

UDK 005.5:629.5:65.01:658.5

**PRIJEDLOG ODREĐIVANJA TEHNOLOŠKIH PARAMETARA ZA
RACIONALIZACIJU PROJEKATA BRODOGRAĐEVNOG PROIZVODNOG
PROGRAMA**

**PROPOSAL FOR THE DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL
PARAMETERS FOR DESIGN RATIONALIZATION OF A SHIPBUILDING
PRODUCTION PROGRAM**

Damir KOLIĆ – Nikša FAFANDJEL – Dario BIĆANIĆ

Sažetak: Na današnjem konkurentnom brodograđevnom tržištu, gdje brodogradilišta jedva preživljavaju, potrebno je analizirati nove i bolje metode integriranja projektiranja i proizvodnje radi smanjenja troškova i povećanja dobiti. Tradicionalni pristup brodograđevnih inženjera prema projektiranju uključuje izradu projekta koji će zadovoljiti zahtjeve i očekivanja brodovlasnika, ali koji će, istovremeno, biti u skladu sa klasifikacijskim i ostalim pravilima i propisima. Koncept "projektiranja za proizvodnju" predstavlja daljnji korak prema smanjenju troškova u proizvodnji uz istovremeno zadovoljavanje prethodno navedenih zahtjeva. Pošto je konkurencija brodogradilišta globalna, i koncentriranje samo na zadovoljavanje uvjeta kvalitetnog projekta, a bez sustavnog razmišljanja o njegovoj proizvodnji i to već od rane faze projektiranja, može biti rizično. Cilj ovog članka je, pored sugeriranja brodograđevnim inženjerima kako primijeniti u brodogradilištu koncept "projektiranja za proizvodnju" i predložiti način za određivanje tehnoloških parametara za racionalizaciju projekata brodograđevnog programa. Istraženi primjer primjene koncepta projektiranja za proizvodnju uključuje analiziranje projektnih i strukturalnih promjena proizvodnog programa predmetnog brodogradilišta. Osnovan je prijedlog određivanja tehnoloških parametara za racionalizaciju projekata usklađen sa mogućnosti proizvodnih postrojenja istog brodogradilišta. Završno su date i projektne smjernice, kako bi se znatno olakšao posao brodograđevnim inženjerima u obradi upita za novogradnje u skladu s načelima "projektiranja za proizvodnju".

Ključne riječi: – brodogradnja
– projektiranje za proizvodnju
– projektne smjernice

Abstract: In today's competitive shipbuilding market where shipyards are barely able to survive, it is necessary to analyze newer and better methods of integrating ship design and production in order to reduce costs and increase profit. The traditional approach of naval architects in ship design includes creating a design which satisfies the requests and expectations of the owner as well as being in compliance with classification society requirements and other pertinent rules and regulations. The "design for production" concept represents a major step towards reducing ship production costs, while simultaneously complying with the previously mentioned design requirements. Competition between shipyards has become global, and simply concentrating efforts on satisfactory ship design without considering the constraints of production early in the design process is risky. Therefore, the aim of this article includes, along with suggestions for naval architects on how to implement the "design for production" concept, an explanation for determining the technological parameters for rationalization of the designs of a shipbuilding production program. The design for production example that was researched in this work includes analyzing the design variations and structural configurations of a shipbuilding production program; determining the technological parameters for design rationalization in compliance with production facilities; and finally creating future design guidelines to be used by naval architects on new vessel designs.

Keywords: – shipbuilding
– design for production
– design guidelines

1. UVOD

Na današnjem konkurentnom brodograđevnom tržištu gdje brodogradilišta jedva preživljavaju, potrebno je analizirati nove i bolje metode integriranja projektiranja i proizvodnje radi smanjenja troškova i povećanja profita. Tradicionalni pristup brodograđevnih inženjera prema projektiranju uključuje izradu projekta koji će udovoljavati zahtjevima i očekivanjima brodovlasnika, ali koji će istovremeno biti i u skladu sa klasifikacijskim i ostalim pravilima i propisima. Koncept "projektiranja za proizvodnju" predstavlja daljnji korak prema smanjenju troškova u proizvodnji uz istovremeno zadovoljavanje prethodno navedenih zahtjeva. Pošto je konkurencija brodogradilišta globalna to koncentriranje samo na zadovoljavanje uvjeta kvalitetnog projekta, ali i bez sustavnog razmišljanja o njegovom proizvođenju, i to već od rane faze projektiranja, može biti rizično.

2. PORIJEKLO

Brodogradilišta su tradicionalno projektirala svoje brodove temeljene na zahtjevima i uvjetima dobivenim od strane brodovlasnika. Danas se sve više projektnih poslova podugovara s vanjskim projektnim kućama, a neki brodovlasnici pristupaju prema brodogradilištu i s vlastitim projektima tražeći cijenu koštanja proizvodnje broda. Radi povećane konkurencije na svjetskom tržištu, brodogradilišta su prisiljena razmišljati i o opcijama koja nisu tradicionalne. Prema studiji o usporedbi brodogradilišta, urađenoj u 2007. od strane *First Marine International*, poznati brodograđevni konzultanti otkrili su da su „dubina i kvaliteta projekata iz brodogradilišta SAD-a jednaka, ako ne čak i bolja u odnosu na druga međunarodna brodogradilištima“, ali i da su efektivni sati rada, potrebni za proizvodnju, znatno veći od onih koje ima strana konkurencija [1]. Metoda *projektiranja za proizvodnju*, međutim, zahtijeva da svaki projekt, bez obzira je li urađen od strane brodogradilišta ili, pak, od strane vanjskih projekatnata, mora proći kroz filter kriterija usklađenih prema načelima glavnog cilja „pojednostavljenja u proizvodnji“ te konačnog smanjenja proizvodnih troškova i povećanja dobiti [2].

2.1. Zadaća proizvodnog inženjeringa

Projektiranje za proizvodnju objedinjuje tri ključne funkcije u brodogradilištu: projektiranje, planiranje i proizvodnju kroz stvaranje nove funkcije: proizvodnog inženjeringa. Proizvodni inženjering je funkcija koja pomaže u otkrivanju učinkovitih metoda i procesa u svrhu pretvaranje projekta broda u gotov proizvod te se ponaša kao „most“ između projekatnata i proizvodnje. Istovremeno, planska funkcija mora biti u stalnoj

1. INTRODUCTION

In today's competitive shipbuilding market where shipyards are barely able to survive, it is necessary to analyze newer and better methods of integrating ship design and production in order to reduce costs and increase profit. The traditional approach of naval architects in ship design includes creating a design which satisfies the requests and expectations of the owner as well as being in compliance to classification society requirements and other pertinent rules and regulations. The *design for production* concept represents a major step towards reducing ship production costs, while simultaneously complying with the previously mentioned design requirements. The competition between shipyards has become global, and simply concentrating efforts on satisfactory ship design without considering the constraints of production early in the design process is risky.

2. BACKGROUND

Shipyards have traditionally designed their own vessels based upon owner requests and requirements. Today there is more and more outsourcing of design work where some owners approach shipyards with their own designs to inquire for vessel price. Since shipyards are facing great competition in today's unforgiving market, they need to consider many options which are less than traditional. According to a benchmarking study of shipyards performed in 2007 by *First Marine International*, a renowned shipyard consultant, it was discovered that "the depth and quality of design of US shipyards are equal to or superior to that of the international yards". However, the man hours expended to produce vessels is much greater than that of the foreign competition [1].

Design for production requires that each design, whether made in-house or by an outside designer, must pass through a filter of *design for production* criteria where the main aim is "ease of production" and finally reducing shipbuilding costs and increasing profit [2].

2.1. Production engineering relationships

Design for production integrates three key functions of shipyard activity: design, planning and production by creating a new shipyard function, and production engineering. Production engineering is a function that aids in determining efficient methods and processes for converting a design into a physical product by acting as a bridge between the designers and producers of the product. In parallel, the planning function is also

sprezi sa proizvodnim inženjeringom [2].

Jedan od ključnih zadataka proizvodnog inženjeringa uključuje i raščlambu brodske strukture u svrhu povećanja proizvodnje sličnih strukturalnih komponenti, kako sklopova i sekcija u čeliku tako i sekcija na opremanju. Proizvodni inženjering pokriva detaljni pregled broda iz perspektive proizvodnje i potrebnih postrojenja, što uključuje izradu idejnog projekta sve do stadija izrade tehničke i tehnološke dokumentacije [2].

3. ANALIZA PROIZVODNOG PROGRAMA BRODOGRADILIŠTA

Kao temelj za primjenu predloženog koncepta, potrebno je izvesti analizu tipskih brodova proizvodnog programa brodogradilišta te njihovih tehnoloških cjelina kroz tri osnovna cilja [2]:

- 1) analizirati projektne varijacije i strukturalne konfiguracije projekta u proizvodnom programu brodogradilišta;
- 2) odrediti tehnološke parametre standardnog tipa sekcije vezane za: ograničene promjene dimenzija, slične strukturalne oblike; sličan slijed sastavljanja / proizvodni proces, i sličan radni sadržaj te
- 3) razviti smjernice za projektne i tehnološke odjele brodogradilišta uz opis projektnog i radioničkog kriterija u uvođenju "standarda" međuproizvoda za buduće projekte novogradnji.

3.1. Analiza projektne varijacije i strukturalnih konfiguracija tipičnih brodova proizvodnog programa

Brodovi izabrani za analizu su: 160.000 dwt tanker za prijevoz sirove nafte i 289,6 m x 32,2 m Ro-Ro brod za vojne namjene [2]. Ova dva broda predstavljaju tipične brodove koje je brodogradilište već gradilo i koje očekuje graditi u budućnosti. Analiza je uključila prikupljanje osnovnih promjena dimenzija elemenata međuproizvoda te oblika unutarnje strukture i njezine međupovezanosti. Za promjenu dimenzija odabrani su za analizu slijedeći tehnološki elementi: promjena debljine limova unutar jednog panela; pravac prostiranja limova; vrsta uzdužnjaka sa dimenzijama; razmak uzdužnjaka i njihov broj po panelu; visina okvirnih ukrepa; razmaci okvira i broj okvira po panelu; dimenzije i masa panela, te masa sekcije i kvaliteta čelika [2], (tablica 1). Za analizu unutarnjeg strukturalnog oblika izabrano je: prolazi uzdužnjaka (ukrepljenja panela) te ukrepe i konfiguracija okvira [2], (tablica 2). Tako prikupljeni i tablično prikazani svi podaci (viditi tablice 1 i 2), praktičniji su za analizu, minimiziranje, pojednostavljenje i standardiziranje proizvodnje

constantly in interface with the production engineering function [2]. One of the key tasks of production engineering involves the breakdown of the ship structure in order to maximize the production of similar structural components, assemblies and blocks in both steel and outfit. Production engineering covers the detailed examination of the ship from a production and facilities point of view, from the initial design stages through all stages of the preparation of technical and technological documentation [2].

3. SHIPYARD PRODUCTION PROGRAM CASE STUDY

The project examined typical vessels in the company's product range and addressed the technological problem areas through three principle objectives, which were [2]:

- 1) to analyze the design variations and structural configurations of vessels in the shipyard production program;
- 2) to determine the technological parameters of a "standard" block type design in terms of: limited scantling variation, similar structural configuration, similar assembly sequence, and similar work content;
- 3) to develop a set of guidelines for the design and engineering departments defining the design and detail engineering criteria for the introduction of the "standard" block type into future new vessel designs.

3.1. Analysis of design variations and structural configurations of typical vessels of the production program

The typical vessels that were chosen for analysis were: 160.000 dwt crude carrier and a 289,6 m x 32,2 m Sea-Lift Ro-Ro vessel [2].

These two ships represent vessel types that the shipyard has built in the past and expects to build in the future. The analysis examined the basic design scantling variations and the configurations of principal internal structures and connections. For the scantling variation, the following technological elements were selected for analysis: plate thickness variation within a single panel; direction of plate straking; longitudinal scantling and type of section; longitudinal spacing and number of longitudinals per panel; depth of transverse webs; spacing of webs and number of webs per panel; panel size and weight; and block weight and grades of steel [2]. See Table 1.

For the internal structural configurations, the following were selected for analysis: longitudinal web penetration, and configuration and stiffening [2]. See Table 2.

Once all of the data is collected in tabular form (See Tables 1 and 2) it becomes much more practical to

međuproizvoda putem jednostavne usporedbe, a nakon čega se određuju potrebni tehnološki parametri koji će biti korisni za buduću primjenu.

3.2. Određivanje tehnoloških parametara projekta standardnog tipa međuproizvoda

Spomenuta analiza istaknula je sljedeće kritične točke: u brodogradilištu ne postoje željeni projektni oblici utemeljeni u svrhu preusmjerenja dosadašnjih rješenja projektnih i tehnoloških odjela; nedostaje željena veličina međuproizvoda i prevelik je broj i radioničkih standarda, sa mnogim promjenama, koje se izvode u brodogradilištu [2].

Radi navedenih nedostataka vezanih za projektna ograničenja i standarde, određena su tri ključna tehnološka parametra u svrhu uvođenja minimiziranja i standardiziranja i to na planu:

- 1) Strukturalnih dimenzija i oblika;
- 2) Oblika okvirnih rebara i poprečnih elemenata;
- 3) Radioničkih standarda.

Ad 1) Strukturalne dimenzije i oblici određuju se sa ciljem:

- smanjenja broja različitih dimenzija uzdužnjaka (tablica 1, redak 2);
- standardiziranja uzdužnjaka na bulb- profile ili T-nosače (tablica 1, redak 3). (Polovični U- profil split treba izbaciti iz svih budućih projekata);
- standardiziranja razmaka uzdužnjaka na 900 mm. (Razmak uzdužnjaka se mijenja od 760 mm do 910 mm, pa je razmak od 900 mm logičan standardan razmak koji će omogućiti učinkovitiju proizvodnju).

Ad 2) Oblik okvirnih rebara i poprečnih elemenata prikazan je u tablici 2, sa ciljem pojednostavljenja unutarnje strukture za rad u proizvodnji sastavljanja doveo je do sljedećih poželjnih oblika:

- unutarnje ukrepljenje strukture će biti izvedeno ili bulb- profilima ili trakama (tablica 2, redak vrsta okvira/ pod ukrepe okvira);
- unutarnje ukrepe nisu spojene sa uzdužnjacima (tablica 3, redak veza s uzdužnjacima/ pod ukrepe okvira);
- smanjen je broj koljena (tablica 2, redak veza s uzdužnjacima /pod ukrepe okvira);
- predlaže se vodoravno ukrepljivanje okvirnih rebara i nosača u svrhu olakšanje rada umjesto okomitog ukrepljavanja, koje izaziva otežan način rada (tablica 2, redak veza s uzdužnjacima/ pod ukrepe okvira).

Ad 3). Radionički standardi koji trebaju bolju standardizaciju uključuju:

- Uzdužne prolaze i zakrpe “maškarete” (tablica 2, prolazi uzdužnjaka),

analyze ways of minimizing, simplifying and thereby standardizing interim product manufacture simply through comparison. Next, it is necessary to determine the technological parameters that will be useful for implementation in future designs.

3.2. Determining the technological parameters of a standard block type design

The above analysis exercise results in the following important points to be emphasized: there were no established preferred design configurations to guide the design and engineering departments; there were no preferred material scantling sizes; and there were many different detail design standards with unnecessary variations [2].

Based upon the above mentioned lack of production engineering design constraints and standards, three key technological parameters were decided upon to implement minimization and standardization.

- 1) Structural scantlings and configuration;
- 2) Web girder and transverse configuration;
- 3) Detailed design standards.

The key parameters were further detailed.

1) Structural scantlings and configuration aimed at:

- rationalizing longitudinal sections to a limited range of standards (See Table 1, row 2);
- standardizing longitudinal rolled sections to either bulb plates or T-beams (See Table 1, row 3) The split channel sections should be eliminated from future designs;
- standardizing longitudinal spacing at 900 mm (See Table 1, row 4). The longitudinal spacing of the two vessels in the shipyard production program varies from 760 mm to 910 mm. 900 mm is a reasonable standard longitudinal spacing that is production friendly.

2) Web girder and transverse configuration was studied in Table 2. The aim of simplifying the internal structure for manufacture and assembly led to the following preferred configurations:

- internal structure stiffening to be either bulb plates or flat bar (See Table 2, Stiffener type of the web stiffeners row);
- internal stiffening not connected to longitudinals (See Table 2, Connection with longitudinals of the web stiffeners row);
- reduced number of brackets (See Table 2, Connection with longitudinals of the web stiffeners row);
- horizontal stiffening of webs and girders in order to make welding work easier as opposed to vertical stiffening of webs and girders (See Table 2, Connection with longitudinals of the web stiffeners row).

3) The detail design standards that need standardizing include:

- Otvore za odzračenje i odvodnjavanje panela u svrhu automatskog zavarivanja „skalope“.

Navedeni tehnološki parametri određeni su tek nakon što su tablice 1 i 2 urađene i temeljene na preporukama brodograđevnih konzultanata, *First Marine International*, a ova analiza je usklađena sa konceptom *projektiranje za proizvodnju* koji ima za cilj minimiziranje i standardiziranje, kako konstrukcijskih elemenata međuproizvoda tako i potrebne količine rada za njihovu izvedbu [2, 3]

3.3. Smjernice za buduće projekte

Nakon analize projektnih promjena i strukturalnih oblika, određeni su tehnološki parametri, važni za primjenu metodologije *projektiranje za proizvodnju*. Ovaj nov prijedlog u razvijanju projektnih smjernica potreban je u svrhu učinkovitijeg sastavljanja tipičnog međuproizvoda koji se može proizvoditi na automatiziranoj panel liniji. Slika 1 predstavlja nove smjernice za proizvodnju na panel-liniji [2]:

- 1) Svi limovi moraju imati istu debljinu po širini panela, posebice temeljni panel građene jedinice.
- 2) Kada se debljina lima mijenja po širini sekundarnog panela, njega treba sastavljati na drugoj lokaciji brodogradilišta, kako se ne bi ometala na liniji protočnost ostalih.

Opći kriteriji panel-linije [2]:

- 1) Maksimalna duljina lima panel-linije je 15800 mm.
- 2) Maksimalna širina panela je 16900 mm (sastavljanja od tri do pet širina limova).
- 3) Svi limovi panela moraju biti složeni po istom pravcu postavljanja.
- 4) Svi uzdužnjaci panela moraju biti postavljeni u istom pravcu kao i postavljeni limovi.
- 5) Opseg debljine limova panel-linije je:

8 mm do 31 mm:	za čelik standardne čvrstoće
8 mm do 19 mm:	za čelik povišene čvrstoće

Slika 1 pokazuje presjek na glavnom rebru tankera za sirovu naftu sa svim označenim osnovnim strukturalnim elementima, a ograničene su i dimenzije međuproizvoda.

Slika 2 određuje dimenzije uzdužnjaka, a tablica 3 pokazuje i vrijednosti maksimalnih veličina uzdužnjaka. Slika 3 pokazuje ukrepe postavljene na samo jednoj strani rebrenica te standarde za prolaz uzdužnjaka (Cutout type 102). Uzdužnjaci su ograničeni samo na bulb- profile ili T- nosače. Slika 4 prikazuje poželjnu metodu sastavljanja panela, dok slika 5 prikazuje pripremu rubova potrebnu za različite debljine na panel-liniji.

- longitudinal cut-outs and collars (See Tables 2, Longitudinal web penetration),
- air and drain holes located off the panel for automatic welding.

These key technological parameters were determined after collecting the data for Tables 1 and 2 and also based upon experience and recommendations by the shipyard consultants, *First Marine International* [2]. This analysis is in compliance with the *design for production* concept aimed at minimizing and standardizing interim product elements and their manufacturing work content [2, 3].

3.3. Future design guidelines

After the analysis of design variations and structural configurations is performed, the determination of technological parameters that will improve *design for production* methodology is made. A new insight required for the development of design guidelines is necessary. In this project, it was decided to concentrate on a typical interim product, the flat double skin block. Figure 1 represents panel assembly guidelines [2]:

- 1) All panel plates must be the same thickness over the width of a panel, particularly for the base panel of the built up unit.
- 2) Where plate thicknesses vary over the width of the secondary panel, the panel should be assembled at another shipyard location, in order not to decrease the throughput of the other panels.

The general criteria for the panel line [2]:

- 1) Maximum plate length for panel line is 15800 mm.
- 2) Maximum panel width is 16900 mm, three to five plates wide.
- 3) All panel plates must be stacked in the same direction.
- 4) All panel stiffeners must be in the same direction as the plate straking.
- 5) Plate thickness range for the panel line is:

8 mm to 31 mm:	mild steel
8 mm to 19 mm:	high strength steel

Figure 1 below shows a generic midship section of a crude oil carrier with all basic structural elements labeled. Dimension constraints of interim products are labeled as well.

Figure 2, below, defines the longitudinal stiffener dimensions and Table 3 provides the values for the maximum permissible longitudinal stiffener sizes. In Figure 3, web stiffeners are defined as being only on one side of the web transverses, and the cutout type standard for longitudinal penetrations is defined as well. The longitudinal stiffener is to be either bulb plate or manufactured T (MT). Figure 4 illustrates the preferred panel-block assembly method. Finally Figure 5 illustrates the edge preparation required for different plate thicknesses along the panel line.

Tablica 1. Promjene u projektu [2]

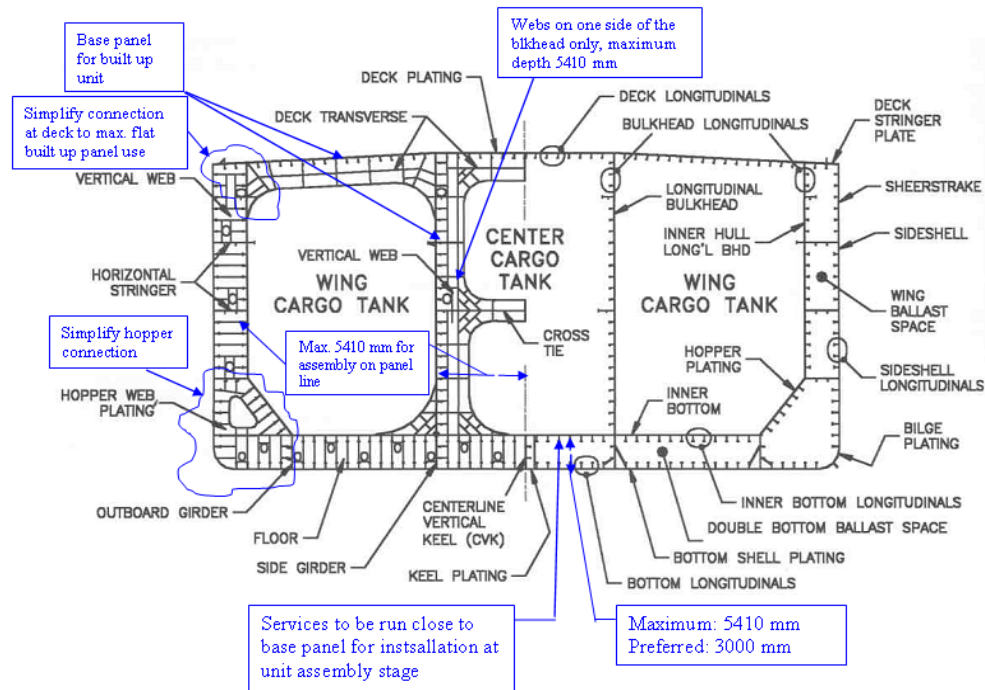
Table 1. Design variations [2]

Redni broj No.	Konfiguracija Configuration	Ro-Ro brod za vojne namjene Sea-Lift (Ro-Ro) vessel			160.000 dwt tanker za sirovu naftu 160,000 dwt crude carrier	
		Analizirane sekcije Blocks analyzed			Analizirane sekcije Blocks analyzed	
		C' paluba sa kutijastim nosačem na simetrali C' deck with CL box girder	C' paluba bez kutijastog nosača na simetrali C' deck without CL box girder	Vanjska oplata Shell	Gornja paluba Upper deck	Uzdužna centralna pregrada CL longitudinal bulkhead
1	Debljina limova panela Plate thickness variation within panels	41 mm, 32 mm, 18 mm 5 limova po panelu 5 plates per panel	18 mm 4 limova po panelu 4 plates per panel	19 mm 22 mm 5 limova po panelu 5 plates per panel	25 mm 6 limova po panelu 6 plates per panel	19 mm 17 mm 4 limova po panelu 4 plates per panel
2	Dimenzije uzdužnjaka Longitudinal scantlings	230 mm x 19 mm	230 mm x 19 mm	200 mm x 9 mm 300 mm x 11mm	310 mm x 10 mm	400 mm x 14 mm 370 mm x 13 mm
3	Vrsta ukrepa Type of section	Prepolovljen U- profil Split channel	Prepolovljen U- profil Split channel	Bulb profil Bulb plate	Bulb profil Bulb plate	Bulb profil Bulb plate
4	Razmak uzdužnjaka Longitudinal spacing	760 mm	760 mm	760 mm, 790 mm and 890mm	910 mm	910 mm, 800 mm
5	Broj uzdužnjaka po panelu No. of longitudinals per panel	14 + 2 uzdužna nosača 14 + 2 longl girders	13	13	20	13
6	Razmak okvira Spacing of webs	2740 mm, 1830 mm	2740 mm , 1830 mm	2740 mm , 1830 mm	3960 mm	3960 mm
7	Broj okvira po panelu Number of webs per panel	6	6	6	4	4
8	Visina okvira Depth of webs	710 mm	710 mm	914 mm	Nominal: 1800 mm Extreme: 6200 mm	Nominal: 2000 mm Extreme: 6000 mm
9	Dimenzije panela (mm) Panel size (mm)	14700 x 15550	15060 x 15550	13180 x 15550	17980 x 15850	11890 x 15850
10	Masa panela (tona) Panel weight (tons)	39,30	28,22	37,86	61,60	29,1
11	Masa sekcije (tona) Block weight (tons)	75,6	47,2	91,8	96,0	67,2
12	Kvaliteta čelika Grade of steel	AH-36	AH-36	A	AH-36	A
13	Pravac postavljanja limova Direction of plate straking	Uzdužno pramac- krma Longitudinally Fwd-Aft	Uzdužno pramac- krma Longitudinally Fwd-Aft	Uzdužno pramac- krma Longitudinally Fwd-Aft	Uzdužno pramac- krma Longitudinally Fwd-Aft	Uzdužno pramac- krma Longitudinally Fwd-Aft

Tablica 2. Promjene strukturalnih oblika [2]

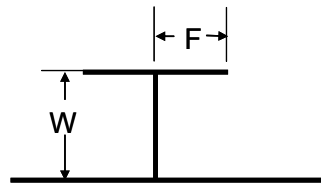
Table 2. Structural configuration variations [2]

Konfiguracija Configuration		Vojni Ro-Ro brod Sea-Lift (Ro-Ro)	160.000 dwt tanker za sirovu naftu 160.000 dwt crude carrier	
		Analizirane sekcije Blocks analyzed		
		Glavna paluba Main deck	Gornja paluba Upper deck	Uzdužna centralna pregrada CL longitudinal bulkhead
Prolazi uzdužnjaka Longitudinal web penetration	Prolazi prema obliku uzdužnjaka Fitted slots	Nema None	Nema None	Nema None
	Jedna strana spoj i druga strana sa pločicom One side fitted and one lug	Nema None	Nema None	Nema None
	Jedna strana spoj bez pločice One side fitted without lug	5 uzdužnjaka 5 longitudinals	12 uzdužnjaka 12 longitudinals	13 uzdužnjaka 13 longitudinals
	Zakrpa "maškareta" Tight collar	Nema None	Nema None	Nema None
	Prolaz bez spoja bez pločica Open cut-out without lugs	Nema None	Nema None	Nema None
Ukrepe okvira Web stiffeners	Dimenzije ukrepa (mm) Stiffener size (mm)	150 x 10	200 x 12	200 x 12
	Vrsta ukrepa Stiffener type	Traka Flat bar	Traka Flat bar	Traka Flat bar
	Veza s uzdužnjacima Connection with longitudinals	Zavareno u liniji s uzdužnim okvirom Welded in line with longitudinal web	Zavareno u liniji s uzdužnim okvirom Welded in line with longitudinal web	Zavareno u liniji s uzdužnim okvirom Welded in line with longitudinal web
	Vrsta okvira Web type	T nosač T beam	T nosač T beam	T nosač T beam



Slika 1. Glavno rebro tankera sa određenim ograničenjima [2, 4]

Figure 1. Midship section of a generic tanker with constraints [2, 4]



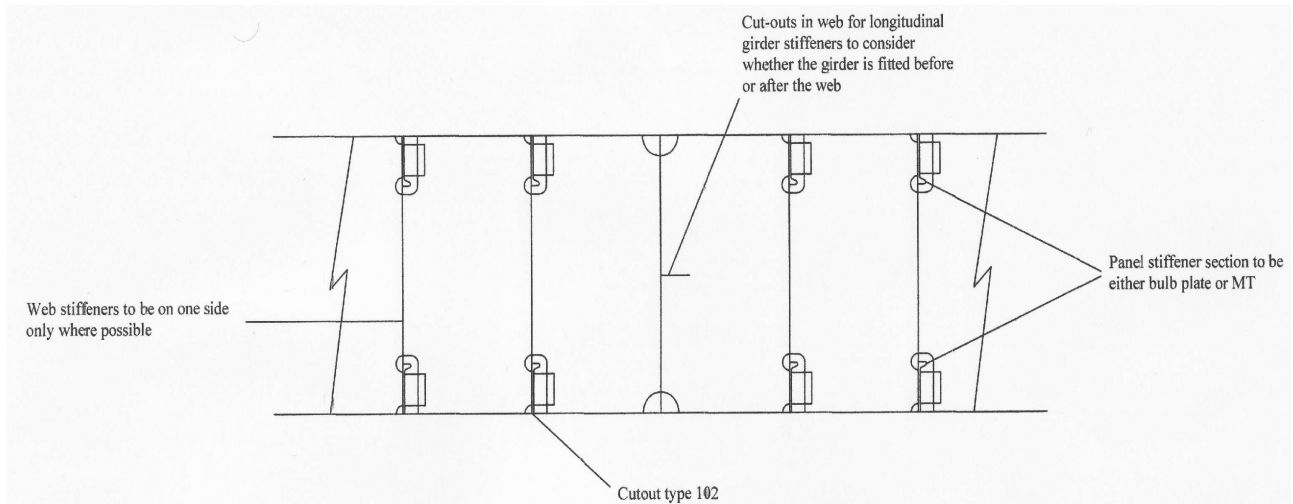
Slika 2. Određivanje dimenzija uzdužnjaka [2]

Figure 2. Longitudinal stiffener dimension definitions [2]

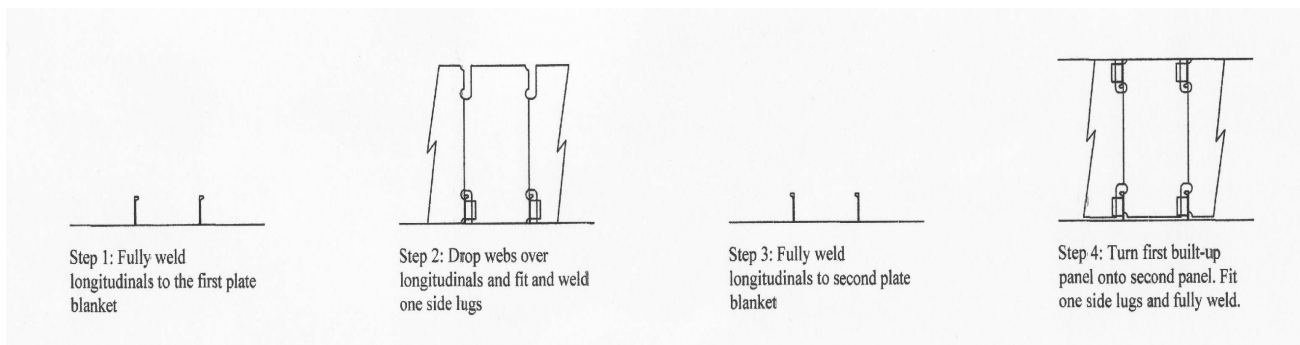
Tablica 3. Maksimalne dimenzije uzdužnjaka [2]

Table 3. Maximum longitudinal stiffener sizes [2]

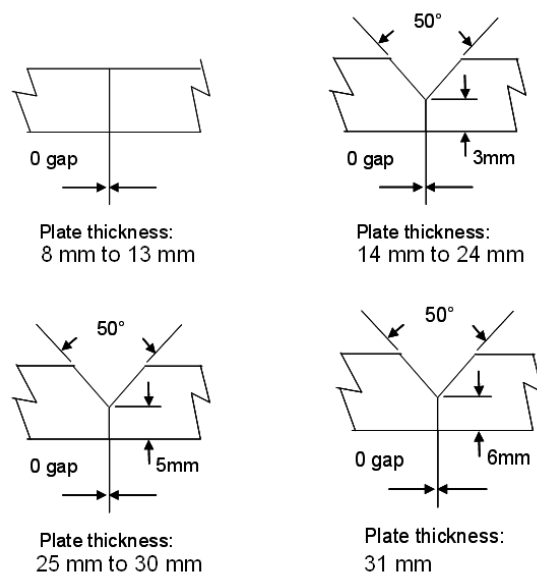
W	F
Bulb profili T nosači	T nosače
Bulb plates Manufactured Ts	Manufactured Ts
mm	mm
127	76
152	89
178	102
208	127
229	127
254-762	152
775-934	152



Slika 3. Ukrepe panela
Figure 3. Panel stiffeners



Slika 4. Metoda sastavljanja sekcije
Figure 4. Panel-block assembly method



Slika 5. Priprema rubova limova panela za različite debljine na panel - liniji [2]
Figure 5. Panel edge plate preparation for the panel line for different thicknesses [2]

4. ZAKLJUČAK

Provođenje metodologije *projektiranje za proizvodnju* u brodogradilištu zahtijeva ustroj relativno nove funkcije, tj. funkcije proizvodnog inženjeringa, još u najranijim stadijima projektiranja broda, još prije samog ugovaranja. Najbolji brodograđevni inženjeri u odjelima prodaje trebaju biti i proizvodni inženjeri, jer funkcija proizvodnog inženjeringa jedna je od najvažnijih u upravljanju brodogradilištem, a u svrhu smanjenja troškova i ostvarenja dobiti.

Iz razloga što mnoga brodogradilišta imaju u svom proizvodnom programu više tipova brodova, potrebno je analizirati projektne promjene i strukturalne oblike različitih tipova brodova i prikazati u tabelarnoj formi kao što je to urađeno za tankera sirove nafte od 160.000 dwt, i Ro-Ro brod za vojne namjene duljine $L = 289$ m. Tehnološki parametri koji poboljšavaju proizvodnju kroz minimiziranje i standardiziranje međuproizvoda, a određene su i konačno urađene i projektne smjernice za brodograđevne inženjere, u svrhu primjene na budućim projektima. Ove smjernice će pomoći projektantima, jer ih prisiljavaju razmišljati o proizvodnim ograničenjima i preporukama za poboljšanje i primjenu na svim projektima prije upuštanja u intenzivne pregovore oko sklapanja ugovora. Brodski projekti koje izrađuju vanjski projektanti-suradnici, također trebaju proći kroz filter ovih projektnih smjernica i moraju biti usklađeni prije razmatranja i potpisivanja ugovora.

Metodologija *projektiranje za proizvodnju* opisana u ovom radu praktična je za brodogradilišta koja ne grade velike serije jednog tipa broda, nego proizvode male količine više vrsta brodova. Ovu metodologiju može provesti svako brodogradilište i ažurirati stanje prema vlastitim proizvodnim resursima. Tehnološki parametri određeni za brodove proizvodnog programa iz ovog rada mogu biti slični i u drugim brodogradilištima, ali je normalno očekivati da će izabrani tehnološki parametri, kod nekih brodogradilišta biti i nešto različiti, iz razloga raznolikosti tipova brodova iz proizvodnog programa te posebnosti proizvodnih postrojenja brodogradilišta, ali se, na sličan način, projektne smjernice mogu ažurirati. Koristeći metodologiju *projektiranja za proizvodnju*, prikazanu u ovom radu, mogu se dobiti praktični rezultati za buduće upite o gradnji brodova.

4. CONCLUSIONS

The implementation of a *design for production* methodology in a shipyard essentially requires the use of a relatively new function, production engineering in the earliest phases of ship design. Top-notch naval architects in the design and project-sales departments of shipyards need to become production engineers, because the production engineering function is one of the most important in steering a shipyard in the direction of decreasing costs and increasing profit.

Since many shipyards have a production program which produces more than one type of vessel, it is necessary to analyze the design variations and structural configurations of the different ship types in tabular form. This was demonstrated for a 160.000 deadweight crude carrier, and a $L = 289$ m Sea-Lift Ro-Ro vessel. Technological parameters that resolved production issues by minimizing and standardizing of interim products were then determined. Finally design guidelines were made in order to help naval architects create future designs that are compliant to the shipyard facilities. These guidelines aid naval architects by forcing them to consider production constraints and design recommendations and apply them to all designs prior to intensive contract negotiations. Likewise, designs that are developed outside of the shipyard need to pass through the shipyard design guidelines filter and be adapted accordingly before being considered for contract signing.

The *design for production* methodology explained in this paper is practical for shipyards that do not build large series of just one vessel type, but instead small numbers of multiple vessel types. This methodology could be implemented by shipyards and updated according to their production facilities. The technological parameters that were determined for the vessels of the production program in this paper could be similar to that of some other shipyards. However, it is normal to expect that the technological parameters chosen will be somewhat different because of the variety of ship types and the uniqueness of shipyard facilities. Furthermore, the design guidelines could be adjusted accordingly. Following the *design for production* methodology described in this paper will produce practical results that can be used for future design inquiries.

LITERATURA REFERENCES

- [1] Dlugokecki, V., Fanguy, D., Hepintstall, L.: *Leading the way for mid-tier shipyards to implement design for production methodologies*, Journal of Ship Production, Vol. 25 (2009) 2, p. 99-108.
- [2] *Design for Production Manual*, 2nd edition, National Shipbuilding Research Program, U.S. Department of the Navy Carderock Division, 1999.
- [3] Storch, R.L. et al.: *Ship Production*, SNAME, New Jersey, 1995.
- [4] *Ship Design and Construction*, Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 1, New Jersey, 2003.

Primljeno / Received: 26.03.2010.

Prihvaćeno / Accepted: 25.05.2010

Pregledni članak

Subject review

Adresa autora / Authors' address

Asist. Damir Kolić, dipl. ing.

Red. prof. dr. sc. Nikša Fafandjel, dipl. ing.

Dario Bićanić

Tehnički Fakultet Sveučilišta u Rijeci

Vukovarska 58

51000 Rijeka

HRVATSKA

dkolic@riteh.hr

niksaf@riteh.hr

dbicanic@riteh.hr