

XIX SIMPOZIJ
TEORIJA I PRAKSA BRODOGRADNJE
XIX SYMPOSIUM ON
THEORY AND PRACTICE OF SHIPBUILDING
IN MEMORIAM PROF. LEOPOLD SORTA 2010.

ZBORNIK RADOVA- PROCEEDINGS

I.J.Knez: Korčulanski borac - brodograditelj, Lumbarda, 1959.



07.-09. listopad/october
SPLIT-LUMBARDA-KORČULA
HRVATSKA/CROATIA

CIP katalogizacija u publikaciji
SVEUČILIŠNA KNJIŽNICA SPLIT
UDK 629.5 (063)

XIX Simpozij „Teorija i praksa brodogradnje SORTA 2010.“
XIX Symposium on Theory and Practice of Shipbuilding SORTA 2010.
Lumbarda, 07.-10. listopad/october 2010.

Glavni urednik/Editor -in- cheef:
Prof.dr.sc. Roko Markovina, FESB-Split

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Splitu
Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture
University of Split
21000 SPLIT, R.Boškovića 32
Općina/Municipality Lumbarda
Grad/ Town Korčula

ISBN 978-953-290-022-4.

ZBORNIK RADOVA/Proceedings
XIX Simpozij „Teorija i praksa brodogradnje
„In memoriam prof. Leopold Sorta“
XIX Symposium on Theory and Practice of Shipbuilding
„In Memoriam prof. Leopold Sorta“
07-09 listopad/october 2010
Split-Lumbarda-Korčula
Hrvatska/Croatia

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Splitu
*Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture
University of Split*

Za izdavača/ *For publisher:* Prof.dr.sc. Tomislav Kilić, dekan

Urednički odbor/*Editorial board*
Dr.sc. Roko Markovina, red.prof.-FESB, Split
Dr.sc. Kalman Žiha, red.prof.-FSB, Zagreb
Dr.sc. Branko Blagojević, izv.prof.-FESB, Split

Grafičko oblikovanje i prijelom/*Lay-out and graphic design*
Ana Bušić

Tisk/*Print*
Kartular, d.o.o. - Split

Naklada/*Issue*
60 primjeraka
60 copies

Organizacijski odbor XIX simpozija Teorija i praksa brodogradnje SORTA 2010. zahvaljuje se svima koji su na bilo koji način pomogli i tako doprinijeli uspješnom održavanju Simpozija u Lumbardi, posebice Narodnoj glazbi, KUD „Ivo Lozica“ i Mješovitom zboru Sv. Roko iz Lumbarde i Obiteljskoj klapi „Pročulić“ iz Smokvice, a napose svim mještanima Lumbarde na pažnji i gostoljubivosti koju su darovali sudionicima za svo vrijeme trajanja Simpozija i bez čije svesrdne pomoći on ne bi bio uspješno održan.

Doc. dr. sc. Tin Matulja, dipl. ing., Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci

Red. Prof. dr. sc. Nikša Fafandjel, dipl. ing., Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci

Red. Prof. dr. sc. Roko Markovina, dipl. ing., Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu

Izv. Prof. dr. sc. Albert Zamarin, dipl. ing., Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci

Asist. Damir Kolić, dipl. ing., Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci,

PROJEKTIRANJE OPTIMALNOG RASPOREDA PROIZVODNIH POVRŠINA BRODOGRADILIŠTA

Sažetak

U radu je prikazana metodologija za projektiranje optimalnog rasporeda proizvodnih površina brodogradilišta u preliminarnoj fazi, a koja se temelji na provođenju točno definirane procedure uz korištenje točno odabralih metoda i alata. U prvoj fazi utvrđeni su odnosi bliskosti osnovnih proizvodnih površina sa stajališta tehnologičnosti brodogradnje, na temelju provedenog anketiranja relevantnih eksperata. Zatim se, u drugoj fazi se SLP metodom vrši generiranje te procjena svih mogućih varijanti rasporeda odabralih proizvodnih površina u okvire brodogradilišta. Nadalje, nakon utvrđenog reprezentativnog broja najkonkurentnijih varijanti, u trećoj fazi se primjenom AHP metode vrši izbor one koja optimalno udovoljava svim postavljenim kriterijima. U zadnjoj, četvrtoj fazi provodi se analiza osjetljivosti kako bi se ispitala stabilnost odabranog rješenja rasporeda proizvodnih površina. Predložena metodologija je primijenjena kod projektiranja rasporeda proizvodnih površina realnog brodogradilišta.

Ključne riječi: *projektiranje rasporeda površina, AHP metoda, SLP metoda, analiza osjetljivosti, brodogradilište*

SHIPYARD PRODUCTION AREAS OPTIMAL LAYOUT DESIGN

Summary

A methodology for creating a preliminary optimal layout design of shipyard production areas is presented in this article. The proposed methodology is based on the implementation of a specifically defined procedure in four phases and using specific methods and tools. The first phase established the closeness relationships of the main production areas from the shipbuilding technological point of view, based upon a survey of relevant experts. Thereupon, the second phase proposed the generation and valuation of all possible production layout variants within the shipyard using SLP method. Furthermore, after establishing a representative number of most competitive variants, the third phase considers choosing the variant which most optimally satisfies all criteria by using the AHP method. In the fourth and final phase, a sensitivity analysis is made in order to check the stability of the chosen layout of production areas. The proposed methodology was applied to the production layout design of an existing shipyard.

Key words: *layout design, AHP method, SLP method, sensitivity analysis, shipyard*

1. Uvod

Potreba za kontinuiranim tehnološkim unapređivanjem i širenjem složenih proizvodnih sustava kao što je brodogradilište dovodi do potrebe donošenja vrlo kompleksnih i odgovornih odluka, koje moraju biti adekvatno argumentirane i prije svega ispravne, kako bi ona ostala konkurentna na svjetskom brodograđevnom tržištu. Veliki broj kontradiktornih zahtjeva te posebnih ograničenja mora biti analiziran i ponderiran kako bi se uopće moglo približiti nekim prihvatljivim rješenjima, dok su za odabir optimalnih rješenja potrebne dodatne analize i proračuni korištenjem niza znanstvenih metoda, tehnika i alata.

Međutim, česta nemogućnost prostornog širenja takvih kompleksnih sustava zbog raznih objektivnih ograničenja, kao što su omeđenost morem, drugom industrijom, urbanom sredinom, zatim zakonskom regulativom te drugim ograničenjima primjerice onim koja postavlja europska zajednica, sužava potencijalne mogućnosti tehnološke modernizacije. Unapređenje postojećih proizvodnih procesa nužno dovodi do potrebe reorganizacije rasporeda proizvodnih površina samo u postojećim prostornim okvirima.

Dosadašnjim radom autori su uočili nedostatak adekvatne metodologije za projektiranje, modernizaciju ili optimizaciju rasporeda proizvodnih površina brodogradilišta te pripadajućih proizvodnih tokova. Zbog nedostatka pristupačnih metodologija koje obuhvaćaju posebne znanstvene metode, tehnike i alate, kao i nužnih podataka za donošenje odluka kod ovakvog problema, rukovodstva brodogradilišta najčešće svoje odluke donose temeljem iskustva i/ili putem uspoređivanja s drugima i sl. Ovakav pristup najčešće ne dovodi do izbora optimalnog rješenja. Stoga se pristupilo istraživanju s ciljem definiranja metodologije koja će korištenjem znanstvenih metoda, tehnika i alata brzo i efikasno dovoditi do takvih rješenja rasporeda proizvodnih površina koja će optimalno zadovoljavati postavljena ograničenja, ali da istovremeno ista bude primjenjiva i razumljiva prioritetno rukovodstvu brodogradilišta.

2. Specifičnosti projektiranja rasporeda proizvodnih površina brodogradilišta

Općenito proces projektiranja rasporeda površina usmjeren je ka traženju optimalnih rješenja u određivanju prostora za različite aktivnosti s pripadajućim komponentama. Spomenuti proces predstavlja određivanje rasporeda površina unutar određenog prostora, kako bi optimalno zadovoljio zadane postavke i ograničenja. Zadane postavke uključuju visok stupanj neodređenosti [1], [2].

Očito je da se proces projektiranja rasporeda površina temelji na kreativnosti projektanata kao i na korištenju interakcije te kompromisa rezultata različitih konkurentnih i kontradiktornih disciplina [3]. Poznato je da većina kompjuteriziranih tehnika projektiranja rasporeda površina ograničava i/ili ignorira kreativnost i talent projektanta koji razumije kompleksan odnos proizvodnih tokova i prostora [4].

Za istu svrhu koristi se i pristup temeljen na ekspertizi donosioca odluka, kao i tehnikama prikladnim za modeliranje neodređenih problema, [5]. Takav Ekspertni pristup (engl. Expert System) moguće je primijeniti i za projektiranje rasporeda površina u brodogradnji.

Proizvodne površine u brodogradnji od posebnog su značaja zbog same specifičnosti ove proizvodne djelatnosti gdje vrlo velike dimenzije proizvoda uvjetuju angažiranje velikih površina. Interes za istraživanje problema projektiranja i optimizacije rasporeda proizvodnih površina proistjeće iz nekoliko osnovnih razloga:

- I. Veličina i oblik površine u brodograđevnom procesu strogo su fiksirani lokacijom brodogradilišta koju najčešće s jedne strane omeđuje vodena

površina, a sa kopnene urbana ili industrijalizirana sredina. Rijetke slobodne površine predviđene za razvoj najčešće su već iskorištene ranijim rekonstrukcijama tih pogona.

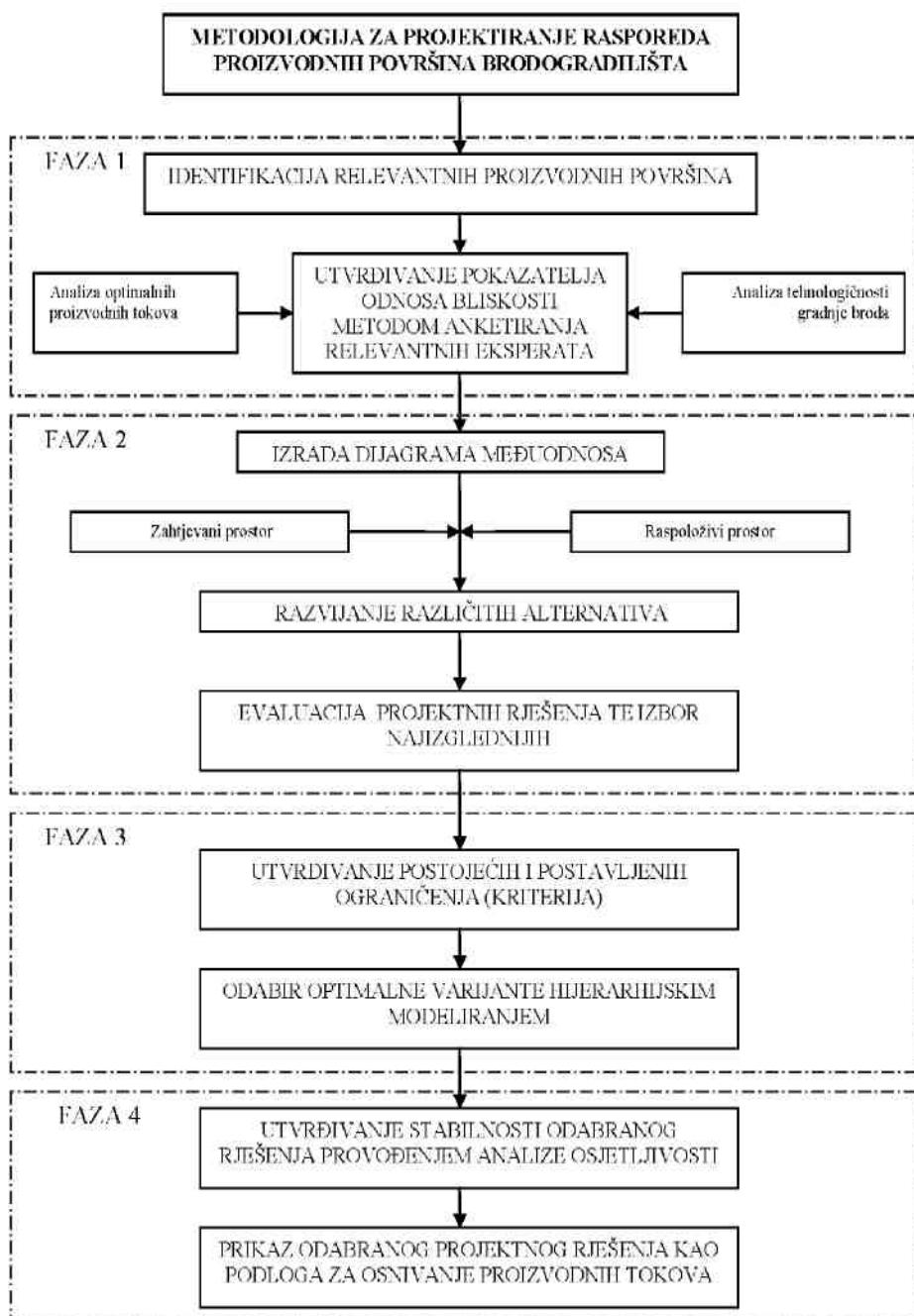
- II. Raspored postojećih brodograđevnih pogona, zbog krupnih građevinskih objekata, najčešće nije prilagodljiv i prikladan za promjene.
- III. Vrlo intenzivni razvoj tehnologije gradnje broda postavio je zahtjeve na proizvodne površine u brodogradilištima koji se zbog postojećih ograničenja teško mogu implementirati.

Za postojeća brodogradilišta jedna od prepreka u očekivanom razvoju brodograđevne proizvodnje, kako je već spomenuto, zasigurno je prostorno ograničenje. Stoga je kod njih nužno tražiti način da dalje unapređuju svoju proizvodnju i uz to održe konkurentnost na svjetskom tržištu. U tim brodogradilištima tehnološka modernizacija mora biti usmjerena prema intenziviranju korištenja postojećih prostornih resursa u svrhu unapređenja proizvodnih tokova. Stoga je nesumnjivo je da će razvoj brodograđevne tehnologije u narednom periodu stavljati u primarne zadatke potrebu optimizacije proizvodnih površina.

3. Prijedlog metodologije za projektiranje rasporeda proizvodnih površina brodogradilišta

Predložena metodologija za projektiranje rasporeda proizvodnih površina zasniva se na provođenju točne procedure koja se sastoji od četiri faze kroz koje se dolazi do optimalnog projektnog rješenja. Na ovaj način odabранo optimalno projektno rješenje predstavlja podlogu za daljnje osnivanje proizvodnih tokova, te detaljnu razradu.

Predložena metodologija u ovom je radu provjerena kod projektiranja optimalnog rasporeda proizvodnih površina, a u okviru projekta tehnološke modernizacije postojećeg brodogradilišta. Sama procedura, metode, tehnike i alati na kojima se temelji predložena metodologija opisana je u dalnjem tekstu, a blok dijagram iste dan je na slici 1.

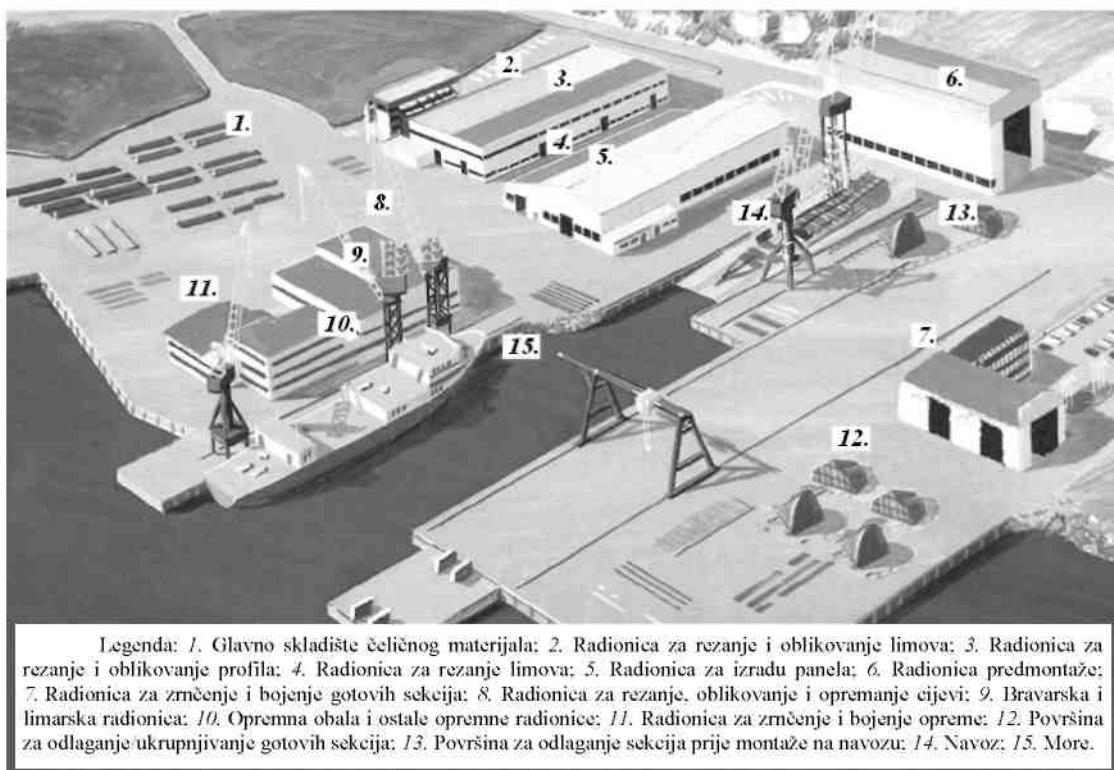


Slika 1. Blok dijagram predložene metodologije

Fig. 1 Proposed methodology Pattern of Procedures

3.1. FAZA 1 – Utvrđivanje pokazatelja odnosa bliskosti odabralih proizvodnih površina brodogradilišta metodom anketiranja

Za prvu fazu predložene metodologije izvršen je izbor onih proizvodnih površina brodogradilišta za koje je dosadašnjim radom i istraživanjima utvrđeno da direktno participiraju u osnovnom proizvodnom toku brodograđevnog procesa. Posebno odabrane osnovne proizvodne površine brodogradilišta prikazane su numerirano na slici 2. na primjeru jednog modernog brodogradilišta najviše, pete tehnološke razine u okviru Grupe E, Podgrupe E1 [6].



Slika 2. Osnovne proizvodne površine brodogradilišta

Fig. 2 Shipyard main production areas

Reorganizacija rasporeda ovih posebno odabranih proizvodnih površina na prostoru jednog brodogradilišta direktno mijenja osnovni proizvodni tok te na taj način utječe na performanse brodogradilišta. U tu svrhu, nužno je utvrđivanje pokazatelja odnosa bliskosti s pripadajućim težinskim faktorima kako bi se korištenjem odabrane metode za sistematsko planiranje rasporeda površina omogućila procjena u kojoj mjeri, pojedine varijante rasporeda proizvodnih površina, slijede saznanja o optimalnom osnovnom proizvodnom toku brodograđevnog procesa na višoj tehnološkoj razini.

Pokazatelji odnosa bliskosti su u ovom radu opisani brojčanim kodovima, odnosno ocjenama od 0 do 5 te dodatno oznakama bliskosti, i to A, E, I, O, U i X, koje kao takve predstavljaju jedan od ulaznih podataka u okviru druge faze. Navedeni pokazatelji odnosa bliskosti prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Pokazatelji odnosa bliskosti

Table 1 Closeness ratings

Kod	Bliskost	Oznaka bliskosti
5	Isključivo potrebna	A
4	Potrebna	E
3	Važna	I
2	Neznačno važna	O
1	Nevažna	U
0	Nepoželjna	X

Do utvrđivanja pokazatelja odnosa bliskosti, odnosno brojčanih kodova iz tablice 1., došlo se je metodom anketiranja značajnog broja relevantnih znanstvenih savjetnika i suradnika, te stručnjaka iz razmatranog polja brodogradnje koji su bili dostupni u velikim hrvatskim brodogradilištima i fakultetima brodogradnje. Istim anketnim upitnikom došlo se do prijedloga težinskih faktora, odnosno pondera za oznake bliskosti.

Na temelju prikupljenih podataka iz provedenog anketiranja relevantnih eksperata izvršeno je utvrđivanje pokazatelja odnosa bliskosti uz pomoć slijedećeg izraza:

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^m r_{jk}}{m} \quad (1)$$

gdje je:

- w_i - težinski faktor za i-tu bliskost,
- r_{jk} - ocjena bliskosti za i-tu bliskost od k-tog eksperata,
- m - broj ocjena/eksperata.

Nadalje, obradom navedenih rezultata određeni su pokazatelji odnosa bliskosti te pripadajući težinski faktori, koji će u sljedećoj fazi, odnosno pri generiranju svih mogućih projektnih rješenja, favorizirati ona rješenja rasporeda proizvodnih površina koja teže optimalnim proizvodnim tokovima brodograđevnog procesa, a na temelju *SLP* ocjene rasporeda površina, [7]. Pokazatelji odnosa bliskosti odabranih proizvodnih površina prikazani se u matrici odnosa bliskosti, tablica 2. Pripadajući težinski faktori pojedinih oznaka bliskosti dani su u tablici 3.

Tablica 2. Matrica odnosa bliskosti

Table 2 Relationship matrix

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		SKL	ROL	ROP	RRL	PAN	RPM	ZIB	RIC	BIL	MOT	ZBO	ODI	OD2	NAV	SEA
1	SKL	⊗	A	A	A	O	O	U	E	O	O	O	U	U	U	I
2	ROL	A	⊗	I	I	I	E	U	U	U	U	U	O	U	O	U
3	ROP	A	I	⊗	I	E	E	U	U	O	U	U	O	U	U	U
4	RRL	A	I	I	⊗	A	E	U	U	O	U	U	O	U	O	U
5	PAN	O	I	E	A	⊗	A	I	U	O	U	U	I	O	O	U
6	RPM	O	E	E	E	A	⊗	A	I	I	I	O	E	E	I	O
7	ZIB	U	U	U	U	I	A	⊗	U	U	O	O	E	E	E	U
8	RIC	E	U	U	U	U	I	U	⊗	I	E	E	I	I	I	I
9	BIL	O	U	O	O	O	I	U	I	⊗	E	E	I	O	I	O
10	MOT	O	U	U	U	U	I	O	E	E	⊗	I	I	O	I	E
11	ZBO	O	U	U	U	U	O	O	E	E	I	⊗	I	I	I	U
12	ODI	U	O	I	O	I	E	E	I	I	I	I	⊗	I	A	O
13	OD2	U	U	U	U	O	E	E	I	O	O	I	I	⊗	E	O
14	NAV	U	O	U	O	O	I	E	I	I	I	I	A	E	⊗	A
15	SEA	I	U	U	U	U	O	U	I	O	E	U	O	O	A	⊗

Tablica 3. Težinski faktori oznaka bliskosti

Table 3 Closeness weight factors

Oznaka bliskosti	Težinski faktor, w_i
A	45
E	11
I	3
O	1
U	0
X	-45

Ovi podaci omogućuju da se kroz iduću fazu, korištenjem metode za sistematsko planiranje rasporeda površina, međusobno ponderiraju odabrane proizvodne površine te izvrše procjene u kojoj mjeri njihov međusobni raspored unutar određene varijante zadovoljava saznanja o optimalnim proizvodnim tokovima.

3.2. FAZA 2 – Generiranje svih mogućih projektnih rješenja rasporeda odabralih proizvodnih površina korištenjem SLP metode

Općenito, svaki raspored brodogradilišta uključuje:

Odnose bliskosti pojedinih površina unutar prostora namijenjenih pojedinim aktivnostima,

Površine i oblik pojedinog prostora,

Razmještaj navedenoga u okvirima brodogradilišta.

Vodeći računa upravo o uključenim elementima, u drugoj fazi se proceduralno dolazi do postavljenog cilja korištenjem prilagođene metode sistematskog planiranja rasporeda površina. Za brže generiranje rezultata preporuča se korištenje specijaliziranog računalskog programa [9].

Cilj korištenja ove metode jest odabir najizglednijih rasporeda proizvodnih površina analizom i procjenom svih mogućih kombinacija zadanih proizvodnih površina u definirani prostor brodogradilišta. Takvih kombinacija može biti mnogo, primjerice za prostor koji razmatra 20 proizvodnih površina broj mogućih kombinacija je $2,4 \cdot 10^{18}$. Budući da postoje radne površine koje nužno moraju biti u blizini, te postoje i one za koje nije poželjno da su u blizini, a što proizlazi iz postavljenih zahtjeva, potrebno je izdvojiti samo kombinacije istih koje se mogu uzeti u razmatranje kao najizglednijih rješenja.

Na taj način moguće je sve kombinacije zadanih radnih površina unutar definiranog prostora, kao alternative rasporeda površina, međusobno usporediti. Ono se u okviru odabrane metode vrši na temelju tzv. *SLP* ocjene rasporeda površina (engl. *SLP score*) dobivene pomoću kriterija bliskosti za koji vrijedi slijedeći izraz:

$$s = \sum_{i=1}^{n_p} w_i \cdot Y_i \quad (1)$$

gdje je:

Y_i - broj bliskosti u i-toj klasi,

w_i - težinski faktor za i-tu bliskost,

s - ocjena rasporeda površina,

n_p - broj radnih površina.

Veća vrijednost SLP ocjene rasporeda površina u okviru promatrane varijante, znači i veće približenje optimalnim tokovima brodograđevnog procesa. Najveća moguća vrijednost normalizirane ocjene rasporeda površina dobivene temeljem kriterija bliskosti je jedan.

Od svih generiranih varijanti rasporeda površina, jedna će zasigurno biti najbolja sa stajališta SLP ocjene, međutim to nije nužno i optimalno projektno rješenje sa stajališta cijelog brodogradilišta. Naime, pored zahtjeva za optimalnim proizvodnim tokovima, u obzir moraju biti uzeti i ostali postojeći te postavljeni zahtjevi koji su također vrlo značajni kod projektiranja rasporeda površina. Dakle, zahtjevi kao što su ograničena veličina investicija potrebnih da se realizira predloženo projektno rješenje, zatim postojeća infrastruktura koja se ne može mijenjati ili micati, nadalje nužnost neometanog odvijanja tekuće proizvodnje, i sl., predstavljaju realne zahtjeve ali koje nije moguće uključiti u okvir ove faze.

Iz tog razloga, u okviru ove faze, autori predlažu izbor 20 najizglednijih varijanti projektnog rješenja, dobivenih na temelju SLP ocijene, jer smatraju da se upravo unutar takvog uzorka nalazi ono rješenje koje će optimalno zadovoljiti i ostale kriterije.

Budući je, u okviru ove faze, potrebno analizirati velik broj mogućih rasporeda proizvodnih površina, preporuča se korištenje specijaliziranog računalskog programa. Jedan takav program, primjenjiv te preporučen za potrebe u okviru ove faze, je Block Plan for Windows 1.4 [9]. Ovaj program namijenjen je rješavanju raznih problema projektiranja rasporeda površina upravo primjenom SLP metode. Pomoću njega omogućeno je brzo generiranje i procjena svih varijanti rasporeda površina temeljem odnosa bliskosti utvrđenih u prvoj fazi ove metodologije.

3.3. FAZA 3 – Hijerarhijsko modeliranje AHP metodom za odabir optimalnog projektnog rješenja

Za treću fazu u ovdje predloženoj metodologiji, tj. za odabir projektnog rješenja koje će optimalno zadovoljiti postavljene kriterije, predlaže se analitički hijerarhijski proces, tj. AHP metoda, [10]. Ista predstavlja jednu od metoda znanstvene analize scenarija i donošenja odluka konzistentnim vrednovanjem hijerarhijske strukture koju čine ciljevi, kriteriji, podkriteriji te alternative. Alternative, kao najizglednije varijante rješenja, se preuzimaju iz prethodne faze.

Kako bi se mogao izvršiti odabir optimalnog rješenja između prikazanih dvadeset najizglednijih varijanti rasporeda proizvodnih površina, potrebno je utvrditi postavljena ograničenja, odnosno kriterije koje će potencijalno rješenje optimalno zadovoljiti.

Prvi postavljeni kriterij, proizašao kao rezultat druge faze predložene metodologije, odnosno:

Kriterij 1: SLP ocjena rasporeda proizvodnih površina,

koja predstavlja u kojoj mjeri promatrana varijanta slijedi tehnologičnost gradnje broda odnosno saznanja o optimalnim proizvodnim tokovima. Nadalje, ostali postavljeni kriteriji, proizašli su dijelom iz projektnih zahtjeva, a dijelom iz tehnoloških ograničenja brodogradilišta te su sljedeći:

Kriterij 2: Cijena investicije,

Kriterij 3: Zadržavanje postojećih objekata,

Kriterij 4: Izvedivost,

Kriterij 5: Širenje izvan vanjskih granica brodogradilišta,

S obzirom na postavljene kriterije izvršena je detaljna analiza osnovnih karakteristika najizglednijih varijanti proizašlih iz prethodne faze, te su iste prikazane u tablici 4.

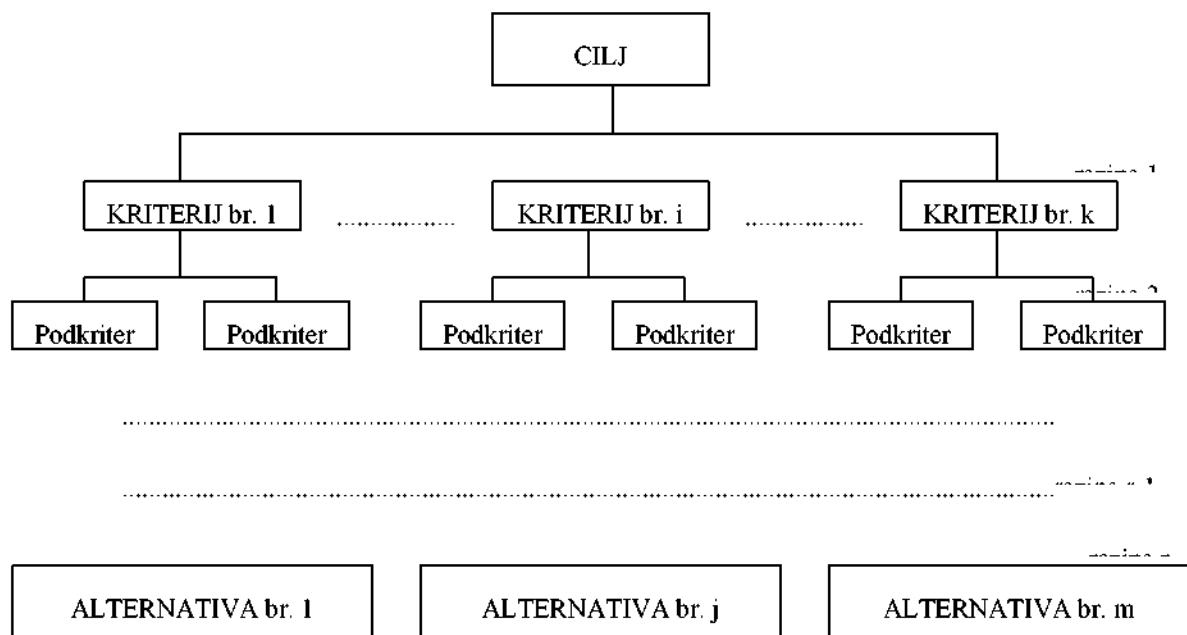
Tablica 4. Osnovne karakteristike alternativa prema postavljenim kriterijima

Table 4 Basic characteristics of the selected design solutions regarding given criteria

KRITERIJI		1	2	3	4	5
ALTERNATIVE		SLP ocjena rasporeda površina	Cijena investicije, k€	Broj objekata koje je potrebno srušiti	Ometanje tekuće proizvodnje, %	Potreba za širenjem tzvan granica brodogradilišta
1	Varijanta 1	0,66	24299	14	40	NE
2	Varijanta 2	0,71	21154	7	15	NE
3	Varijanta 3	0,54	24182	11	55	NE
4	Varijanta 4	0,68	24794	14	35	NE
5	Varijanta 5	0,73	24812	15	30	DA
6	Varijanta 6	0,6	24722	13	50	NE
7	Varijanta 7	0,58	23947	10	25	NE
8	Varijanta 8	0,7	25727	8	25	DA
9	Varijanta 9	0,69	24959	11	40	DA
10	Varijanta 10	0,58	24317	11	40	NE
11	Varijanta 11	0,65	24859	14	30	NE
12	Varijanta 12	0,76	26177	11	30	DA
13	Varijanta 13	0,71	24709	14	50	NE
14	Varijanta 14	0,6	25709	12	40	NE
15	Varijanta 15	0,71	24659	14	40	NE
16	Varijanta 16	0,67	24609	11	55	NE
17	Varijanta 17	0,69	20974	6	10	NE
18	Varijanta 18	0,73	24544	12	30	NE
19	Varijanta 19	0,57	27797	13	90	NE
20	Varijanta 20	0,73	25497	13	25	DA

Kriteriji se uključuju u izradu hijerarhijskog modela te se na osnovu njih, među alternativama, traži optimalno rješenje kao cilj.

Hijerarhijski strukturiran model odlučivanja sastoji se od cilja, kriterija, pod-kriterija te alternativa, slika 3. Cilj se nalazi na najvišoj razini hijerarhijske strukture, te se on s nijednim drugim elementom ne uspoređuje. Na prvoj razini se nalazi k kriterija koji se u parovima, svako sa svakim, uspoređuju u odnosu na neposredno nadređeni element na višoj razini, a to je cilj. Potrebno je ukupno uspoređivanja. Isti postupak se ponavlja u sljedećoj hijerarhijskoj razini, pa tako sve prema niže dok se na posljednjoj r -toj razini ne izvrše uspoređivanja svih alternativa u odnosu na nadređene pod-kriterije na pretposljednjoj razini.



Slika 3. AHP hijerarhijski model

Fig. 3 AHP hierarchical model

Svako uspoređivanje dva elementa hijerarhije (modela) vrši se korištenjem Saaty-jeve skale vrednovanja, tablica 5.

Tablica 5. Saaty-jeva skala vrednovanja

Table 5 Saaty's scale of relative importance

Značaj	Definicija	Opis
1	Istog značaja	Dva kriterija ili alternativa jednakо doprinose cilju
3	Slaba dominantnost	Na temelju iskustva i procjena daje se umjerena prednost jednom kriteriju ili alternativi u odnosu na drugu
5	Jaka dominantnost	Na temelju iskustva i procjena strogo se favorizira jedan kriterij ili alternativa u odnosu na drugi
7	Dokazana dominantnost	Jedan kriterij ili alternativa izrazito se favorizira u odnosu na drugi; njegova dominacija dokazuje se u praksi
9	Apsolutna dominantnost	Dokazi na temelju kojih se favorizira jedan kriterij ili alternativa u odnosu na drugi potvrđeni su s najvećom uvjerenjivošću
2,4,6,8	Međuvrijednosti	Potreban kompromis ili daljnja podjela

Rezultati uspoređivanja elemenata na danoj razini hijerarhijske strukture svrstavaju se u odgovarajuće matrice na sljedeći način:

Ako se međusobno uspoređuje n elemenata u odnosu na odgovarajući element na neposredno višoj razini hijerarhijske strukture, tada se pri uspoređivanju i -tog elementa u odnosu na j -ti element, pomoću Saaty-jeve skale određuje numerički koeficijent a_{ij} te se svrstava na odgovarajuću poziciju u matrici A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Recipročna vrijednost rezultata uspoređivanja smješta se na poziciji a_{ji} kako bi se očuvala konzistentnost rasuđivanja. Sami matematički temelji AHP metode dani su u [11].

U okviru ovog rada izrađen je poseban računalni alat za hijerarhijsko modeliranje prilagođen projektiranju rasporeda proizvodnih površina brodogradilišta. Izrađeni alat ima način unosa ulaznih podataka upravo prilagođen za projektiranje rasporeda površina brodogradilišta. Isti, hijerarhijskim modeliranjem i korištenjem matematičkih temelja AHP metode dolazi do rezultata u obliku rang liste razmatranih najizglednijih alternativa rasporeda.

AHP metodom dolazi se do lokalnih prioriteta te se na temelju istih utvrđuju ukupni prioriteti pomoću izraza (4).

$$P_i = A_{i-1} \cdot K_1 + A_{2-i} \cdot K_2 + A_{3-i} \cdot K_3 + A_{4-i} \cdot K_4 + A_{5-i} \cdot K_5 \quad (4)$$

Konačno temeljem utvrđenih prioriteta, P1... P20, izdvaja se rješenje koje ima najveću vrijednost, a što znači najbolje udovoljavanje postavljenim kriterijima. Takvo rješenje smatra se optimalnim.

3.4. FAZA 4 – Utvrđivanje stabilnosti projektnog rješenja metodom analize osjetljivosti

Analiza osjetljivosti provodi se u četvrtoj fazi predložene metodologije, a s ciljem da se utvrdi u kojoj mjeri se promjene ulaznih podataka odražavaju na ukupne prioritete alternativa, odnosno kako bi se utvrdila stabilnost odabranog rješenja.

Analiza osjetljivosti je metoda operacijskih istraživanja skupine linearog programiranja, koja proučava kako promjene parametara modela, odnosno vrijednosti značajki, utječu na optimalno rješenje linearog programiranja, [12].

Svrha i rezultati primjene metode analize osjetljivosti mogu biti sljedeći:

- utvrđivanje stabilnosti odabranog projektnog rješenja,
- pojednostavljanje hijerarhijskog modela,
- identificiranje novih vrijednosti značajki hijerarhijskog modela temeljem eksperimenata,
- utvrđivanje kritičnih značajki hijerarhijskog modela, itd.

Pri tome, razlikuju se dvije varijante metode analize osjetljivosti vezano za pristup njihova provođenja, a odluka često ovisi o karakteristikama slučaja na koji se primjenjuje, i to, [13]:

Analitička analiza osjetljivosti:

- za dobro definirane sustave,
- rješavanju problema pristupa se parcijalnim derivacijama, (5),

$$S_x^F = \frac{\partial F}{\partial x}, \quad (5)$$

pri čemu S definira funkciju osjetljivosti, odnosno intenzitet promjene, ciljne funkcije F ovisno o promjenama parametra x.

Empirijska analiza osjetljivosti:

- eksperimentiranjem se analizira utjecaj promjene ulaznih parametara na izbor optimalnog projektnog rješenja,
- prikladnija za složene sustave i one koji nisu precizno definirani.

Za potrebe predložene metodologije prikladnija je te stoga i predložena upravo empirijska analiza osjetljivosti.

U okviru ovoga, a radi brže analize i provjere konačnog rješenja, korišten je specijalizirani računalni alat Expert Choice software [14]. Za potrebe metodologije predlažu se četiri relevantna tipa analize osjetljivosti i to:

- dinamička analiza osjetljivosti
- analiza izvedbene osjetljivosti
- analiza dijagramom stupnja osjetljivosti
- analiza dijagramom sučeljavanja

Predložena, završna faza provedena je i na realnom primjeru te su rezultati proizašli iz treće faze utvrđeni kao dovoljno stabilni i konačni.

4. Zaključak

Razvojem brodogradnje mijenjao se je tehnološki proces gradnje broda, kao i materijali za gradnju broda, rasla je proizvodnost, a sve je to zahtijevalo i drugačiju konfiguraciju brodogradilišta s novim, dodatnim radionicama i površinama. Odgovor na navedeni razvoj redovito se pronalazio u širenju oko već postojećih sadržaja. Takva rješenja su u određenim okolnostima bila zadovoljavajuća, ali ne i optimalna sa stajališta proizvodnih tokova procesa. U tom smislu, a naročito iz činjenice da su daljnja prostorna širenja postojećih brodogradilišta danas gotovo nemoguća, javlja se potreba za primjenom znanstvene metodologije u praćenju i otkrivanju mogućnosti poboljšanja brodograđevnog proizvodnog procesa kroz optimizaciju rasporeda postojećih površina, odnosno kroz unapređenje proizvodnih tokova.

Pretraživanjem dostupnih izvora informacija utvrđeno je da se za projektiranje rasporeda površina u području brodogradnje ne primjenjuju dovoljno suvremene metode, tehnike i alati. Stoga je, na temelju usvojenih saznanja, postavljen i cilj istraživanja, tj. osnivanje posebno prilagođene metodologije za projektiranje optimalnog rasporeda proizvodnih površina brodogradilišta. Dodatno, značajan napor uložen je pri odabiru i prilagodbi prikladnih metoda i alata, kako bi isti činili takvu metodologiju projektiranja rasporeda površina primjenjivom i učinkovitom te razumljivom i rukovodstvima brodogradilišta.

Ovako osnovana metodologija za projektiranje rasporeda proizvodnih površina, realizira se kroz utvrđenu proceduru koja se sastoji od četiri faze u okviru kojih se, za postizanje željenih rezultata koriste posebno prilagođene metode i alati.

Predložena metodologija provjerena je na realnom problemu kod postojećeg brodogradilišta, a u okviru projekta njegove tehnološke modernizacije. Nakon primjene predložene metodologije, odabrano projektno rješenje unaprijedilo je raspored površina te je

pri tom optimalno zadovoljavajući postavljene kriterije. Isto projektno rješenje je, u preliminarnoj fazi navedenog projekta tehnološke modernizacije, uzeto za daljnju razradu.

Nadalje, preporuča se daljnje istraživanje u svrhu prilagodbe te analize primjenjivosti predložene metodologije za projektiranje optimalnog rasporeda površina brodogradilišta na njegove odabране dijelove. Preporuča se istražiti i utvrditi doprinos primjene ovakve metodologije kod unapređenja rasporeda i dimenzioniranja proizvodnih tokova, kao i podizanja tehnološke razine pojedinog proizvodnog procesa.

LITERATURA

- [1] F. Karray, E. Zaneldin, T. Hegazy, A.H.M. Shabeb, and E. Elbelgati, "Tools of Soft Computing as Applied to the Problem of Facilities Layout Planning", IEEE Transaction on Fuzzy Systems, Vol. 8, No. 4, pp. 367-379, August 2000.
- [2] N. Singh, and M.H. Wang, "Concurrent engineering in a high variety printing environment", Int'l Journal of Production Research, Vol. 32, No. 7, pp. 1675-1691, 1994.
- [3] J.A. Tompkins, J.A. White, Y.A. Bozer, and J.M.A. Tanchoco. "Facilities Planning". 3rd Ed., Reading: John Wiley Inc., NY, 2002.
- [4] Ahmad, R. A., "An Intelligent Expert System for Decision Analysis and Support in Multi-Attribute Layout Optimization" University of Waterloo, Ontario, Canada, 2005.
- [5] E.K. Burke, G. Kendall, G. Whitwell, "A New Placement Heuristic for the Orthogonal Stock-Cutting Problem", Operations Research, Vol. 52, No. 4, pp. 665-671, 2004.
- [6] T. Matulja, "Hijerarhijsko modeliranje....", DD
- [7] R. Muther, "Sistematic Layout Planning", Second edition, ISBN: 0-933684-06-1. Management & Industrial Research Publications, USA, 1973.
- [8] N. Fafandjel, R. Rubeša, T. Matulja, "Improvement of industrial production process design using Systematic layout planning", Strojarstvo (ISSN 0562-1887), 51(3), str. 177-186, Hrvatski strojarski i brodogradevni inženjerski savez, Zagreb, 2009.
- [9] E.C. Donaghey, A.C. Chung, H. Kong, F.V. Pire, "BlockPlan 1.5", Department of Industrial Engineering, Cullen College of Engineering, University of Houston, USA, 2006.
- [10] T.L. Saaty, "Multicriteria Decision Making", ISBN: 0-9620317-2-0. RWS Publications. USA, 1996.
- [11] T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process", ISBN: 0-07-054371-2. McGraw-Hill, Inc. USA, 1980.
- [12] W.L. Winston, "Operations Research: Applications and Algorithms", Publisher: Duxbury Press; 4 edition, ISBN: 0534380581. 2003.
- [13] F.S. Hillier, G.J. Lieberman, "Introduction to operations research", 7th edition, McGraw Hill, ISBN 0072321695, 2001.
- [14] Expert Choice, Inc., "Expert Choice software 11", Arlington, VA, USA, 2004.