

ODABIR NAČINA PRIMJENE KONCEPTA *PROJEKTIRANJE ZA PROIZVODNJU* U BRODOGRADILIŠTU POMOĆU ANALIZE RIZIKA DETERMINING HOW TO APPLY THE *DESIGN FOR PRODUCTION* CONCEPT IN SHIPYARDS THROUGH RISK ANALYSIS

Damir KOLIĆ – Nikša FAFANDJEL – Bruno ČALIĆ

Sažetak: Načela “projektiranja za proizvodnju” su primjenjiva u mnogim industrijama sa različitim stupnjevima uspjeha. Brodograđevna industrija je također počela primjenjivati ova suvremena načela za prilagodbu projekta broda procesu proizvodnje i obrnuto. Radi održavanja konkurentnosti na globalnoj razini, brodogradilišta nastoje stalno poboljšavati postojeće procese u svrhu smanjenja troškova i uvećanja dobiti. Zato se u ovom radu brodograđevni proces sklapanja međuproizvoda prepoznaje kao područje gdje se mogu smanjiti troškovi proizvodnje i primjenom predložene poboljšane metodologije projektiranja za proizvodnju. Analizirane su dvije različite metode za sastavljanje međuproizvoda te je sačinjena analiza radnog sadržaja tipične sekcije dvodna. Kako bi način primjene metodologije projektiranja za proizvodnju omogućio upravama brodogradilišta donošenje odluke sa minimalnim rizikom vezanim za najprikladniju metodu sastavljanja međuproizvoda i trenutačno najboljom za tehnološko stanje brodogradilišta, provedena je analiza rizika korištenjem Monte Carlo metode. Time je omogućeno unaprijeđenje samog načina primjene metodologije “projektiranje za proizvodnju” i ujedno uvid u perspektivu optimalnog razvoja metode sastavljanja međuproizvoda koju treba razvijati u budućnosti sa komplementarnim izmjenama postrojenja brodogradilišta.

Ključne riječi: – Monte Carlo metoda
– brodogradnja
– analiza rizika

Abstract: “Design for production” principles have been applied in multiple industries with varying degrees of success. The shipbuilding industry has also started to apply these advanced principles for adapting vessel design towards production friendliness and vice versa. In order to maintain global competitiveness, shipyards must constantly improve upon existing processes in order to cut costs and increase profit. Therefore, in this paper the shipbuilding process of assembling interim products has been identified as an area where production costs could be reduced through the application of an improved “design for production” methodology. The two principle interim product assembly methods are analyzed and a work content analysis of a typical double bottom block is performed. In order for the application of the “design for production” methodology to be practical for shipyard management in making decisions with minimal risk with regards to choosing the most appropriate method for assembling interim products for the present technological state of the shipyard, risk analysis by use of the Monte Carlo method is undertaken. In this way, the application of the “design for production methodology” is improved upon and new insight is developed concerning the optimal method for development of interim product assembly for the future state with complementary adjustments to the shipyard technology level.

Keywords: – Monte Carlo method
– shipbuilding
– risk analysis

1. UVOD

Načela projektiranja za proizvodnju su primjenjiva u mnogim industrijama s različitim stupnjevima uspjeha. Brodograđevna industrija je također počela primjenjivati ova suvremena načela za prilagodbu projekta broda procesu proizvodnje i obrnuto. Radi

1. INTRODUCTION

Design for production principles have been applied in multiple industries with varying degrees of success. The shipbuilding industry has also started to apply these advanced principles for adapting vessel design towards production friendliness and vice versa. In

održavanja konkurentnosti na globalnoj razini, brodogradilišta nastoje stalno poboljšavati postojeće procese da smanje troškove i uvećaju profit. Zato se u ovom radu brodograđevni proces sklapanja međuproizvoda prepoznaje kao područje gdje se mogu smanjiti troškovi proizvodnje i primjenom predložene poboljšane metodologije *projektiranja za proizvodnju*. Cilj ovog rada je opisati poboljšanu metodologiju *projektiranja za proizvodnju* koja brodograđevnim upravama može koristiti radi izbjegavanja rizika i održavanja niskih troškova, dok istovremeno nastoje praviti realne planove za poboljšanje proizvodnje u budućnosti. Primjene poboljšane metode koja smanjuje duljine zavara i efektivne radne sate sastavljanja međuproizvoda, poput panela i sekcija omogućiti će postizanje i održavanje više razine konkurentnosti. Ove poboljšane metode, također, trebaju biti analizirane prije ulaganja velikih financijskih sredstva u nove uređaje, koje zahtijevaju analiza rizika.

2. PORIJEKLO

Istraživački brodograđevni program SAD-a (NSRP) je identificirao metodologije *projektiranja za proizvodnju* kao „područje posebnog interesa“ [1]. Prema norveškom Institutu za brodska istraživanja, između 40 i 75 % cijelokupne težine bilo kojeg trgovačkog broda (za prijevoz spremnika, tankeri, Ro-Ro brodovi) može biti izvedeno putem automatizirane proizvodne linije [2]. Dakle, analiziranje načina poboljšanja toka i protoka sastavljanja panela i sekcija je primjenljivo u metodologiji *projektiranja za proizvodnju* [3, 4].

2.1. Proizvodni inženjering

Cilj proizvodnog inženjeringa je rasporediti proizvodna postrojenja brodogradilišta kojima će se sastavljati međuproizvodi u skladu sa zahtjevima „vrijeme, kvaliteta i troškovi“ [2]. To je preduvjet za provedbu metodologije *projektiranja za proizvodnju* i omogućuje praktičnu i znanstvenu analizu proizvodnih uvjeta projekta broda kroz njegovu raščlambu na logične međuproizvode, koji će omogućiti određivanje radnog sadržaja i ažuriranje projekta sustava proizvodnje u svrhu smanjenja efektivnih sati proizvodnje [2]. Iz razloga nedostatka strukturalne proizvodne raščlambe (PWBS) koja se temelji na primjeni načela grupne tehnologije u proizvodnji međuproizvoda, brodogradilišta obično dopuštaju da odluku o najboljoj metodi sastavljanja međuproizvoda donese poslovođe prije početka svake radne aktivnosti [2, 5]. Kako se složenost brodske konstrukcije značajno povećala, a količina radnika s visokom razinom vještina znatno se smanjila, cilj je

order to maintain global competitiveness, shipyards must cut costs and increase profit. Therefore, in this paper the shipbuilding process of assembling interim products has been identified as an area where production costs could be reduced through the application of an improved *design for production* methodology. The aim of this paper is to explain an improved *design for production* methodology that can be used by shipyard management to avoid risks and keep costs down, while at the same time making realistic production improvement plans for the future. In order for a shipyard to maintain and/or achieve world competitiveness, constant application of superior methods that will reduce the parameters of weld length and especially man-hours needed to produce the interim products (e.g. panels and blocks) need to be analyzed prior to making expensive capital investments in shipyard equipment. Investing in new technologies which are costly requires prior risk analysis.

2. BACKGROUND

The US National Shipbuilding Research Program (NSRP) has identified *design for production* methodologies “as a research area of special interest” [1]. According to the Norwegian Ship Research Institute, between 40 and 75% of the total steel weight of any given medium sized commercial vessel (container ships, tankers, Ro-Ro vessels) can be processed through an efficiently automated production line [2]. Therefore, analyzing ways of improving the flow and throughput of the panel-block assembling process is applicable in a *design for production* methodology [3, 4].

2.1. Production engineering

The purpose of production engineering is to arrange a shipyard's production facilities to produce interim products in compliance to “time, quality and cost requirements” [2]. It is a prerequisite in the implementation of a *design for production* methodology and enables practical and scientific analysis of ship design production requirements by breaking down a ship into logical interim products, in order to determine the work content and then update the production system design to decrease the required production man-hours [2]. Due to a lack of a product work breakdown structure (PWBS), which is based on applying principles of group technology to all production of all interim products, shipyards have by default left the decision for the best method to build interim products to “craft foremen” just prior to the production activity taking place [2, 5]. Since the complexity of ships has increased considerably and the availability of highly skilled shipyard workers

proizvodnog inženjering-a izraditi PWBS za tipove broda iz proizvodnog programa brodogradilišta. Na ovaj način, radni zadaci su detaljno raščlanjeni s jasnim opisima svih radnih postaja tako da radnici i s minimalnim vještinama mogu završiti zadane poslove na vrijeme, u okviru planiranih troškova i u skladu s postojećim tehničkim uvjetima.

3. STUDIJA SASTAVLJANJA TIPIČNE SEKCIJE DVODNA

Konzultantska firma *First Marine International* je izvršila projekt s ciljem određivanja optimalne metode sastavljanja sekcija sa trenutačnim tehnološkim stanjem u jednom brodogradilištu, kao i odabir optimalne metode za buduću proizvodnju, a da bi uprava brodogradilišta razumjela zašto i kako treba provesti optimalnu metodu, autori ovog rada stvorili su novu metodu korištenjem Monte Carlo analize u svrhu prikaza tehnološke modernizacije razvoja potrebne za uspješnu primjenu poboljšane metode sastavljanja sekcija.

3.1 Metode 1 i 2 sastavljanja sekcija

Izbor najprikladnije metode sastavljanja sekcija će smanjiti efektivne sate rada i poboljšati protočnost međuproizvoda. Istovremeno, komplementarna tehnološka razina postrojenja se također treba uzeti u obzir, jer, dok će jedna metoda smanjiti sveukupnu količinu zavara tipične sekcije dvodna, to nužno ne mora značiti da će i učinkovitost biti poboljšana.

3.2. Metoda 1 sastavljanja sekcije

Uzdužnjaci su potpuno zavareni za lim prvog panela i naliježu na izrez u rebrima jednom stranom, dok se na drugu stranu stavlja pločica radi zadovoljavanja uvjeta čvrstoće zahtjevane od klasifikacijskog društva. Ova metoda sastavljanja koristi se u predmetnom brodogradilištu (slika 1).

3.3. Metoda 2 sklapanja sekcija

Uzdužnjaci se opet potpuno zavare za lim prvog panela, a rebra, sa postavljenim utorima, navlače se preko uzdužnjaka i zavaruju te nema potrebe za zakrpama (pločicama) kao u prethodnoj metodi, što znači eliminaciju zakrpa i smanjenje sveukupne količine zavara u usporedbi sa prvom metodom [2].

has decreased, the objectives of production engineering are to create a PWBS for ship types in the production program. In this way, shipyard manufacturing tasks are broken down into well defined activities with clear descriptions of all workstations so that workers with minimal skills can complete the jobs on time, on budget and in compliance with technical requirements.

3. SHIPYARD CASE STUDY OF A TYPICAL DOUBLE-BOTTOM BLOCK ASSEMBLY

The case study was performed by *First Marine International* consultants and addressed the issue of determining the optimal block assembly method for the present technological state of one shipyard, as well as the optimal block assembly method for the future. In order to enable shipyard management to understand why and how to implement the optimal assembly method for the future, the authors of this paper created a new Monte Carlo risk analysis illustration to show the technological developments required to successfully apply the advanced assembly method in the future.

3.1 Block assembly methods 1 and 2

Choosing the most appropriate block assembly method will decrease man-hours and improve the flow of interim products. At the same time, the complementary facility technological level is also necessary to consider, because whereas one assembly method may reduce the total quantity of weld length of a typical double-bottom block, it may not necessarily mean that efficiency will be improved.

3.2. Principal block assembly method 1

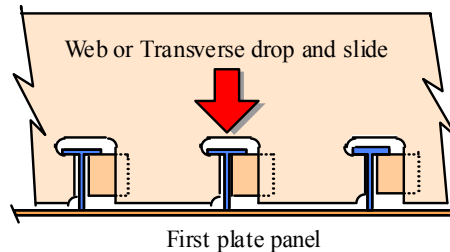
The longitudinal stiffeners are welded to the first plate panel. Then the web transverses with longitudinal cut-outs are placed over the longitudinal stiffeners and welded. One side of the longitudinal stiffeners is fitted and the other side has a loose lug added in order to meet classification society approval for strength. This is the present assembly method that the shipyard in the case study applies [2]. See Figure 1, below.

3.3. Principal block assembly method 2

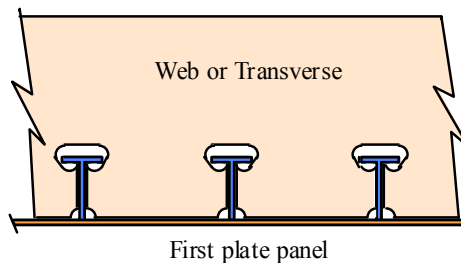
The longitudinal stiffeners are again fully welded to the first plate panel. Then the web transverses with fitted slots instead of cut-outs are pulled over the longitudinal stiffeners and welded. There is no need for loose lugs as in assembly method 1, above. The elimination of loose lugs means the weld lengths are decreased in comparison to assembly method 1 [2].

Međutim, i dalje je potrebno prosuditi da li se ova metoda može „standardizirati, pojednostaviti i specijalizirati“ sa sadašnjom razinom tehnologije brodogradilišta [5]. Dakle, proizvodni inženjeri moraju uraditi analizu sadržaja rada prije preporuke upravi brodogradilišta za eventualno provođenje.

However, it is still necessary to form a judgment as to whether this method can be “standardized, simplified and specialized” with the present technological level of the shipyard [5]. Therefore, production engineers need to apply a work content analysis before making a recommendation for eventual implementation to the shipyard management.



Slika 1. Metoda 1 sastavljanja bloka [2]
Figure 1. Block assembly method 1 [2]



Slika 2. Metoda 2 sastavljanja bloka [2]
Figure 2. Block assembly method 2 [2]

3.4. Analiza radnog sadržaja za metode sklapanja 1 i 2

Način uspoređivanja dviju metoda radi određivanja one najbolje koju će brodogradilište primijeniti je mjerenje sadržaja rada svake od metoda sastavljanja. Radionički detalji, korišteni u svrhu provlačenja uzdužnjaka kroz poprečne elemente, ključni su u ovoj analizi. Tipični blok sa slijedećim značajkama koristi se u usporedbi analize sadržaja rada [2]:

Tip sekcije:	Ravna sekcija dvodna
Dimenzije sekcije:	15,85 m x 10,92 m x 3 m
Broj panela:	2
Broj limova / panela:	5
Broj uzdužnjaka / panela:	12
Broj poprečnih elemenata / panela:	4

3.4. Work content analysis for assembly methods 1 and 2

The best way of comparing the two methods in order to decide which method is best for the shipyard is to measure the work content of each of the assembly methods. The design detail used for the longitudinals to penetrate the transverse members is the key part of this analysis. A typical block with the following characteristics was used in the work content analysis comparison [2]:

Block type:	Flat double bottom
Block size:	15,85 m x 10,92 m x 3 m
No. of panels:	2
No. of plates / panel:	5
No. of longitudinals / panel:	12
No. of transverse members / panel:	4



Slika 3. Tipična sekcija dvodna [6]
Figure 3. Typical double bottom block [6]

Za obje navedene metode, sadržaj rada se izračunava za trenutnu tehnološku razinu brodogradilišta vezano za: sveukupnu duljinu u metrima, sveukupne efektivne sate sklapanja i zavarivanja i brzinu zavarivanja u metrima / satu [2]. Slijedeća tablica pokazuje sažetak analize radnog sadržaja.

For each of the above methods, the work content was calculated for the current yard technology level in terms of: total weld length in meters, total man-hours for fitting and welding and welding rate in meters / hour [2]. The following table shows a summary of the work content analysis.

Tablica 1. Sažetak analize radnog sadržaja sastavljanja bloka [2]

Table 1. Summary of block assembly work content analysis [2]

Metoda sastavljanja	Duljina zavara	Efektivni sati	Odnos zavarivanja
Block assembly method	Weld length	Man-hours	Line welding rate
	m	hr	m/hr
1	1732	843	2,04
2	1468	1046	1,40

Tablica 1 pokazuje da se duljina zavara smanjuje kroz mijenjanje metode sastavljanja 1 do metode 2 od 1732 m do 1468 m, a iz razloga promjene projektnog detalja za prolaz uzdužnjaka kroz poprečni element, što znači da je, u tom smislu, metoda 2 bolja [2]. Neočekivano, efektivni sati rada se povećavaju od 843 sata do 1046 sati ili 25 %. Razlog tomu je da mijenjanje radioničkog detalja metode 1 sa izrezima i zakrpama na metodu sastavljanja 2 sa utorima kojima ne trebaju zakrpe zahtijeva značajne izmjene u tehnologiji predmontaže sekcija.

Proizvodni inženjeri ne mogu preporučiti bolju metodu sastavljanja od metode 2 u ovom trenutku. Stoga je u ovom radu razvijena metoda u svrhu predviđanja efektivnih sati rada za obje metode, što uključuje preporuku kako se buduća metoda sastavljanja sekcija treba primijeniti uz smanjeni rizik brodogradilišta i potrebnih investicija u postrojenja.

4. MONTE CARLO ANALIZA RIZIKA RAZLIČITIH METODA SASTAVLJANJA BLOKA

Analiza rizika korisna je za simuliranje efektivnih sati rada na velikim inženjerskim projektima korištenjem normalne i trokutaste razdiobe [7, 8]. Iz razloga raspolaganja analizom rizika urađenom od strane Palisades korporacije, autori su odlučili primijeniti Monte Carlo metodu na tehniku procjene i pregleda programa (PERT) kao razdiobu koja proizvodi realne vrijednosti [9 - 11]. Monte Carlo analiza rizika se provodi da bi omogućila upravi brodogradilišta bolji uvid kod donošenja odluka, ne samo vezanih za predviđanje efektivnih sati rada, nego i kod smanjenja rizika primjenjivanja novih metoda sastavljanja sekcija.

Table 1 shows that the weld length reduces by changing from block assembly method 1 to method 2 from 1732 m to 1468 m, respectively. This is due to the change in the design detail for passing longitudinals through transverse members which makes assembly method 1 better than assembly method 2 [2]. Unexpectedly however, the man-hours actually increase from 843 to 1046 hours, or about 25 percent. The reason for this is that changing the detail design from assembly method 1 with open cut-outs and lugs to assembly method 2 with fitted slots without lugs requires major alterations to the block assembly technology.

Production engineers cannot recommend the superior assembly method 2 at this point. The authors of this paper developed a method of predicting man-hours for both assembly methods, and for providing insight into how the future assembly method should be applied with minimal risk to the shipyard facility investments.

4. MONTE CARLO RISK ANALYSIS OF DIFFERENT BLOCK ASSEMBLY METHODS

Risk analysis is useful in simulating the man-hours of large engineering projects using the normal distribution and/or triangular distribution [7, 8]. Due to the availability of risk analysis add-ins from Palisades Corporation, the authors of this paper decided to apply the Monte Carlo method on a Program evaluation review technique (PERT) distribution which yields realistic values [9 - 11]. This Monte Carlo risk analysis was applied in order to enable shipyard management a better insight for making decisions not only on man-hour values but also with regards to reducing the risk of applying new assembly methods.

4.1 PERT matematički model

Prednost PERT razdiobe je stvaranje glatke krivulje sa vrijednostima koje su realnije nego li one dobivene normalnom ili trokutastom razdiobom, a koje su bile korištene od strane prethodnih autora iz literature [11]. PERT razdioba koristi tri parametra: najmanju vrijednost, najveću vrijednost i najvjerojatniju vrijednost (tablica 2). Sljedeća naredba u Microsoft Excel-u koristi vrijednosti iz tabele 2 koje omogućuju simulaciju analize rizika [10]:

$$=RISKPert(Lower bound value, Most likely value, Upper bound value). \quad (1)$$

4.2. Monte Carlo simulacija

Jednom kada je tablica urađena u Microsoft Excel-u sa vrijednostima datim u tablici 2, simulacija Palisades korporacije @RISK Monte Carlo počinje odabirom simulacijske ikone [10, 11]. Monte Carlo simulacijskim procesom određuje se razdioba vjerojatnosti efektivnih sati za obje metode sastavljanja sekcija.

4.3. Monte Carlo simulacija i rezultati

Prema podacima iz gantograma promatranog brodogradilišta, tipični ravni kompletirani paneli dvodna korištenjem prve metode sastavljanja, zahtijevaju 220 efektivnih sati rada trenutnom razinom tehnologije [2]. Korištenjem rezultata iz tablice 1 uz potrebnu interpolaciju dobiva se 275 efektivnih sati za drugu metodu sastavljanja. Nadalje, metoda sastavljanja 2, uz poboljšanu razinu tehnologije predmontaže, daje 187 efektivnih sati rada koji predstavljaju smanjenje radnih sati od očekivanih 15 % kako je opisano ranije.

Tablica 2. Monte Carlo tablice

Table 2. Monte Carlo input table

Aktivnost/ Activity	Donja granica/ Lower bound	Najvjerojatnije/ Most likely	Gornja granica/ Upper bound
	Efektivni sati/ Man-hours	Efektivni sati/ Man-hours	Efektivni sati/ Man-hours
Metoda 1/ Method 1	209	220	231
Metoda 2/ Method 2	261	275	289
Metoda 2 ažurirana teh./ Method 2 updated tech.	177	187	197

4.1 The PERT mathematical model

The advantage of the PERT distribution is that it creates a smooth curve with values that are more realistic than that of the normal or triangular distributions, as used by previous authors [11]. The PERT distribution uses three parameters: a minimum lower bound value, a maximum upper bound value, and the most likely value (mode). See Table 2, below. The following command in Microsoft Excel is used in conjunction with the input values of Table 2 which enables the risk analysis simulation [10]:

4.2. Monte Carlo simulation

Once the table is created in Excel, as Table 2 below shows, the Palisades Corporation @RISK add-in Monte Carlo simulation is started by clicking on the simulate icon [10, 12]. The Monte Carlo simulation process defines a probability distribution for each assembly methods' man-hour values.

4.3. Monte Carlo simulation and results

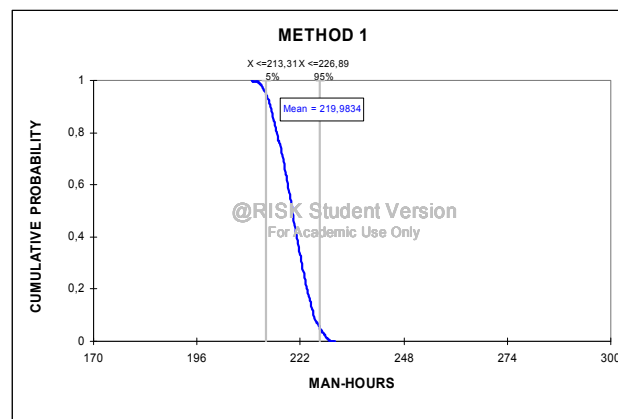
According to Gantt chart data from the shipyard treated in this work, a typical flat built-up unit of a double bottom block assembled with assembly method 1 requires 220 man-hours with the present panel-block technology level [2]. Utilizing the work content results of Table 1 earlier in this work and making the necessary interpolations yields 275 man-hours for assembly method 2. Additionally, the assembly method 2 with improved panel-block technology level yields 187 man-hours, which represents a decrease in man-hours of the expected 15 percent described earlier.

Stupci donje i gornje granice predstavljaju $\pm 5\%$ najvjerojatnijeg broja u normalnim uvjetima rada koji su realne granice za postrojenja brodogradilišta.

- Za metodu sastavljanja 1, 220 efektivnih sati rada predstavlja najvjerojatnije vrijednost koja potječe od navedenog podatka, tj. 209 i 231 efektivni radni sat predstavljaju $\pm 5\%$ od 220 efektivnih sati rada.
- Za metodu sastavljanja 2, vrijednost od 275 efektivnih sati rada predstavlja 25 % povećanje koje potječe iz tablice 1 sadržaja rada veće sekcije, opisane ranije. Međutim, očekuje se da će trend ostati isti, jer, iako je metoda sastavljanja 2 bolja, u smislu smanjenja količine zavora, činjenica da je tehnologija sastavljanja ostala na istoj razini rezultira povećanjem efektivnih sati umjesto početnog očekivanog smanjenja, tj. 261 i 289 efektivnih sati rada predstavljaju gornje i donje granice, odnosno $\pm 5\%$ 275 efektivnih radnih sati.
- Za metodu sastavljanja 2 sa ažuriranom tehnologijom, 187 efektivnih sati rada predstavlja ranije navedeno 15 % smanjenja efektivnih radnih sati od 220, iz razloga smanjenja duljine zavora. Istovremeno 177 i 197 efektivnih sati rada predstavljaju gornje i donje granice odnosno $\pm 5\%$ tj. 187 efektivnih sati rada.

The lower bound and upper bound man-hour columns represent $\pm 5\%$ percent of the most likely value in normal operating conditions, which are realistic shipyard bounds.

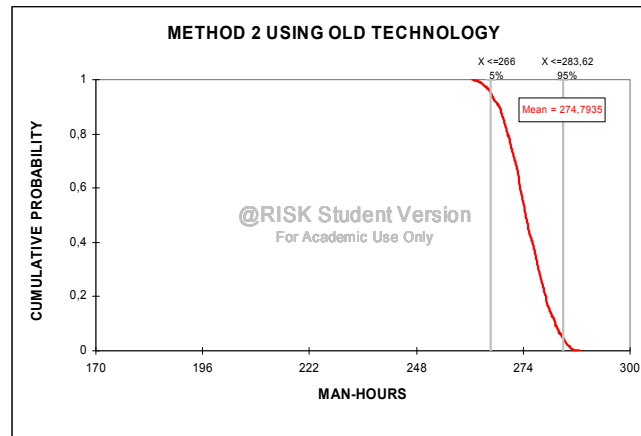
- For assembly method 1, 220 man-hours represent the most likely value derived from above. 209 and 231 man-hours represent $\pm 5\%$ of 220.
- For assembly method 2, the value of 275 represents a 25 % increase in man-hours which was seen in the results of the work-content analysis of a larger block earlier in the paper. However, the trend is expected to be the same, because since the method itself is an improvement, the fact that the technology has not been updated reflects an increase in man-hours instead of the initial expectation of a decrease in man-hours. 261 and 289 man-hours represent $\pm 5\%$ of 275 man-hours.
- For assembly method 2 with updated technology, 187 man-hours is the earlier cited 15 percent decrease in man-hours from 220 man-hours due to the decrease in weld length. Similarly, 177 and 197 man-hours represents $\pm 5\%$ of 187 man-hours.



Slika 4. Metoda 1
Figure 4. Method 1

Krivulja metode sastavljanja 1 u slici 4, predstavlja rezultate Monte Carlo simulacije. Srednja vrijednost od 219,98 efektivnih sati rada je virtualno ista kao najvjerojatnija vrijednost od 220 sati. Donja granica 213,3 efektivnih sati i gornja granica 226,89 su unutar realne blizine od 209 i 231 efektivnih radnih sati iz tablice 2. Međutim vrijednosti Monte Carlo simulacije su pouzdanije u odnosu na realno stanje, jer se temelje na PERT razdiobi koja se dokazala realnijim vrijednostima. Dakle, dokazano je da je, najvjerojatnije, realnije očekivati vrijednost 220 efektivnih sati u situaciji gdje se sekcija sastavlja metodom 1 uz korištenje trenutačne razine tehnologije.

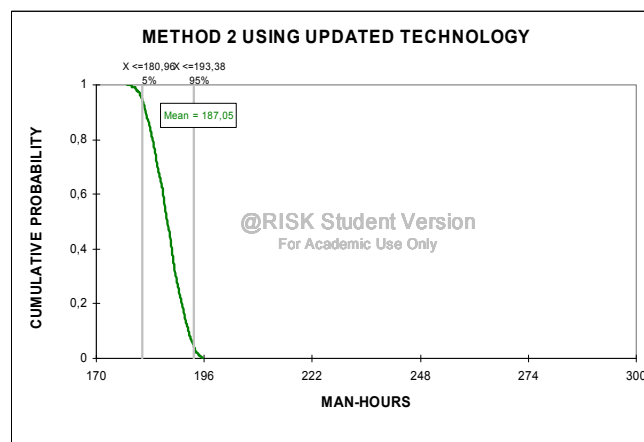
The assembly method 1 curve in Figure 4, above, represents the results of the Monte Carlo simulation. The mean value of 219,98 man-hours is virtually the same as the most likely value of 220 hours. The lower bound of 213,3 man-hours and the upper bound of 226,89 man-hours are within reasonable proximity to the 209 and 231 man-hours, respectively, of Table 2. However the Monte-Carlo values are more reliable with regard to real-world situations, since they are based on the PERT distribution which has proven to produce realistic foreseeable results. This proves that the most likely value of 220 man-hours is reasonable to expect in a situation where the blocks are assembled with method 1 using the present technology level.



Slika 5. Metoda 2 korištenjem „stare“ tehnologije
Figure 5. Method 2 using old technology

Rezultati Monte Carlo simulacije iz slike 5 sastavljanja metodom 2, tj. korištenjem trenutne ili „stare“ tehnologije proizvodne linije brodogradilišta daju srednju vrijednost od očekivanih 274,79 efektivnih sati rada koja je približno ista kao i 275 očekivanih efektivnih sati. Donja granica 266 i gornja granica 283,62 efektivnih sati rada su unutar razumne blizine 261 odnosno 289 efektivnih radnih sati i predstavljaju realnije vrijednosti za korištenje u predviđanju efektivnih radnih sati od strane proizvodnih inženjera. Razumno je očekivati 275 efektivnih radnih sati za sastavljanje novom metodom, ali i uz primjenu tehnologije metode sastavljanja 1. Važno je razumjeti da tehnologija koja je prikladna za metodu 1 sastavljanja ne odgovara sastavljanju metodom 2, što znači da tehnologija linije za sastavljanje sekcija treba biti obnovljena. Tek tada će odgovarajuća tehnološka obnova u procesu sastavljanja sekcija, usklađena prema potrebama metode 2 omogućiti bolje rezultate, odnosno, zahtijevati manji utrošak efektivnih sati rada.

The results of the Monte Carlo simulation in Figure 5, above, of assembly method 2 using the old technology, or in other words assembly method 1 technology of the shipyard assembly line, is a mean of 274,79 man-hours which is virtually the same as the 275 man-hours expected. The lower bound of 266 and the upper bound of 283.62 man-hours are also within reasonable proximity to 261 and 289 man-hours respectively and are more realistic values for use in predicting man-hours by production engineers. Again, it is reasonable to expect the 275 man-hours using the new assembly method 2, but with assembly method 1 technology. It is important to understand that the technology of assembly method 1 is not compliant to that of assembly method 2. Therefore, the technology of the panel-block assembly line should be updated. Technological updating will then yield better results which are lower man-hours.



Slika 6. Metoda 2 uz pomoć obnovljene tehnologije
Figure 6. Method 2 using updated technology

Rezultati Monte Carlo simulacije za metodu sastavljanja 2 sa ažuriranom tehnologijom daju srednju vrijednost od 187,05 efektivnih sati rada što iznosi približno 187 očekivanih efektivnih sati rada. Donje i gornje granice 180,96 i 193,38 efektivnih sati rada su pouzdanije kao realne vrijednosti nego li 177 odnosno 197 efektivnih radnih sati, dobivenih iz tablice 2.

Brodogradilište može nastaviti proizvoditi metodom sastavljanja 1 s trenutnom tehnološkom razinom. Međutim, potrebno je, eventualno, krenuti prema metodi sastavljanja 2, koja omogućuje najmanje efektivne sate rada, ali zahtjeva i obnovu tehnološke razine.

5. ZAKLJUČAK

Tema određivanja najbolje metode sastavljanja međuproizvoda je stalno prisutna u brodogradilištu i zahtijeva pozornost kako proizvodnih inženjera, tako i uprave brodogradilišta. Ovaj rad je identificirao dvije metode sastavljanja međuproizvoda koji su analizirane u svrhu određivanja one najprikladnije, usklađene s trenutačnom tehnološkom razinom brodogradilišta i koja bi se trebala provesti u budućnosti.

Otkriveno je da je metoda sastavljanja 2 bolja od metode sastavljanja 1, s obzirom da se količina zavara tipičnog dvodna smanjuje, ali su se efektivni sati povećali, iz razloga što se tehnološka razina panel-blok linije nije uskladila prema ovoj metodi. Dakle, metoda sastavljanja 1 je bolja metoda za trenutačno tehnološko stanje brodogradilišta. Poboljšana metodologija projektiranja za proizvodnju, razvijena od strane autora, uključuje Monte Carlo simulaciju koja koristi pouzdaniju i realniju PERT razdiobu, umjesto normalne ili trokutaste, u svrhu predviđanja vrijednosti efektivnih sati rada. Osim što je olakšano upravi brodogradilišta donošenje odluka vezanih za odabir metode sastavljanja za trenutno stanje brodogradilišta, Monte Carlo analiza omogućuje uvid i pokazuje kako će se smanjiti efektivni sati rada jedino kad se tehnološka razina panel-blokovskog procesa istovremeno i obnovi. Stoga se preporuča metoda sastavljanja 2 za provođenje u budućoj proizvodnji, ali tek onda kad uprava brodogradilišta bude i financijski sposobna izvesti potrebne investicije u proizvodna postrojenja brodogradilišta.

Autori preporučuju da buduća istraživanja koriste novu metodologiju projektiranja za proizvodnju u svrhu usporedbe sa ostalim metodama sastavljanja međuproizvoda, poput metode „jajaste kutije“. Svako brodogradilište može koristiti metodologiju iz ovog rada u svrhu određivanja najbolje metode sastavljanja međuproizvoda sa sadašnjim stanjem brodogradilišta te najbolju metodu za buduću proizvodnju koja nužno uključuje odgovarajuće i obnavljanje njegove tehnološke razine.

The results of the Monte Carlo simulation of assembly method 2 using updated technology has produced a mean of 187,05 man-hours, which is virtually the 187 man-hours that were expected. The lower and upper bounds of 180,96 and 193,38 man-hours are more reliable as real-world values than the 177 and 197 man-hours that were inputted into Table 2.

The shipyard could continue to use assembly method 1 with the present technology level. However, it will be necessary to eventually move towards assembly method 2, which yields the least man-hours, but will require updating the technology level as well.

5. CONCLUSION

The issue of determining the best assembly method of interim products is constantly faced by production engineers and shipyard management. This paper identified two principle assembly methods which were analyzed in order to determine the more appropriate assembly method for the present technological level of the shipyard, and which assembly method should be adopted in the future.

It was discovered that while assembly method 2 is superior to assembly method 1 because the amount of welding length of a typical double-bottom block decreases (though the man-hours actually increased) because the technology of the panel-block assembly line was not adjusted. Therefore, assembly method 1 is the better method for the present shipyard technological state. An improved *design for production* methodology developed by the authors in this work included Monte Carlo simulation that utilizes the more realistic PERT distribution as opposed to the normal or triangular distributions to predict production man-hour values. In addition to aiding shipyard management in making decisions about the best assembly method for the present state, the Monte Carlo analysis provides future insight by illustrating how the man-hours of the superior assembly method 2 decrease only when the technology of the panel-block process is updated as well. Therefore, assembly method 2 was recommended for future implementation, but only when shipyard management is financially ready to make the necessary investments in the facilities.

The authors recommend that future research utilize the new *design for production* methodology for comparing yet other assembly methods such as “egg-box” construction methods. Each shipyard could use the described methodology to determine the best method for the present and the best assembly method for the future state of production, along with the complementary technological level.

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), No. 2, p. 99-108.
- [2] Design for Production Manual, 2nd edition, National Shipbuilding Research Program, U.S. Department of the Navy Carderock Division, Vol. 1-3, (1999).
- [3] Storch, R.L., Lim, S.: Improving flow to achieve lean manufacturing in shipbuilding, Production Planning and Control, Vol. 10 (1999), No.2, p. 127-137.
- [4] Bicheno, J., Holweg M.: The Lean Toolbox, 4th edition, PICSIE, Buckingham, 2009
- [5] Storch, R.L. et al.: Ship Production, SNAME, New Jersey, 1995.
- [6] Uljanik Shipyard Archive, Pula, 2009.
- [7] Van Dorp, J.R., Duffey M.R.: Statistical dependence in risk analysis for project networks using Monte Carlo methods, International Journal of Production Economics - Elsevier, Vol. 58 (1999), p. 17-29.
- [8] Berends, K.: Engineering and construction projects for oil and gas processing facilities: Contracting, uncertainty and the economics of information, Energy Policy – Elsevier, Vol. 35 (2007), p. 4260-4270.
- [9] Winston, W.L.: Introduction to Probability Models Operations Research, Vol. 2, 4th edition, Thomson Learning, Canada, 2004.
- [10] "BETA PERT Distribution" <http://www.riskamp.com/library/pertdistribution.php> (2005).
- [11] @RISK, Advanced Risk Analysis for Spreadsheets, Palisades Corporation, 2001.

Primljeno / Received: 26.03.2010.

Prihvaćeno / Accepted: 25.05.2010.

Prethodno priopćenje

Preliminary note

Adresa autora / Authors' address

Asist. Damir Kolić, dipl. ing.

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

Red. prof. dr. sc. Bruno Čalić, dipl. ing.

Tehnički Fakultet Sveučilišta u Rijeci

Vukovarska 58

51000 Rijeka

HRVATSKA

dkolic@riteh.hr

niksaf@riteh.hr

calic@riteh.hr