao ubrzati na način da se zavarivačima olakša te je cijela oplata rađena na tlu. Uzdužnjaci su postavljeni i zavareni automatom. Prilikom postavljanja uzdužnjaka monteri su vodili računa o kutu nalijeganja profila na lim. Uzdužnjaci i drugi ukrepni profili osmišljeni su tako da ojačaju krutost u određenom uzdužnom ili poprečnom presjeku broda. Kada se lim na brodu nalazi pod kutem elementi na njemu i dalje moraju imati usmjerenje poput drugih elemenata inače se ne bi mogli povezati i ostvariti čvrstu mrežu nosača. Ukoliko je ukrepni element slobodan tj. ako se njegovi krajevi ne spajaju na ostale elemente strukture onda on može zauzeti slobodan položaj.

Montaža i zavarivanje uzdužnjaka na uzvoj trajalo je tri dana uz prekovremeni rad. Ukupno je za cjelokupni proces montaže i zavarivanja potrošeno 60 sati. U procesu su sudjelovali 1 zavarivač i 2 montera.

9.7. Postavljanje okvira na uzvojnom djelu

Okviri su načinjeni od T profila postavljenih na svako treće ili četvrto rebro. U našem je slučaju riječ o 5 profila na rebrima 118, 121, 124, 128 i 130. Na rebrima 115, 120 i 126 nalaze se pregrade. Dva su montera okvire dizalicama doveli na mjesto montaže i dobro pričvrstili zavarima. S obzirom da u nacrtu ne postoje mjere po kojima bi se ravnali, prilikom postavljanja su vodili računa da donji dio profila (gornji dio sada kada je sekcija okrenuta naopako) otprilike prate zamišljenu liniju kojom će prolaziti oplata. To u ovom slučaju i nije jako bitno budući da se okviri neće zavarivat dokle god uzdužnjaci i oplata ne budu postavljeni, a mi ne budemo mogli vidjeti formu koju će uzvoj zauzeti kad bude gotov. Ukoliko bude potrebno lako će se kasnije skinuti zavari kako bi se pojedini okvir mogao prilagoditi. Uostalom odstupanja ne bi trebala biti velika budući da su okviri rezani na stroju koji je sam po sebi već dovoljno precizan.

Za postavljanje okvirnih profila dvojici montera bilo je potrebno 2,5 sati, što znači da je 5 sati ukupno potrošeno u procesu.

9.8. Montaža oplate

Nakon što su uzdužnjaci na limovima uzvoja 1200 i 1202 zavareni, a okviri postavljeni, može se izvesti montaža oplate. Prvo se postavlja donji lim koji monteri dizalicom dovedu i namjeste u položaj, nakon čega se limovi ručnim dizalicama na lanac od 5 tona navlače kako bi potpuno sjeli na okvir. To je zato što limovi i uzdužnjaci na njima ne mogu biti tako precizno savijeni nego ih se mora prilagodit okvirima. Postavljanje lima uzvoja 1200 dodatno je otežano u ovom slučaju zbog čega su monteri morali upotrijebiti još tri ručne dizalice, a na krajevima gdje je uzvoj više odstupao od mjere morali su pregrijavat lim izvana i uzdužne profile. Također se moralo rezati prolaze na pregradama i okvirima sa gornje strane jer kut nagiba uzdužnjaka nije odgovarao te uzdužnjak nije mogao proći i nasjest u prolaze. Kad bi lim potpuno sjeo na okvire, uzdužnjaci ušli u utore izrezane na okvirima i pregradama, a uspravan položaj okvira pratio linije označene na oplati, oplata se zavari jakim točkastim zavarima za okvir s obje strane kako bi bili sigurni da zavar neće popustiti pod velikom silom.

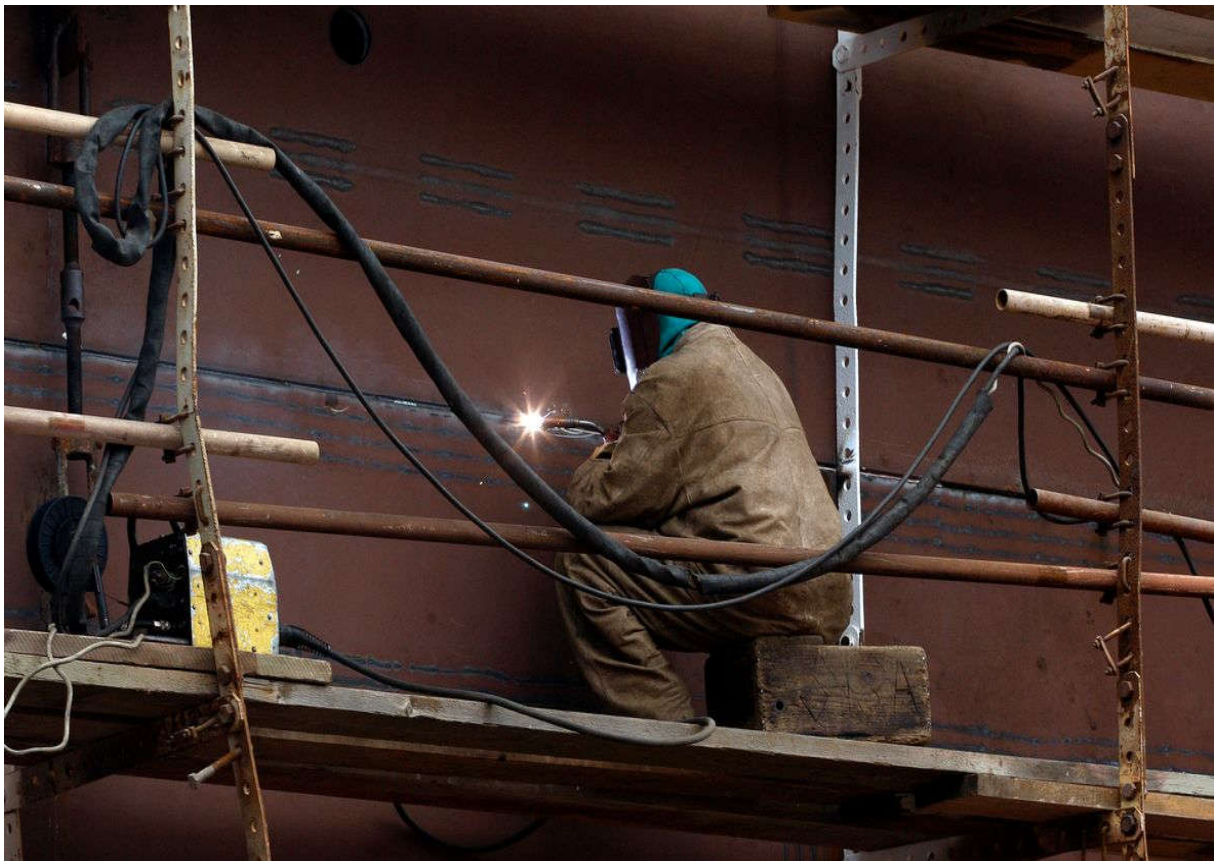
Budući da se sučelni spojevi uzvojnih limova (u našem slučaju 1200 i 1202) zavaruju uz pomoć keramike monteri su prilikom montaže vodili računa da razmak u korijenu spoja bude 7 do 10 mm. Takvi se sučelni spojevi pri montaži ne spajaju jedan za drugi točkastim zavarima na mjestima spoja. Jedan od razloga je prevelik razmak koji bi monterima bilo komplicirano zavariti elektrodom. Tako izvedeni kratki zavari također bi smetali pri postavljanju keramike, a što je najbitnije prilikom kompletnog zavarivanja utjecalo bi na kvalitetu tog dijela spoja. Nemojmo zaboraviti da se ovdje radi o oplati broda koja čini granicu između unutrašnjosti broda i vode. Priprema zavara na tim spojnim mjestima mora biti izvedena na način da omogući zavarivačima da obave posao najbolje što mogu. Stoga se u ovakvim slučajevima prilikom montaže limovi prihvaćaju jedan za drugi „mostovima“, komadima lima postavljenima u određenim razmacima (30 do 50 mm) koji su napravljeni tako da ostavljaju slobodan prostor oko korijena za postavljanje keramičke podloge.

Na montaži oplate dva su montera radila tri dana, pri čemu je ukupno potrošeno 48 sati.

9.9. Zavarivanje oplate

Nakon što je dio posla obavljen na tlu za zavarivanje su ostali spojevi okvira na palubu, vodoravni spoj ruba palube sa oplatom, vertikalni spojevi okvira sa uzvojem, mjesta prolaza uzdužnjaka kroz pregrade i okvirna rebra, te sučelni spoj dviju oplata. Na mjestima prolaza gdje

se uzdužnjak veže za okvir je ostao razmak uzrokovan nedostatkom izrezanog djela tako da su na tim mjestima zavarivači morali potrošiti malo više vremena. Razmaci su ostali i na nekim dijelovima vertikalnog spoja okvira sa oplatom jer je oplata bila previše deformirana da bi se mogla navući do kraja.



Slika 57. Postupak zavarivanja oplate.

Postupak zavarivanja sučelnog spoja dviju oplata, nakon što je postavljena keramička podloga, ostvaruje se MIG postupkom u nekoliko šavova navarenih jedan na drugi (slika 57). Prvim prolazom dobiva se provar – korijen zavara. Nakon što je provar ostvaren sa jedne strane, sa suprotne strane žljeba dobije se ujednačen i ravan korijen koji poprimi oblik keramičke podloge, stoga zavarivanje na toj strani nije više potrebno, a keramika se može ukloniti. Ovakav postupak zavarivanja najviše služi povećanju produktivnosti te pojednostavljenju procesa zavarivanja. Njime se dobiva kvalitetan zavareni spoj bez žljebljenja korijenskog zavara, a zavarivanje korijena izvodi se jačom strujom, pa je i brzina zavarivanja veća.

U procesu su sudjelovala tri zavarivača, koji su nakon zavarivanja oblikovali neravne dijelove kutnom ili ravnom brusilicom. Bitno je napomenuti da je na brušenje potrošeno više vremena nego inače zbog loše izrađenih priprema na spojevima i nepovoljnog položaja radnika pri zavarivanju. Proces je trajao tri dana, a potrošeno je ukupno 90 sati.

Zavarivanje oplate je bio posljednji korak u procesu sklapanja sekcije nakon čega se pristupilo montaži završnih elemenata sekcije – koljena, zakrpe, spojne pločice, stupovi. Nakon što je sekcija sklopljena na cjelokupni je proces potrošeno 699 sati (tablica 11).

KORACI U PROCESU SKLAPANJA SEKCIJE	BROJ RADNIKA	TRAJANJE	POTROŠENO SATI
Namještanje postolja	2 montera	1 dan	16 sati
Montaža T profila	2 montera	4 dana (+)	80 sati
Montaža pregrada	4 montera	4 dana (+)	160 sati
Ukrepljivanje uzvoja	2 montera, 1 zavarivač	3 dana (+)	60 sati
Montaža okvrnih rebara oplate	2 montera	2,5 sata	5 sati
Montaža oplate na okvirna rebra	2 montera	3 dana	48 sati
Zavarivanje pregrada I T profila	3 zavarivača	5 dana (+)	240 sati
Zavarivanje oplate	3 zavarivača	3 dana (+)	90 sati
SVEUKUPNE VELIČINE U PROCESU SKLAPANJA	4 montera, 4 zavarivača	10 dana	699 sati

Tablica 11. Prikaz cjelokupnog procesa sklapanja sekcije.

10. POSTAVLJANJE KOLJENA, ZAKRPA I STUPOVA – ZAVRŠAVANJE SEKCIJE

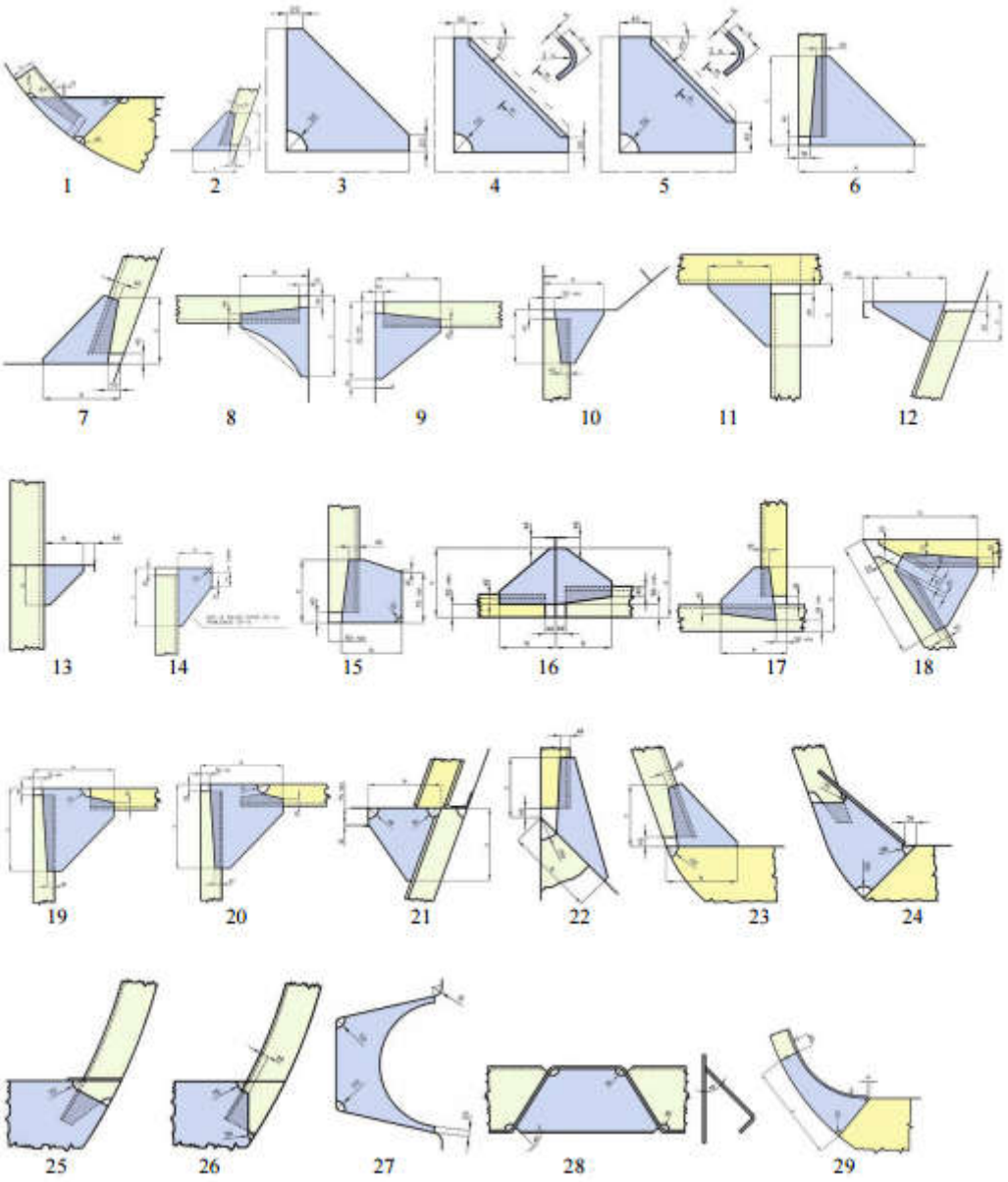
10.1. Koljena

Koljena su vezni elementi strukture koji povezuju dva ili više nosača međusobno ili na ostatak konstrukcije i imaju značajnu ulogu u brodskoj strukturi (slika 58 i 59). Njihova uloga je:

- povećanje površine poprečnog presjeka i momenta tromosti nosača na krajevima, što smanjuje smična i normalna naprezanja uslijed savijanja,
- smanjuje koncentraciju naprezanja na krajevima,
- pojačavaju spojne dijelove nosača sa ostatkom strukture, te na taj način smanjuju efektivan raspon nosača, te momente savijanja u njegovoj sredini,
- sprečavaju stvaranje mehanizma loma na krajevima okvira,
- povećavaju geometrijska svojstva presjeka na krajevima nosača.



Slika 58. Koljena pripremljena za montažu. Ako bolje pogledamo na njima se vide otisnute oznake, broj sekcije i gradnja.

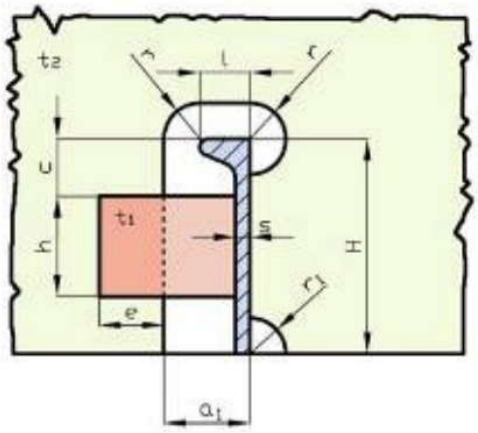


Slika 59. Skice raznih koljena, prema normama Hrvatskih brodogradilišta.

10.2. Zakrpe, spojne pločice i stupovi

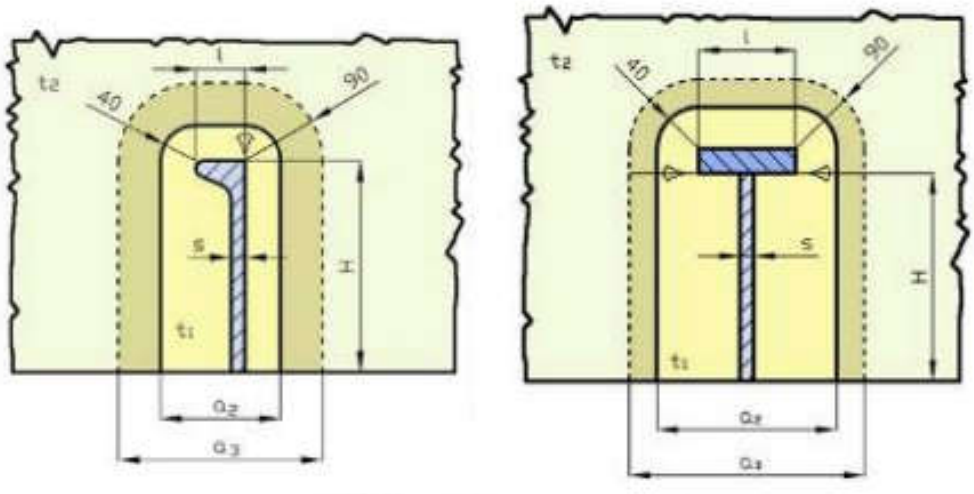
Spojne pločice se stavljaju na mjestima prolaza elementa kroz struk nosača ili pregrade, a služe kako bi povezali element sa ostatkom strukture. Koristi se na propusnim dijelovima strukture. Debljina pločica ne smije biti manja od djela strukture za koji se veže, a dimenzije su određene tako da dužina preklopnog djela pločice bude duplo veća od njene širine. Postoje

razne izvedbe pločica, a kod velikih brodova najčešće se koriste obične kvadratne jednostrane pločice, kao i u slučaju sekcije 1370 (slika 60).



Slika 60. Spojna pločica koja povezuje uzdužnjak koji prolazi kroz pregradu sa ostatkom strukture.

Zakrpe su u principu slične spojnim pločicama s tim da se zakrpe koriste kod nepropusnih dijelova strukture jer zatvaraju prolaz u potpunosti (slika 61). Kod zakrpa je bitno da se postave tek nakon što je struktura na koju se vežu zavarena jer se nakon njihova postavljanja iza preklopnog djela više neće moći zavariti. Da bi se mogle smjestiti na profil potrebno ih je prerezat u dva djela. Kad se izvodi zavarivanje zakrpe, ta dva djela se ponovno zavare kao jedan.



Slika 61. Tip spojnih pločica često korištenih u brodogradnji.

Stupovi su potporni dijelovi koji podupiru palubu. Postavljaju se na mjestima nosača, u našem slučaju na uzdužni nosač 6300 od CL. Mjesto spoja stupa i donje palube izvodi se sa pločom. Stup nikad ne stoji direktno na palubi radi smanjenja koncentracije naprezanja. Na gornju palubu stup se nadoveže preko križnog spoja nosača na kojem je dijamant (slika 62).



Slika 62. Stup spojen sa gornjom palubom preko dijamant ploče i koljena.

10.3. Montaža

Ovom djelu ukupnog procesa izgradnje sekcije pristupa se nakon što su svi ostali konstrukcijski elementi postavljeni. Njihova montaža je jednostavniji dio procesa za koji nisu potrebne dizalice ili drugi teški alati. Osim u slučaju postavljanja stupova jedini alat potreban monterima je uređaj za zavarivanje i u nekim slučajevima monterski čekić. Određivanje pozicije ovih elemenata izvodi se pomoću nacrta i tehničke dokumentacije. Oznake elemenata nisu naznačene na limovima kao ni linije koje označavaju poziciju, stoga je dobro za posao montaže zadužiti radnika koji nema problema sa razumijevanjem nacrta.

Stupovi su na mjesto postavljanja dovezeni pomoću dizalice. Prilikom montaže da bi ostvarili uspravan položaj stupa monteri su koristili vaser vagu. Nakon što je stup pričvršćen postavljena su koljena i pristupilo se zavarivanju.

Na poslovima montaže i popravaka četiri su montera radila 3 dana. Potrošeno je ukupno 120 sati.

10.4. Zavarivanje

Zavarivanje u ovom dijelu procesa nije komplicirano, ali oduzima puno vremena. Budući da je riječ o puno manjih elemenata u pitanju je puno kratkih zavara koji iziskuju nepravilan položaj tokom izvođenja i stalno premještanje zavarivača sa mjesta na mjesto.



Slika 63. Zavarena koljena.

Srećom priroda ovog djela procesa je takva da mogu uključivati veći broj zavarivača jer su elementi razmješteni cijelom sekcijom i ne postoji opasnost da će smetati jedni drugima. Iz tog razloga u proces smo uključili četiri zavarivača koji su posao završili za 4 dana sa prekovremenim satima. Potrošeno je 160 radnih sati (slika 63).

11. OPTIMIZACIJA PROCESA

11.1. Svrha optimizacije

Kada govorimo o optimizaciji procesa prije svega moramo znati što želimo postići optimizacijom. Poboljšanje procesa u smislu skraćenja roka trajanja, smanjenja troškova, povećanja kvalitete proizvoda, smanjenja broja radnih sati i sl. Nemoguće je napraviti na način da sve od navedenog podignemo na najvišu razinu. Skraćenje roka trajanja često će rezultirati velikim brojem sati prekovremenog rada i većim financijskim troškovima. Nastojanja smanjivanja troškova proizvodnje zahtijevat će jeftiniju radnu snagu, slabiju kvalitetu sirovina i alata ili smanjivanje radnih sati požurivanjem posla, što će se zasigurno negativno odraziti na kvalitetu proizvoda. Budući da su navedene stavke kontradiktorne jedna drugoj, potrebno je odrediti njihovu važnost ovisno o onome što želimo postići optimizacijom i to sukladno sa zahtjevima vlasnika broda, klasifikacijskih društava i drugih pravila brodogradnje.

11.2. Mrežni dijagram

Optimizacija je namijenjena poboljšanju cjelokupnog procesa izrade proizvoda koji još nije završen ili bi se tek trebao početi raditi. U našem slučaju, sekcija 1370 je već napravljena i predana. Optimizaciju ćemo napraviti samo kao ispit valjanosti metoda koje su korištene i kako bismo dobili uvid u moguća poboljšanja za ubuduće.

Kada bi sve aktivnosti korištene u procesu izrade, slikovito prikazali sa njihovim vezama i međusobnim zavisnostima, te trajanjima procesa, dobili bismo mrežni dijagram. Aktivnostima su pri tome dodijeljene oznake, slovima od A do Z (tablica 12). Početci aktivnosti uvijek ovise o završetku neke prethodne aktivnosti, npr. proces zavarivanja T profila ne može početi ukoliko proces njihova sklapanja nije završio (tablica 13). To ne znači da je proces započeo odmah po završetku prethodnog već između njih može postojat određen vremenski razmak (vremenska rezerva).

AKTIVNOSTI		Trajanje		Broj radnika	Potrošeni sati
		Dani	Sati		
A	BRUŠENJE BRIDOVA T PROFILA	1	10	1 brusač	10
B	MONTAŽNO SPAJANJE LIMOVA PALUBE	2	18	2 montera	36
C	MONTAŽNO SPAJANJE LIMOVA PREGRADA	1	12	2 montera	24
D	IZRADA POSTOLJA	1	8	2 montera	16
E	MONTAŽNO SKLAPANJE T PROFILA	3	30	2 montera	60
F	ZAVARIVANJE LIMOVA PALUBE	3	30	1 zavarivač, 2 montera	36
G	MONTAŽA UZDUŽNJAKA NA PALUBU	1	10	2 montera	20
H	ZAVARIVANJE LIMOVA PREGRADA	2	18	1 zavarivač, 2 montera	22
I	ZAVARIVANJE T PROFILA	4	40	2 zavarivača	80
J	ZAVARIVANJE UZDUŽNJAKA NA PALUBU	2	16	1 zavarivač	16
K	PREDMONTAŽA PREGRADA I OSTALIH SKLOPOVA	4	40	4 montera	160
L	MONTAŽA UZDUŽNJAKA NA UZVOJNI LIM	3	30	2 montera, 1 zavarivač	60
M	MONTAŽA T PROFILA NA PALUBU	4	40	2 montera	80
N	ZAVARIVANJE PREGRADA I OSTALIH SKLOPOVA	5	50	4 montera	200
O	MONTAŽA OKVIRA OPLATE NA PALUBU	0	5	2 montera	10
P	MONTAŽA PREGRADA NA PALUBU	4	40	4 montera	160
R	MONTAŽA OPLATE	3	24	2 montera	48
S	ZAVARIVANJE OPLATE	3	30	3 zavarivača	90
T	ZAVARIVANJE T PROFILA NA PALUBU	3	30	3 zavarivača	90
U	ZAVARIVANJE PREGRADA NA PALUBU	5	50	3 zavarivača	150
V	MONTAŽA KOLJENA, ZAKRPA I SPOJNIH PLOČICA	3	30	4 montera	120
Z	ZAVARIVANJE KOLJENA, ZAKRPA I SPOJNIH PLOČICA	4	40	4 zavarivača	160

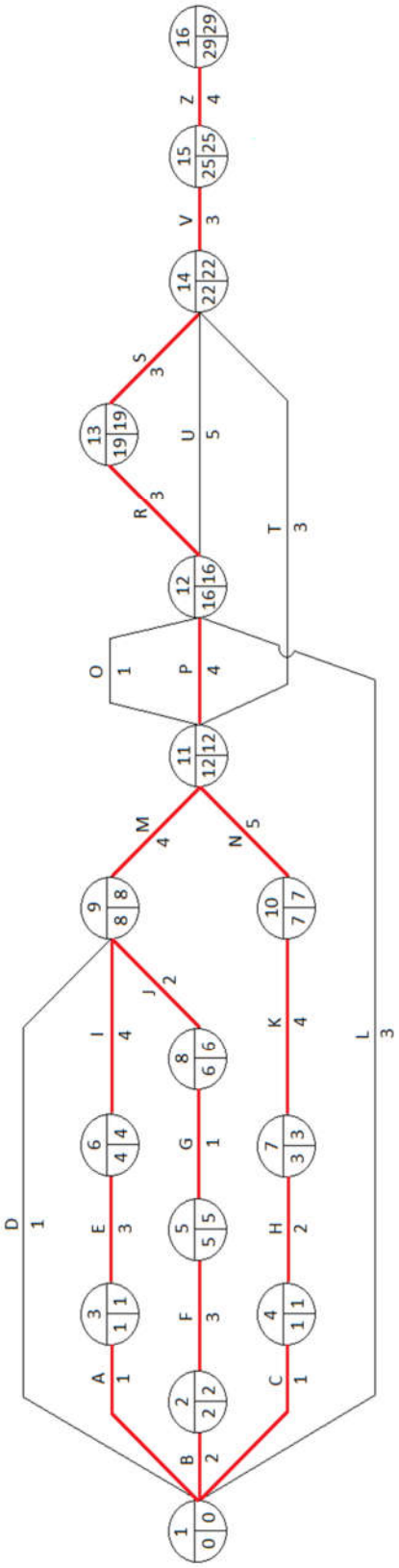
Tablica 12. Prikazuje sve aktivnosti u procesu izrade sekcije, sa njihovim trajanjima, potrošenim satima i radnicima koji su sudjelovali u aktivnosti.

Analizom mrežnog dijagrama možemo vidjeti da su aktivnosti u procesu dobro usklađene, što znači da su kod međuovisnosti trajanja aktivnosti (kraj trajanja prvog i početak onog slijedećeg) tempirani tako da nema vremenske rezerve (slika 64). Montaža pregrada (P) je proces koji ovisi o procesu zavarivanja sklopljenih pregrada (N) i montaži T profila na palubu (M). Pregrade se ne mogu postaviti ako nisu napravljene i zavarene, a monteri ne mogu krenuti sa njihovim postavljanjem dok nisu završili postavljanje T profila. U mrežnom dijagramu vidimo da su profili postavljeni na palubu u isto vrijeme kada je i posljednja sklopljena pregrada zavarena, nakon 12 dana. To možemo znati jer se sve tri aktivnosti nalaze na kritičnom putu (označenog crvenom bojom u mrežnom dijagramu), što znači da između njih nema vremenske rezerve – čim završi jedan proces, počinje onaj sljedeći. 17 aktivnosti se nalaze na kritičnom

putu, dakle 78% aktivnosti, što je više nego dobro kad gledamo cjelokupni proces. Budući da je sekcija napravljena na vrijeme, dakle bez probijanja rokova, a kvaliteta je zajamčena čestom kontrolom klasifikacijskih društava i konačnom kontrolom prije same predaje sekcije, optimizaciju ćemo pokušati napraviti na način da smanjimo potrošnju sati koliko je to moguće.

AKTIVNOST	ZAVISNOST (prethodna aktivnost)	VRIJEME TRAJANJA	AKTIVNOST	ZAVISNOST (prethodna aktivnost)	VRIJEME TRAJANJA
A	/	1 dan	L	/	3 dana
B	/	2 dana	M	D, I, J	4 dana
C	/	1 dan	N	K	5 dana
D	/	1 dan	O	M	0 dana
E	A	3 dana	P	M, N	4 dana
F	B	3 dana	R	L, O, P	3 dana
G	F	1 dan	S	R	3 dana
H	C	2 dana	T	M	3 dana
I	E	4 dana	U	P	5 dana
J	G	2 dana	V	S, T, U	3 dana
K	H	4 dana	Z	V	4 dana

Tablica 13. Prikaz aktivnosti i njihovih zavisnosti u procesu izrade 1370.



Slika 64. Mrežni dijagram procesa izrade sekcije 1370.

11.3. Smanjivanje radnih sati potrošenih u gradnji

Sekcija 1370 je jedna od mnogih sekcija jednog Nizozemskog brodogradilišta ponuđena vanjskim suradnicima. U trenutku kada kapacitet brodogradilišta nije više dovoljan kako bi se sav posao završio na vrijeme, oni se oslanjaju na kooperacijske firme. Nadzor i kontrola procesa pri tome ostaje u rukama brodogradilišta. Pri ugovaranju sekcije 1370, dobro je proučen plan rada i tehnički nacrti od strane izvođača radova nakon čega je posao prihvaćen. Da bi se ostvarila dobit, sekciju je bilo potrebno napraviti u 1800 sati rada ili manje. To znači da ukupan zbroj radnih sati, svih radnika koji su sudjelovali u procesu, ne smije prelazit tu granicu. U principu kad govorimo o smanjenju opsega sati potrošenih na rad, mislimo pri tome na smanjivanje troškova proizvodnje u smislu manjih izdataka na plaće radnika (svi radnici u procesu plaćeni su po radnom satu).

U našem slučaju konačni zbroj potrošenih sati je 1648, što znači da je 92% dobivenog vremena iskorišteno, dok preostalih 8% ostaje kao višak. Sa tim viškom raspolaže šef na način da ih podjeli radnicima koji najviše zaslužuju u vidu bonusa i nagrada ili da ih sačuva kao rezervu za sljedeći posao.

Budući da je, kao što vidimo u mrežnom dijagramu, organizacija rada već dobro uspostavljena, preslagivanje procesa i re-organizacija nam sama po sebi neće puno pomoći. Da bismo skratili vrijeme trajanja cjelokupnog procesa morat ćemo se detaljnije pozabavit i najsitnijim koracima u izradi, tj. pojedinim aktivnostima zasebno. Mrežni dijagram nam pri tome koristi samo kako bi imali bolji pregled u njihovom utjecaju na ostatak aktivnosti. Početak i kraj procesa, te međusobna djelovanja i ovisnosti među aktivnostima koje im pripadaju su stvarne i mjerljive veličine kojima je lako upravljat, međutim ako želimo skratiti vrijeme trajanja, u nekim aktivnostima, morat ćemo preispitat odluke rukovoditelja i radnika dok su obavljali posao, što će zahtijevati stručnost i praktično znanje.

11.3.1. Zaduživanje jednog montera umjesto dvojice

Rad u parovima je jedan od uobičajenih načina stjecanja sinergijskog efekta prilikom montaže. Radnici se većinom uparuju tako da je jedan od njih iskusniji radnik, koji samostalno donosi odluke o poslu, dok je drugi manje iskusan ili početnik. Jedna od prednosti ovakvog rada je da „mlađi“ radnik brže napreduje učeći od više iskusnog. Također je radnicima olakšana montaža, na način da dok jedan pridržava komad drugi ga pričvršćuje zavarima. Tako se proces

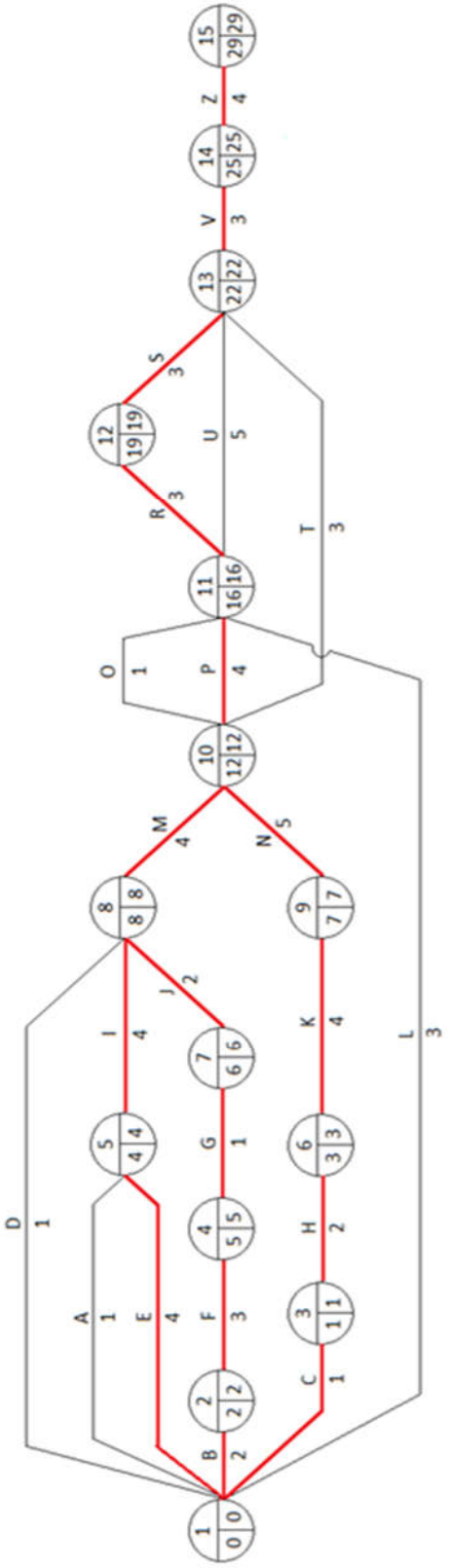
ubrzava jer je jedan od radnika uvijek spreman sa kliještima za zavarivanje dok je drugi radnik spreman za pozicioniranje elementa za montažu i nema gubljenja vremena na izmjenjivanje alata.

Ipak ovakav način rada ima i neke nedostatke. Radnici koji zajedno rade teško da mogu provesti 8 ili više radnih sati bez razgovora, što samo po sebi i ne predstavlja problem, ali neki radnici, većinom oni sa manje iskustva, teško se mogu koncentrirati na posao, pa rade kratke stanke kako bi dovršili razgovor. Problem najviše dolazi do izražaja kod jednostavnijih poslova kao što su montaže sitnih elemenata na jednom mjestu ili stojećem položaju na radnom stolu, kod poslova koji bi trebali teći brzo, a na kojima su radnici najopušteniji. Tada se može desiti da radnici previše vremena potroše u razgovoru, a često je slučaj da zbog manjka koncentracije naprave greške koje kasnije moraju popravljat.

Proces montažnog spajanja T profila (aktivnost E) produžit će se za dan ili dva ako bi umjesto dvojice uključivao samo jednog montera. Ovaj proces se nalazi na kritičnom putu u mrežnom dijagramu što znači da ne postoji vremenska rezerva do sljedeće aktivnosti. Kao negativna posljedica toga dogodit će se da vrijeme završavanja svih aktivnosti na istom kritičnom putu bude pomaknuto za isto toliko dana, a to uključuje i završnu aktivnost, kraj procesa.

Mi želimo manipulirati aktivnostima na način da se vrijeme kad je sekcija gotova ne produži ili da ne dođe do probijanja roka. To možemo pokušati na način da sklapanje profila započnemo isti dan kad i brušenje njegovih rubova - preklapanje aktivnosti A i E (slika 65). Odmah nakon što prvi struk i traka profila bude obrušena odlaze na stol za sklapanje, te se oba procesa odrađuju usporedno. U slučaju da neki od profila budu sklopljeni prije brušenja, brušenje se može izvesti naknadno bez vremenskog produljenja aktivnosti. Želimo li dodatno ubrzati proces, zavarivanje T profila može započeti prije nego su svi profili sastavljeni. Potrebno je pri tome voditi računa da zavarivači uvijek imaju dovoljno posla kako ne bi morali čekat.

Također je pri zavarivanju limova pregrada (aktivnost N) njihovo okretanje na drugu stranu mogao izvoditi samo jedan monter uz povremenu pomoć zavarivača, ukoliko bude potrebno. Na taj bismo način mogli uštedjeli još 2 sata.



Slika 65. Prikaz mrežnog dijagrama nakon preklapanja aktivnosti A i E.

11.3.2. Izmjena procesa ukrepljivanja i postavljanja oplate

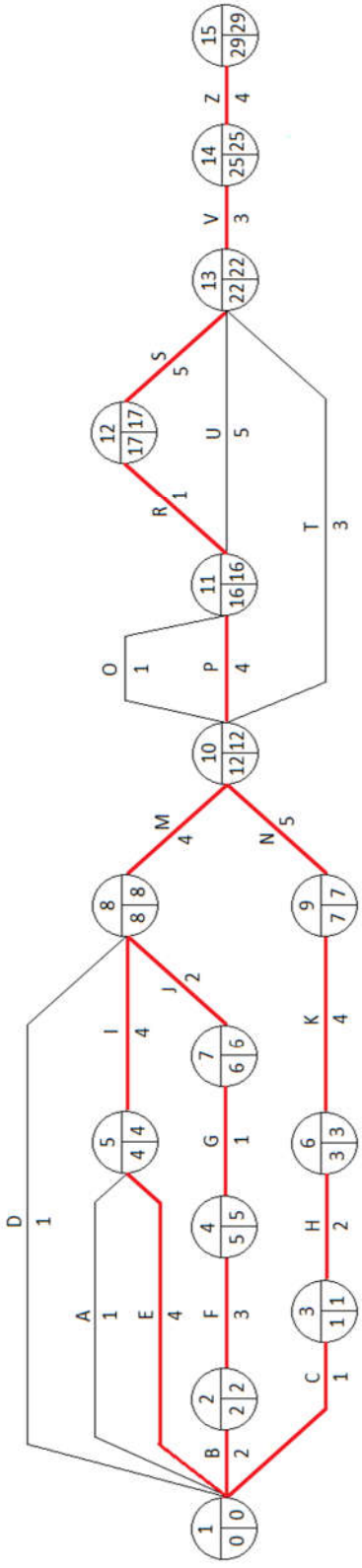
Postupak postavljanja oplate izmijenit ćemo tako da nakon postavljanja okvira, postavimo prvo uzdužnjake pa tek onda oplatu. To je proces koji smo već opisali u poglavlju 8.5. Novi pristup utjecao bi na izmjenu 4 aktivnosti – montaža uzdužnjaka na uzvojni lim (L), montaža okvira (O), montaža oplate (R) i zavarivanje oplate (S). Montažu uzdužnjaka na uzvojni lim (L) izbacili bi iz procesa, a posao koji je obavljen u toj aktivnosti, odradili bi na puno jednostavniji način zajedno sa montažom okvira (O). Postavljanje uzdužnjaka na okvire tako ne bi trebalo trajati dulje od 40 minuta po uzdužnjaku. Mi ćemo to radi sigurnosti zaokružiti na sat vremena, što znači da je za montažu pet uzdužnjaka predviđeno pet sati rada. Budući da je montaža okvira (O) prije trajala 5 sati, dodavanjem ove aktivnosti trajanje će se produžiti na 10 sati (tablica 14).

AKTIVNOST		Trajanje		Broj radnika	Potrošeni sati
		Dani	Sati		
L	MONTAŽA UZDUŽNJAKA NA UZVOJNI LIM	3	30	2 montera, 1 zavarivač	60
O	MONTAŽA OKVIRA I UZDUŽNJAKA OPLATE NA PALUBU	1	5+5	2 montera	20 (10+10)
R	MONTAŽA OPLATE	1 (3-2)	10	2 montera	20 (48-28)
S	ZAVARIVANJE OPLATE	5 (3+2)	46 (30+16)	3 zavarivača	138 (90+48)

Tablica 14. Prikaz utjecaja izmjene načina rada pri montaži uzdužnjaka oplate na ostale aktivnosti.

Montažu oplate bi u ovom slučaju bila maksimalno olakšana, a vodeći se višegodišnjim iskustvima u njihovu postavljanju sa velikom sigurnošću možemo reći da za dva uzvoja neće trajati duže od 10 sati. Tako smo aktivnost R skratili sa tri na jedan dan i umjesto 48 sati potrošili 20 sati.

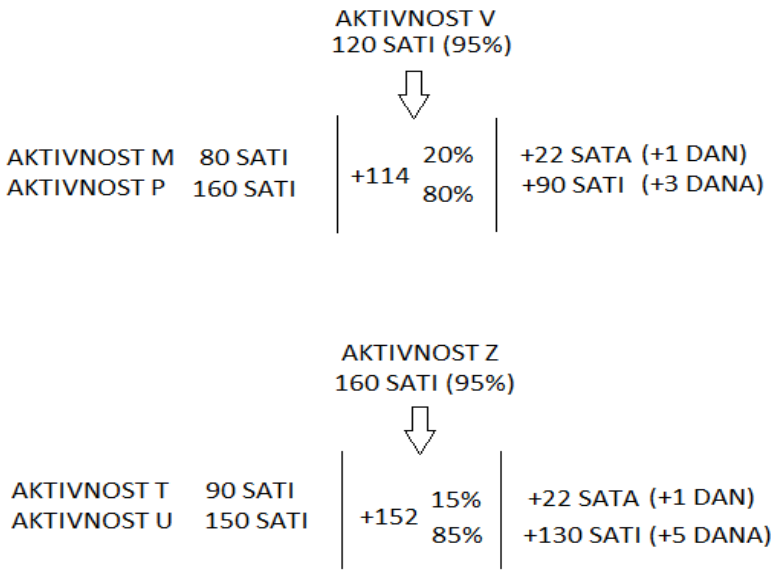
Što se tiče zavarivanja oplate (S) proces bi se produžio za gotovo 50%. Olakotna okolnost u ovom slučaju je da će mjesta spojeva biti puno bolje pripremljena za zavarivanje, međutim uzdužnjaci će sa donje strane morati zavarivati nadglavno što je zahtjevnije i sporije zbog nezgodnog položaja zavarivača. Ako je u ne optimiziranom procesu aktivnost trajala 90 sati, sada će se produžiti na 135 sati ili dodatna 2 dana.



Slika 66. Mrežni dijagram nakon djelovanja na proces postavljanja uzdužnjaka na oplatu.

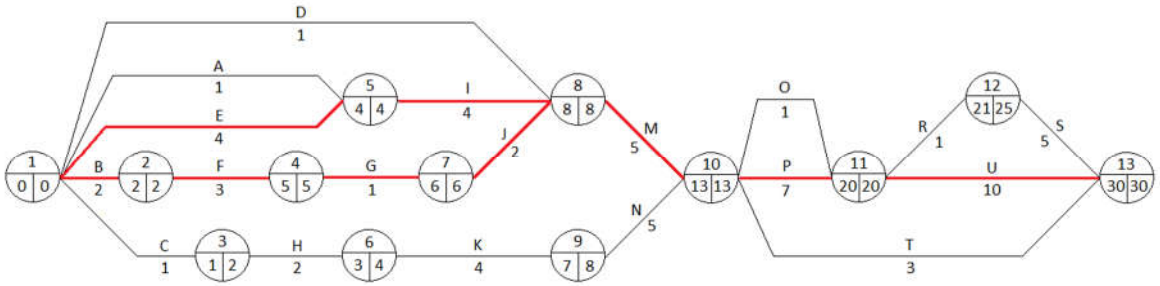
11.3.3. Montaža veznih elemenata pri postavljanju T profila i pregrada

Koljena, spojne pločice i zakrpe su postavljene tek nakon što su svi ostali elementi na koje se vežu montirani i zavareni. U tom slučaju monteri dva puta obilaze isto radno mjesto – jednom da bi postavili pregradu ili T profil, a drugi puta da bi postavili vezne elemente. Kako bi ubrzali rad ili popunili neke rupe u kontinuitetu trajanja procesa, montaža koljena na pregradama može se izvesti odmah nakon što je pregrada postavljena, što vrijedi i za spojne pločice na prolazima za uzdužnjake na T profilima. To znači da ćemo u mrežnom dijagramu aktivnostima M i P pridružiti aktivnost V, a aktivnostima T i U ćemo pridružiti proces Z. Budući da smo iz procesa montaže i zavarivanja spojnih elemenata (V i Z) izbacili suvišne korake prebacivanja alata i radnika sa mjesta na mjesto, predviđeno je skraćenje procesa za minimalno 5%. To znači da umjesto 120 sati na proces montaže (V) biti potrošeno 114 sati , a za proces zavarivanja (Z) umjesto 160 sati 152 sata (slika 66). Također ne smijemo zaboraviti da dio sati od montaže ili zavarivanja spojnih elemenata pripada u proces postavljanja ili zavarivanja pregrada (P), a dio u postavljanje ili zavarivanje T profila (M). Nakon proučavanja nacrta slobodna procjena je da oko 80% procesa montaže pripada montaži pregrada, a za slučaj zavarivanja 85% na zavarivanje pregrada (slika 66). U tom slučaju dobivamo novo trajanje aktivnost M, P, T i U, dok se aktivnosti V i Z gube iz mrežnog dijagrama.



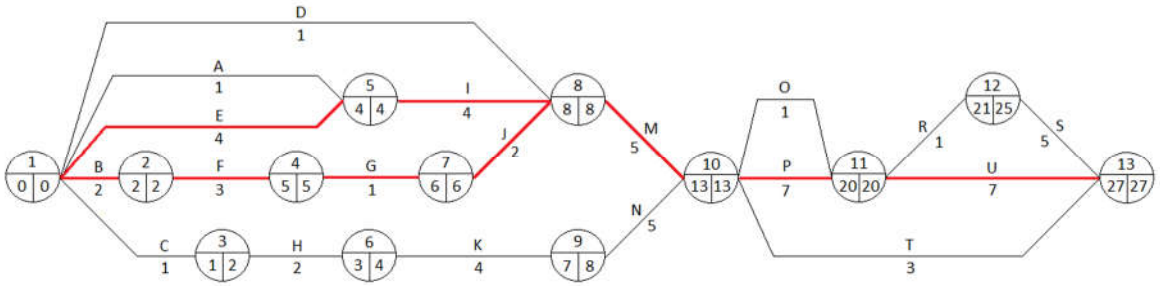
Slika 67. Prikaz premještanja radnji iz aktivnosti V i Z u aktivnosti M,P,T i U, te promjene nastale u produljenim aktivnostima.

Iz mrežnog dijagrama možemo zaključiti da se zadnjim pokušajem manipulacije cjelokupni proces produžio za 1 dan. Iako smo tim načinom uštedjeli 14 sati, možemo reći da nije postignut zadovoljavajući efekt.



Slika 68. Mrežni dijagram nakon stapanja aktivnosti iz prikaza 67.

Zato kod aktivnosti U moramo uključiti još jednog zavarivača u proces kako bi skratili vrijeme trajanja aktivnosti sa 10 dana na 7. Time ne samo da bi sekciju napravili na vrijeme nego bismo skratili vrijeme izrade za dva dana.



Slika 69. Mrežni dijagram nakon uvođenja još jednog zavarivača u proces zavarivanja pregrada na palubu.

To omogućuje daljnju manipulaciju procesa i otvara mogućnost smanjena prekovremenih sati na aktivnostima koje nisu na kritičnom putu. Tako možemo smanjiti troškove rada, budući da je prekovremeni rad plaćen više. Na primjer aktivnost T, zavarivanje T profila na palubu

ima vremensku rezervu od 9 dana što znači da nije potrebno požurivat proces sa stavljanjem velikog broja zavarivača u proces ili prekovremenim radom. Višak zavarivača se može prebaciti u neku od aktivnosti koje su na kritičnom putu kako bi se ukupno trajanje od 27 dana dodatno skratilo. Ovim načinom upravljanja procesom postignuta je optimizacija koju smo željeli. Trajanje cjelokupnog procesa je skraćeno za 2 dana, a broj radnih sati je smanjen sa 1648 na 1569 sati, što je 79 sati manje.

AKTIVNOSTI		Trajanje		Broj radnika	Potrošeni sati
		Dani	Sati		
A	BRUŠENJE BRIDOVA T PROFILA	1	10	1 brusač	10
B	MONTAŽNO SPAJANJE LIMOVA PALUBE	2	18	2 montera	36
C	MONTAŽNO SPAJANJE LIMOVA PREGRADA	1	12	2 montera	24
D	IZRADA POSTOLJA	1	8	2 montera	16
E	MONTAŽNO SKLAPANJE T PROFILA	4	40	2 montera	40
F	ZAVARIVANJE LIMOVA PALUBE	3	30	1 zavarivač, 2 montera	36
G	MONTAŽA UZDUŽNJAKA NA PALUBU	1	10	2 montera	20
H	ZAVARIVANJE LIMOVA PREGRADA	2	18	1 zavarivač, 2 montera	22
I	ZAVARIVANJE T PROFILA	4	40	2 zavarivača	80
J	ZAVARIVANJE UZDUŽNJAKA NA PALUBU	2	16	1 zavarivač	16
K	PREDMONTAŽA PREGRADA I OSTALIH SKLOPOV	4	40	4 montera	160
M	MONTAŽA T PROFILA NA PALUBU	5	50	2 montera	102
N	ZAVARIVANJE PREGRADA I OSTALIH SKLOPOVA	5	50	4 montera	200
O	MONTAŽA OKVIRA OPLATE NA PALUBU	1	10	2 montera	20
P	MONTAŽA PREGRADA NA PALUBU	7	70	4 montera	250
R	MONTAŽA OPLATE	1	10	2 montera	20
S	ZAVARIVANJE OPLATE	5	50	3 zavarivača	135
T	ZAVARIVANJE T PROFILA NA PALUBU	4	40	3 zavarivača	102
U	ZAVARIVANJE PREGRADA NA PALUBU	7	70	4 zavarivača	280

Tablica 15. Prikazuje sve aktivnosti u procesu izrade sekcije, sa njihovim trajanjima, potrošenim satima i radnicima koji su sudjelovali u aktivnosti nakon optimizacije.

Manipulacija procesom ne mora završiti ovdje, daljnjom manipulacijom bi pokušavali sve aktivnosti procesa dovesti na kritičan puta tako da vremensku rezervu u svim procesima dovedemo na minimum. Međutim, budući da je svrha rada bila da između ostalog posluži više kao dokaz da organizacija i detaljno planiranje svih procesa u izradi brodske sekcije može znatno smanjiti troškove proizvodnje, daljnja optimizacija procesa nije potrebna.

12. ZAKLJUČAK

Analizom djela cjelokupnog procesa izgradnje, kao što je izrada jedne sekcije, možemo dobiti uvid u složenost planiranja i organizacije proizvodnje, kao i same proizvodnje velikog broda. Složena proizvodnja velikih plovila pojednostavljena je podjelom proizvoda na manje dijelove – sekcije, kojima je lakše za rukovati. Na taj se način povećava radna površina i omogućava se rad većem broju radnika.

Do gotovog proizvoda vodi niz povezanih i međusobno ovisnih procesa i podprocesa koji trajanjem moraju biti usklađeni. Svako prekoračenje planiranog vremena rada nadovezuje se na sljedeće aktivnosti i stvara lančanu reakciju, te zbog velikog broja aktivnosti može doći do skupih produljenja poslova i zastoja u radovima.

Upravljanje procesom izrade može se prikazati pomoću mrežnog dijagrama. Mrežni nam dijagram pruža kompletan uvid u aktivnosti te njihove međuovisnosti što daje mogućnost za njihovu manipulaciju kako bi se smanjili troškovi rada i skratilo vrijeme izrade ili vodila kontrola oko planiranih rokova.

LITERATURA:

1. Mr. Milan Milotić: „Priručnik za zavarivače“, dopunjeno izdanje, Doboj, 2008.
2. Grupa autora: „Proizvodno strojarstvo“, treći svezak – „Organizacija proizvodnje“, Školska knjiga, Zagreb, 2002.
3. Sladovljev Ž.: Skripta iz kolegija „Tehnologija brodogradnje“, interno izdanje, FSB, Zagreb, 1987.
4. Furlan Z., Lučin N., Pavelić A.: „Osnove brodogradnje“, Školska knjiga, Zagreb 1982.
5. Sladovljev Ž., Zaplatić T.: Production Engineering in Modern Shipyards, FSB, Zagreb, 2005.
6. https://www.fsb.unizg.hr/kziha/shipconstruction/main/norme/NormWebCro/HTML/StrukturaTrupa/StrukturaTrupa.htm,
7. https://www.tc.gc.ca/eng/marinesafety/tp-tp14609-4-construction-150.htm,
8. http://www.marineinsight.com
9. Damira Vučetić: „Digitalni priručnik za brodske konstrukcije“, završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.

POPIS SLIKA I TABLICA

Slike:

Slika 1. Singapurska luka, prolaz kroz Sueski kanal i Panamski kanal.....3

Slika 2. Pomorski promet danas.....4

Slika 3. Procesi u gradnji konstrukcije trupa broda.....6

Slika 4. Osnovni elementi trupa broda sa navedenim i označenim dijelovima.....9

Slika 5. Prikaz raznih vrsta profila i limova koji se najčešće koriste u brodogradnji.....10

Slika 6. Mehanička dizalica, hidraulična pumpa, ručna lančana dizalica.....13

Slika 7. Postupak rezanja.....13

Slika 8. Pribor i boce sa plinom i kisikom za plinski rezač.....14

Slika 9. Aparat za zavarivanje MIG i REL i postupak spajanja.....14

Slika 10. Zavarivanje pomoću poluautomatskog MIG aparata.....15

Slika 11. Sredstva potrebna za transport u radioni za predmontažu.....16

Slika 12. Tip dizalica korištenih u halama za predmontažu.....17

Slika 13. Dizalice za montažu sekcija u Uljaniku.....18

Slika 14. Prikaz opterećenja poprečnog presjeka brodskog trupa.....20

Slika 15. Nacrt jaružara kojem pripada sekcija 1370 25

Slika 16. Virtualni modeli sekcije 1370 26

Slika 17. Virtualni modeli sekcije 1370 27

Slika 18. Stroj za plazma rezanje u bazenu i stroj za plinsko rezanje limova.....28

Slika 19. Označavanje gradnje, grupe i oznake lima.....29

Slika 20. Brušenje oštrih bridova na profilima nakon što su izrezani.....30

Slika 21. Postupak spajanja limova REL postupkom.....32

Slika 22. Postupak korištenja klina za poravnavanje limova.....33

Slika 23. Pločice za početak i kraj zavara EPP postupkom prije i nakon što je lim zavaren....34

Slika 24. Prikaz zavarivanja postupkom pod zaštitom praška (EPP).....36

Slika 25. Određeni parametri na stroju za zavarivanje limova EPP postupkom.....38

Slika 26. Zavarivanje EPP postupkom.....38

Slika 27. Smjer okretanja limova.....39

Slika 28. Okretanje dugih panel limova u hali za predmontažu.....40

Slika 29. Uređaj za montažu ukrepa na lim pomoću magneta i hidraulične pumpe.....42

Slika 30. Postupak korištenja magnetskog uređaja i pumpe.....43

Slika 31. Zavarivanje uzdužnjaka 44

Slika 32. Zavarivanje T profila 47

Slika 33. Transportiranje T profila.....48

Slika 34. Načini spajanja ukrepa na ostatak strukture.....49

Slika 35. Ukrepe sa skošenjem.....50

Slika 36. Mikro-panel linija.....51

Slika 37. Pogreška pri montaži gdje su ukrepe od trakastih profila okrenute naopako.....52

Slika 38. Pogreške u montaži.....52

Slika 39. Limovi pregrada i profili poslagani na pozicije.....54

Slika 40. Ne zavareni, slobodni krajevi profila.....56

Slika 41. Sekcija broda sa namontiranim pripadajućim elementima.....57

Slika 42. Kriva procijena prostora za smještanje sekcije……..…58

Slika 43. Sekcija krmenog zrcala koja je zauzela sav prostor u hali.....58

Slika 44. Blokovi i dugi nosači na koje se postavlja paluba……..……..59

Slika 45. Laser za poravnanje nosača i blokovi sa klinovima.....60

Slika 46. Postavljanje panela.....61

Slika 47. Panel nakon što je smješten na postolje.....61

Slika 48. Nosači poslagani na pozicijama spremni za montažu.....62

Slika 49. Kraći poprečni nosači između kojih će se postaviti dugački uzdužni nosači.....63

Slika 50. Upotreba pomoćne naprave kod postavljanja T profila.....64

Slika 51. Prikaz palube nakon što su postavljeni nosači.....65

Slika 52. Prikaz zavarenih nosača od T profila.....66

Slika 53. Pregrijana pregrada.....67

Slika 54. Proces postavljanje pregrade i pregrada nakon što je postavljena.....68

Slika 55. Korištenje monterskog alata pri postavljanju pregrada.....69

Slika 56. Vertikalni spoj dviju pregrada.....70

Slika 57. Postupak zavarivanja oplate.....74

Slika 58. Koljena označena za montažu.....76

Slika 59. Skice raznih koljena, prema normama Hrvatskih brodogradilišta.....77

Slika 60. Spojna pločica.....78

Slika 61. Tipovi spojnih pločica često korištenih u brodogradnji.....78

Slika 62. Stup spojen sa gornjom palubom preko dijamant ploče i koljena.....79

Slika 63. Zavarena koljena.....80

Slika 64. Mrežni dijagram procesa izrade sekcije 1370.....85

Slika 65. Prikaz mrežnog dijagrama nakon preklapanja aktivnosti A i E.....88

Slika 66. Mrežni dijagram nakon djelovanja na proces postavljanja uzdužnjaka na oplatu.....90

Slika 67. Prikaz premještenih radnih da bi se dobila optimizacija procesa.....91

Slika 68. Mrežni dijagram nakon stapanja aktivnosti iz prikaza 67.....92

Slika 69. Mrežni dijagram nakon uvođenja dodatnog zavarivača u proces.....92

Tablice:

Tablica 1. Osnovna mehanička svojstva brodograđevnog čelika.....11

Tablica 2. Karakteristike sekcije 1370.....25

Tablica 3. Popis limova od kojih će se sklapati paluba..... 31

Tablica 4. Prikaz spojeva kompletirane palube i njihovih dužina.....35

Tablica 5. Trajanje i potrošnja sati u procesu montažnog spajanja limova palube.....35

Tablica 6. Usporedba utroška topline kod EPP zavarivanja sa REL postupkom.....37

Tablica 7. Potrošnja sati, trajanje i broj radnika u procesu zavarivanja limova palube.....40

Tablica 8. Popis uzdužnih profila koji se montiraju na palubu.....41

Tablica 9. Broj radnika, potrebno vrijeme i potrošeni sati za kompletan proces izrade panela…….....45

Tablica 10. Broj utrošenih sati za izradu T profila.....48

Tablica 11. Prikaz cjelokupnog procesa sklapanja sekcije.....75

Tablica 12. Prikaz svih aktivnosti u procesu izrade sekcije, sa njihovim trajanjima, potrošenim satima i radnicima koji su sudjelovali u aktivnosti.....83

Tablica 13. Prikaz aktivnosti i njihovih zavisnosti u procesu izrade 1370.....84

Tablica 14. Utjecaj izmjene načina rada u montaži uzdužnjaka oplate na ostale aktivnosti....89

Tablica 15. Prikazuje sve aktivnosti u procesu izrade sekcije, sa njihovim trajanjima, potrošenim satima i radnicima koji su sudjelovali u aktivnosti nakon optimizacije.....93

POPIS POJMOVA I OZNAKA

CL – eng. „centar line“ – središnja linija broda, ona koja djeli brod na lijevu i desnu stranu.

Dvodno – eng. „double bottom“ - konstrukcija trupa broda na dnu izvedena tako da ima dva nepropusna sloja, jedan vanjski sloj u obliku oplate i drugi unutarnji izveden kao krov dvodna.

Glavni nosač – eng. „girder“ - element strukture koji podupire ukrepe ili druge nosače. Ovaj tip nosača se na velikim brodovima većinom izvodi kao T profil.

Izrez – eng. „scalop“ - otvor za prolaz zavara, tekućine i plinova kroz strukturni element.

Koljeno - eng. „bracket“ - element koja služi za ukrućivanje i međusobno spajane elemenata pod kutom.

Nepropusna pločica – eng. „watertight lug“ - pločica kojom se nepropusno zatvara prolaz ili izrez.

Okvirno rebro – eng. „web frame“ - poprečni glavni nosač sastavljen od okvira dna, okvira boka i okvira palube te okvira uzdužne pregrade ako brod ima uzdužne pregrade.

Oplata - eng. „Shell“ - vanjski limovi trupa koje vidimo izvana, a čine lađu broda tj. njegov plovni dio.

Paluba - eng. „deck“ - konstrukcija koja se po širini proteže od boka do boka broda i po duljini najmanje u dva nepropusna prostora, a pregrađuje brodski prostor po visini.

Podveza - eng. „deck girder“ - uzdužni nosač palube.

Pregrada – eng. „bulkhead“ - vertikalna pregradna konstrukcija koja dijeli unutarnji prostor trupa.

Prolaz, za ukrepe – eng. „cut-out“ – tipizirani otvor izrezan u limu ili struku nosača kroz koji prolazi ukrepa.

PS – eng. „port side“ – strana broda sa lijeve strane centralne linije kada se gleda od krme prema pramcu.

Rebro - eng. „frame“ - poprečno postavljeni ukrepni elementi na brodu u određenim razmacima.

SB – eng. „starboard“ – strana broda sa desne strane centralne linije kada se gleda od krme prema pramcu.

Sponja eng. „beam“ - poprečno postavljen ukrepni element palube.

Spojna pločica – eng. „lug“ – pločica kojom se elementi u prolazima spajaju na ostatak konstrukcije.

Ukrepa – eng. „stiffener“ – element koji tankim limovima opločenja daje čvrstoću i čini ih krutima.

Upora – eng. „pillar“ - element kojim se podupire nosač.

Uzdužnjak - eng. „longitudinal“ - ukrepni elementi uzdužno postavljeni koji se pružaju cijelom dužinom broda.