

**Marina Vukman**

E-mail: vukman.marina@gmail.com

**Damir Kolić**

E-mail: dkolic@riteh.hr

**Nikša Fafandjel**

E-mail: niksaf@riteh.hr

**Marko Hadjina**

E-mail: hadjina@riteh.hr

Tehnički fakultet, Sveučilišta u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka

---

## **DFP analiza izrade robotiziranih međuproizvoda u brodogradnji**

### **Sažetak**

Brodograđevna industrija spada u jedne od najkompleksnijih proizvodnih industrija. Dugi niz godina se nastoji postići optimalna proizvodnja, sa minimalnim gubicima i maksimalnim rezultatima konačnog proizvoda-broda. Da bi se omogućio takav pristup proizvodnji potrebno je redovito modernizirati proizvodne procese u brodogradilištu tj. biti u toku sa svjetskim trendovima u proizvodnji broda. Ulaganje u unapređenje proizvodnih linija je ključan i primaran potez za postizanje ušteda. U svijetu industrije je zavladao trend težnje za automatizacijom i robotizacijom proizvodnih pogona iz razloga jer još uvijek nije postignut željeni i zadovoljavajući stupanj automatizacije/robotizacije. Iz tog razloga većina brodogradilišta je u stadiju djelomično automatiziranih i robotiziranih pogona radi čega je još uvijek vrlo veliki postotak prisutnosti ljudske radne snage. U ovom članku će se osvrnuti na nedostatke proizvodnog procesa promatranog brodogradilišta sa ciljem davanja uvida u mogućnost optimiziranja predmontažne faze gradnje broda.

**Ključne riječi:** Projektiranje za proizvodnju, brodogradnja, predmontaža, automatizacija, robotizacija

### **1. Uvod**

DFP (Design for production) ili Projektiranje za proizvodnju predstavlja suvremena načela prilagodbe projekta broda procesu proizvodnje. Svrha projektiranja za proizvodnju je smanjenje troškova proizvodnog procesa uz paralelno poboljšanje samog principa toka proizvodnje spomenutog proizvodnog procesa. Kod procesa izrade međuproizvoda u brodogradilištu utvrđene su razne mogućnosti postizanja poboljšanja u području smanjenja efektivnih sati rada. Jedan od načina postizanja smanjenja radnih sati je i bolji raspored hala koji bi omogućio izbjegavanje praznog hoda proizvodnog

procesa čime bi se automatski smanjilo vrijeme čekanja, kako zaposlenika tako i samih strojeva, jer opće je poznato da jedna faza proizvodnje ne može započeti dok se prethodna ne završi. Uštede se također mogu postići osuvremenjivanjem postojećih proizvodnih linija čime bi se povećao stupanj automatizacije/robotizacije samih linija te smanjila potreba za prisustvom radnika na istoimenim proizvodnim linijama. U nastavku će biti riječ o predmontažnom procesu gradnje velike trodimenzionalne sekcije 3110 sa raščlanom svih čeličnih međuproizvoda.

## **2. Čelični međuproizvodi teglenice za prijevoz asfalta**

Čelični međuproizvodi predstavljaju pojedinačne elemente predmontažnog procesa gradnje spomenute teglenice koji se u konačnici spajaju u veliku trodimenzionalnu sekciju.

### **2.1. Karakteristike promatrane teglenice**

Kako je već spomenuto u naslovu, riječ je o teglenici iz brodogradilišta „3.Maj“ koja služi za prijevoz asfalta. Prva u nizu gradnje teglenica. Sastoji se od četiri integrirana tanka te na njoj nije predviđena posada. Po sredini teglenice su smještene dvije dizalice nosivosti 5 kN. Karakterističnog je izgleda kojeg predstavlja neprekinuta paluba bez preluka i uzvoja te skošeni pramac. Prostor sačinjavaju poprečne i uzdužne pregrade koje odjeljuju prostore pramčanog i krmenog pika, četiri teretna tanka, dvodna i dvoboka te prostor palubne kućice namjenjene strojevima. Teglenica je uzdužne gradnje, krmena i pramčana pregrada su vertikalnog ukrepljenja, a unutarnje pregrade su korugirane. Suhi prostor se nalazi u krmenom dijelu te dvodnu i dvoboku, kao i u pramčanom dijelu. Opremu za vez sačinjavaju četiri pritezna vitla (ručno upravljana) koja se nalaze na pramcu i krmi.

### **2.2. Raščlana čeličnih međuproizvoda promatrane teglenice**

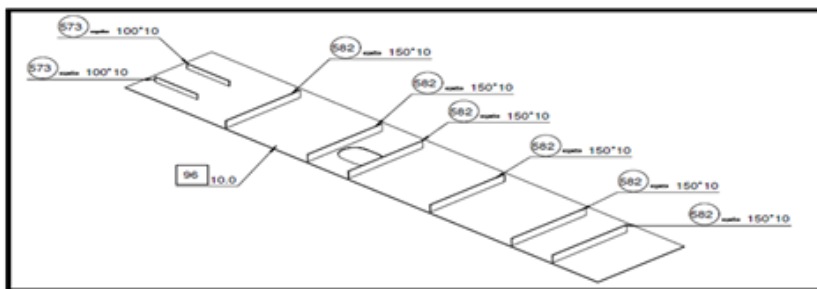
Kod gradnje velike trodimenzionalne sekcije 3110 (VT) čelični međuproizvodi su podijeljeni u četiri skupine. Prvu skupinu međuproizvoda čine mikropaneli zavareni na automatiziranoj liniji (CA), mikropaneli zavareni na robotiziranoj liniji (CR), paneli (P) i ručno zavareni paneli (MP). Drugu skupinu međuproizvoda čine sekcije (S), treću skupinu, čine trodimenzionalne sekcije (T) i kompletirani paneli (KP), dok posljednju četvrtu čini velika trodimenzionalna sekcija 3110 (VT 3110).

Radi velikog broja čeličnih međuproizvoda tj. njihove detaljne raščlane i opsežnosti, teoretski će se obraditi međuproizvodi svih skupina dok će se tablično prikazati raščlana samo mikropanela zavarenih na robotiziranoj liniji, tj. međuproizvod prve skupine.

Tablica 1/ Table 1: Raščlana mikropanela sastavljenih na robotiziranoj liniji / Breakdown of micropanels fabricated on the robotic assembly line

Broj	CR-mikropanel (automatska linija)								Radni sati (h)
	Naziv	Dimenzije	Duljina (L)	Kval.mat.	Masa (kg)	Količina	Duljine profila	Broj profila	
CR001	lim	10		A	8,4	1			4,5
	profil	100x10	720	A	11,5	2	1440	2	
	profil	150x10	1270	A	91,4	6	7620	6	
	lim	10		A	939,5	1	0		
CR002	lim	10		A	8,4	1	0		4,5
	profil	150x10	1260	A	15,1	1	1260	1	
	profil	100x10	720	A	11,5	2	1440	2	
	profil	150x10	1270	A	19,2	6	7620	6	
	lim	10		A	915,9	1	0		
CR003	profil	100x10	859,78	A	6,4	1	859,78	1	4,5
	profil	100x10	460	A	3,7	1	460	1	
	profil	100x11	667,08	A	5,3	1	667,08	1	
	profil	100x10	1338,11	A	10,7	1	1338,11	1	
	lim	7		A	133	1	0		
CR004	profil	100x10	859,78	A	6,4	1	859,78	1	4,5
	profil	100x10	460	A	3,7	1	460	1	
	profil	100x10	667,08	A	5,3	1	667,08	1	
	profil	100x10	1338,11	A	10,7	1	1338,11	1	
	lim	7		A	133	1	0		
CR005	profil	100x10	859,78	A	6,4	1	859,78	1	4,5
	profil	100x10	460	A	3,7	1	460	1	
	profil	100x10	667,08	A	5,3	1	667,08	1	
	profil	100x10	1338,11	A	10,7	1	1338,11	1	
	lim	7		A	133	1	0		
CR006	profil	100x10	859,78	A	6,4	1	859,78	1	4,5
	profil	100x10	460	A	3,6	1	460	1	
	profil	100x10	667,08	A	5,1	1	667,08	1	
	profil	100x10	1338,11	A	10,6	1	1338,11	1	
	lim	7		A	133,1	1	0		
CR007	profil	100x10	660	A	9,4	2	1320	2	6
	profil	100x10	660	A	4,7	1	660	1	
	profil	100x10	10493	A	83,7	1	10493	1	
	profil	100x10	10993	A	87,7	1	10993	1	
	lim	7		A	1238	1	0		
	lim	14		A	184,8	1	0		
				Σ	4265,3	Σ	56145,88	38	33

Slika 1. predstavlja mikropanel izrađen od strane robotizirane linije. Kako se vidi na temelju zavarenih ukrepa na slici, zavarivanje je moguće u uzdužnom i poprečnom smjeru, što uvelike olakšava posao, ne gubi se na vremenu ručnim zavarivanjem, te se ostvaruje ušteda i u radnim satima kao i u vremenu izrade.



Slika 1/Figure 1: CR 001

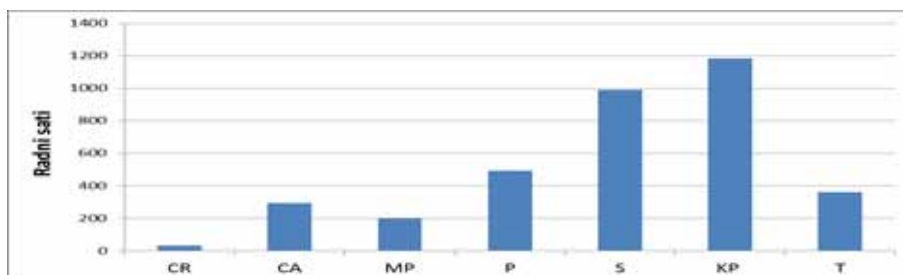
Po uzoru na prethodnu tablicu je izvršena raščlana svih čeličnih međuproizvoda po svim skupinama. Tablica 2. daje uvid u podatke dobivene obavljenom raščlanom.

Tablica 2/Table 2: Raščlana svih skupina čeličnih međuproizvoda / Breakdown of three 3 levels of steel interim products

Promatrane vrijednosti	I. skupina				II. skupina	III. skupina	
	CR	CA	MP	P	S	KP	T
Radni sati (h)	33	295	199	494,5	990	1184	363
Masa (kg)	4850,7	7973	12050,7	42810	30130,8	53361,48	38598,8
Duljina profila (cm)	56145,88	108605,233	966,14	656135,3	131228	38637,44	0
Broj profila	38	98	32	77	26		
Količina	7	59	18	8	10	6	3

### 3. Analiza čeličnih međuproizvoda

Dijagram koj slijedi Slika 2 u nastavku prikazuje utrošak radnih sati za svaku pojedinačnu skupinu čeličnih međuproizvoda. Jasno je vidljivo da je za izradu KP potrebno čak tri puta više utroška radnih sati nego za T sekcije. Ako usporedimo međuproizvode od kojih se izrađuju kompletirani paneli i trodimenzionalne sekcije, može se uvidjeti da se KP još uvijek baziraju na prvu skupinu međuproizvoda. Razliku u usporedbi sa T sekcijama čini to što svaka od promatranih T sekcija u sebi ima već gotove KP i S sekcije što uvelike skraćuje vrijeme izrade. Što se tiče CA, CR i MP mikropanela potrošak/uštedu radnih sati, osim samog načina zavarivanja, uvjetuju i ograničenja automatske i robotizirane linije za zavarivanje. Ručno se privaruju i zavaruju svi oni elementi koji su kompliciranije forme od uzdužne ili poprečne, što je prvo ograničenje spomenutih mikropanel linija. Veliki obim posla se nastoji prebaciti na CA liniju. Iako je veliki nedostatak automatizirane mikropanel linije nemogućnost vertikalnog zavarivanja, što robotiziranu liniju u takvim slučajevima stavlja u prvi plan, CA linija u prednosti pred CR linijom je prvenstveno radi pogodnijih ograničenja o čemu će više biti riječ u sljedećem poglavlju.



Slika 2/Figure 2: Utrošak radnih sati po skupini čeličnih međuproizvoda

Slijedeća tablica prikazuje broj radnih sati tj., konačne radne sate kao i broj radnih sati po vrstama poslova, od male predmontaže pa sve do konačnog proizvoda VT. U spomenute vrste poslova spadaju brodomonteri, zavarivači, brusачi, traseri i dr. Svako slovo abecede predstavlja jedno zanimanje. Detaljan opis je prikazan ispod tablice.

Tablica 3/Table 3: Utrošeni radni sati za VT 3110

VT 3110	A	B	C	D	E	F	G	Σ
Mala predmontaža	120	291	64	3	21	/	28	<b>527</b>
Paneli	354	/	49,5	/	56	35	/	<b>494,5</b>
Kom.paneli	310	669	205	/	/	/	/	<b>1 184</b>
T-sekcija	85	212	56	10	/	/	/	<b>363</b>
VT-sekcija	249	587	164	34	107	/	/	<b>1 141</b>
Σ	<b>1 118</b>	<b>1 759</b>	<b>538,5</b>	<b>47</b>	<b>184</b>	<b>35</b>	<b>28</b>	<b>3709,5</b>

Legenda: A-brodomonteri (predmontaža), B-ručno elektrozavarivanje, C-brusачi, D-plinsko žlijebljenje, E-plinsko ravnanje i plinsko rezanje, F-trasiranje, G-automatsko elektrozavarivanje

Kako je spomenuto, jedna od razlika automatizirane i robotizirane linije za izradu mikropanela je način zavarivanja mikopanela. CR linija ima mogućnost zavarivanja u smjerovima x i y osi, tj. uzdužnog i poprečnog zavarivanja. Automatizirana linija je ograničena samo na uzdužno zavarivanje što predstavlja nedostatak u usporedbi sa CR linijom. CR linija za nedostatak ima duže vrijeme zavarivanja. Razlog tom vremenu je činjenica da robotskoj glavi treba duže vremena da snimi stanje, nakon čega još dodatno povećava vrijeme to što treba doći do željenog lima/profila, pozicionirati se tek onda početi sa zavarivanjem. Robotska glava, znači, prepoznata lim i profil na limu, dođe do te pozicije i prvo počne zavarivanje u horizontalnom smjeru nakon čega se isti postupak ponavlja za vertikalni smjer. Kod automatizirane linije se postižu značajne uštede jer sekcija ne stoji dugo na radnom mjestu, čime je iskoristivost radne površine mnogo veća. Znači, nakon što počne zavarivanje jednog sklopa, drugi se već

priprema tj. privaruju se potrebni elementi, i nakon što se prvi sklop makne sa pozicije za zavrivanje, sljedeći je već tamo.

Osvrnuti će se na ograničenja automatizirane i robotizirane linije čijim bi se unapređenjem u načinu rada mogle ostvariti dodatne uštede. U nastavku je dana tablica sa navedenim ograničenjima za svaku proizvodnu liniju posebno.

Tablica 4/Table 4: Ograničenja proizvodnih linija

Automatizirana mikropanel linija (CA linija)	Dimenzije limova: duljina: 1 200-12 500 mm širina: 800-4 000 mm debljina: 6-30 mm Dimenzije profila: bulb profil: min. 140x7 mm, max. 550x35 mm T profil: min.[0x50x12/28 mm, max.550x250x14/35 mm razmak između profila: 500 mm masa profila: max.800 kg
Robotizirana mikropanel linija (CR linija)	Dimenzije platforme: 60 000x4 000 mm Max.dimenzije limova: 12 000x4 000 mm

Postavlja se pitanje, da li je moguće opisanim aktivnostima, povećati dodanu vrijednost sklopa? U nastavku će se tablično prikazati standardne aktivnosti kod izrade jednog sklopa i da li one osiguravaju povećanje dodane vrijednosti. Radi opsežnosti podataka prikazati će se standardne aktivnosti samo za CR proizvodnu liniju.

Pozicija	Faza	Aktivnost	Izvršioc/sredstvo	Opis	Vrijeme operacije	Dodana vrijednost
I	1	Transport limova	Dizalica	Limovi se dopremaju iz skladišta	5 min	Ne
	2	Postavljanje profila	Dizalica	Profili se dopremaju iz palete pored CA linije, postavljaju se na trasirane pozicije	12 min	Ne
	3	Privarivanje profila	Brodomonter	Privarivanje profila	15 min	Da
	4	Pomak	Portal	Robot se pomiče iznad sklopa	1 min	Ne
II	5	Snimanje	Robot	Kamerom robot snima sklop, te se namještaju parametri za zavarivanje	5 min	Ne
	6	Zavarivanje	Robot	Svi horizontalni zavari se zavaruju na sklopu	30 min	Da
	7	Snimanje	Robot	Ponovno snimanje i namještanje parametara	5 min	Ne
	8	Zavarivanje	Robot	Zavaruju se vertikalni spojevi na sklopu	10 min	Da
III	9	Transport	Dizalica	Nakon što je sklop gotov, dizalicom transportira sklop u paletu	5 min	Ne

Slika 3/Figure 3: Tablični prikaz aktivnosti izrade sklopa, CR linija [7]

Kod CR linije je slično kao kod CA linije, s razlikom da aktivnosti koje ovdje doprinose povećanju dodane vrijednosti su one privarivanja i zavarivanja. Te aktivnosti traju dosta duže od ostalih, što kao i za CA liniju možemo reći, da je vid troška. Treba se još spomenuti da su postojeće proizvodne linije u referentnom brodogradilištu, prvobitno bile namjenjene za izradu sklopova za kemikalce, tj. za brodove za prijevoz kemikalija. Pojavom potrebe za gradnjom teglenica došlo je do novih zahtjeva za izradu sklopova. Jedno od takvih zahtjeva je i sama visina sklopova što predstavlja ograničenje i kod CA i kod CR linije. Kad bi se krenulo razmatrati potencijalne uštede u tom smjeru, trebalo bi napraviti preinake postojećih CA i CR linija što je trenutno jako veliki financijski izdatak brodogradilištu. To je još jedan od razloga zbog čega se u velikoj mjeri potencira ručno zavarivanje.

#### 4. Zaključci

Problem današnjeg brodograđevnog procesa su jako velika odstupanja međuproizvoda tj. pojava raznih varijacija u dimenzijama kao i prevelika „razgranatost“ cjelokupnog procesa. To se posebno očituje u predmontaži gdje postoje četiri procesa izrade sklopova. Izrada na automatiziranoj liniji CA, robotiziranoj liniji CR, liniji za izradu panela P te ručnim zavarivanjem MP. Najveći problem je, *nepotupna automatizacija i robotizacija* kod automatizirane i robotizirane kao i panel linije. Na svakoj proizvodnoj liniji je neophodno prisutstvo operatera. Bilo da se radi o pozicioniranju limova, privarivanju profila ili zadnjim taktovima linije, popravcima ručnim zavarivanjem. Sljedeći problem je *mnogo međuskладиšta*. Limovi i profili se prije odlaska na CA i CR liniju, dovode iz međuskладиšta. Nakon što se obrade na linijama, ponovno odlaze u skladište prije sljedećih procesa (KP, S i T) izrade sekcija, kompletiranih panela i trodimenzionalnih sekcija. U prosjeku u ovom posljednjem međuskладиštu se zadržavaju oko 30 minuta što je veliki gubitak vremena. Promijeni li se gledište te se spomenuti proizvodni proces počne razmatrati kao odlična osnova za ostvarivanje poboljšanja, ostvarit će se uštede i u vremenu rada kao i prostoru. Neke analize su pokazale da se cijelom problemu treba pristupiti u smjeru „one-piece-flow“ toka proizvodnje. „One-piece-flow“ govori kako bi se postojeće automatizirana linija i robotizirana linija u kombinaciji sa ručnim zavarivanjem, trebale „prebaciti“ na jednu proizvodnu liniju tzv. IMP (Integrated Micro-panels Line), *integrirana mikro-panel linija*. Eliminirala bi se čekanja u međuskладиštima, smanjila bi se potreba za operaterima, ostvarila bi se bolje iskoristivnost radnog prostora te najbitnije, ostvarile bi se uštede u radnim satima. To će biti jako teško realizirati dok postoje jako velika odstupanja među proizvodima. Treba se znači, poraditi na standardizaciji sklopova za sve brodove. Naravno, to je moguće samo do određene faze proizvodnog procesa, no i samim time bi se postigle značajne uštede. U budućnosti se treba težiti usavršavanju predmontažne faze gradnje broda kao osnove za izvođenje svake sljedeće faze proizvodnog procesa brodogradilišta. Ostvarivanjem ušteta u sponemtoj predmontažnoj

fazi gradnje broda, automatski se ostvaruju uštede u svakoj sljedećoj. Proizvodne linije poput automatizirane i robotizirane proizvodne linije su budućnost brodograđevne industrije. Manjim utroškom sati se postiže isti, ako ne i veći stupanj kvalitete proizvoda što je od velike važnosti za brodograđevnu industriju.

## 5. Literatura

1. D. KOLICH, R. L. STORCH, N. FAFANDJEL, "Lean manufacturing in shipbuilding with Monte Carlo simulation", International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, Trieste, Italy, 2011
2. "Integrated Hull Construction, Outfitting and Painting (IHOP)", THE NATIONAL SHIPBUILDING RESEARCH PROGRAM, U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Maritime Administration, in cooperation with Todd Pacific Shipyards Corporation, May 1983
3. D. KOLICH, Y. L. YAO, N. FAFANDJEL, M. HADJINA, "Value stream mapping micropanel assembly with clustering to improve flow in a shipyard", International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH 2014, Leiria, Portugal, September 2014.
4. D. KOLICH, R. L. STORCH, N. FAFANDJEL, "Value stream mapping methodology for pre-assembly steel processes in shipbuilding", International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH 2012, Rijeka, September 2012
5. FRANE DRAŠČIĆ, "Utjecaj tehnologije na project broda", Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, ožujak 2009
6. D. KOLIĆ, N. FAFANDJEL, B. ČALIĆ, "Odabir načina primjene koncepta Planiranje za proizvodnju u brodogradilištu pomoću analize rizika", Engineer Review 30-1 (2010) 63-72
7. LOVRE MILOLOVIĆ, "Analiza procesa mikopanel linije i linije za obradu profila u izradi VT sekcije dvodna tankera za prijevoz kemikalija", Završni rad, Tehnički fakultet, Rijeka, rujan 2011



Marina Vukman, Damir Kolić, Nikša Fafandjel, Marko Hadjina

## **DFP Analysis of Robotically Assembled Interim Products in Shipbuilding**

### **Abstract**

The shipbuilding industry belongs to one of the most complex manufacturing industries in the world. During the last couple of decades efforts were made to achieve optimal production, with minimal waste and maximum results of the final product – a ship. In order to allow for this type of manufacturing approach it is necessary to modernize the production processes of a shipyard on a regular basis by following world trends in shipbuilding. Investments in the advancements of assembly lines is a key and primary move towards achieving savings. In the industrial world there is a constant goal of automation and robotization of assembly processes since the degree of achieving this goal is still not satisfactory. Based on this reason the facilities of most shipyards are still only partially automated and roboticized, which means that there is still a large percentage of manual work. This paper analyzes the fallbacks of the assembly processes of a specific shipyard with the aim of providing insight into the realistic possibilities of optimizing the assembly phase of shipbuilding.

**Keywords:** Design for production, shipbuilding, sub-assembly, automation, robotization.

