

Izv. prof. dr. sc. Nikša Fafandjel, Sveučilište u Rijeci, Tehnički Fakultet, Vukovarska 58, Rijeka

Pred. mr. sc. Duško Pavletić, Sveučilište u Rijeci, Tehnički Fakultet, Vukovarska 58, Rijeka

Mr. sc. Vilim Simone Brodogradilište, "3.MAJ" d.d., Liburnijska 3, Rijeka

Asist. Marko Hadjina, Sveučilište u Rijeci, Tehnički Fakultet, Vukovarska 58, Rijeka

MODELIRANJE ROBOTIZIRANE LINIJE ZA REZANJE PROFILA PRIMJENOM METODE SIMULACIJE

Sažetak

Rad prikazuje određene rezultate razvojnog istraživanja u sklopu projektiranja nove robotizirane linije za rezanje ravnih profila u Brodogradilištu "3.MAJ" d.d.- Rijeka. Temeljem analize proizvodnog programa brodogradilišta utvrđeni su najsloženiji međuproizvodi za različite tipove trupa broda. Za takove međuproizvode izvršena je analiza asortimana obrađenih profila i traka, slijedom čega je određen asortiman ulaznog materijala na liniju. Na temelju pretpostavljene konfiguracije linije razrijeđen je grafički prikaz procesa te su identificirani relevantni parametri. Izvršeno je modeliranje proizvodne linije za rezanje ravnih profila i traka primjenom metode simulacije. Metoda omogućava diskretno modeliranje, te determinističko i stohastičko modeliranje procesa, a uključuje i elemente Monte Carlo metode. Računalno je podržana, što omogućava variranje velikog broja parametara odnosno analizu većeg broja različitih scenarija. Nakon provjere i potvrde simulacijskog modela linije, pristupilo se analizi različitih proizvodnih scenarija s ciljem utvrđivanja optimalne konfiguracije parametara, pojave "uskih grla" te dimenzioniranja kapaciteta pojedinih resursa linije. Rezultati dobiveni modeliranjem omogućavaju donošenje odluke o optimalnoj konfiguraciji linije.

Ključne riječi: brodogradnja, proizvodni proces, simulacija

MODELLING PROFILES ROBOTIC CUTTING LINE USING SIMULATION METHOD

Summary

The paper demonstrates particular results obtained during development research concerning design of a new straight profiles robotic cutting line within shipyard "3. MAJ" in Rijeka. Based upon shipyard production program, the most complex production units had been determined. For such units, treated profiles and strips assortment analysis was performed, followed by production line input material assortment determination. Based on supposed line configuration, a process flow diagram was elaborated, while identifying relevant parameters. Then, modelling of production line for straight profiles cutting was performed by using of simulation method. The method enables discrete modelling, than deterministic and stochastic process modelling, while elements of Monte Carlo method are included. It is supported by computer, which enables varying of great number of parameters i.e. analysis of greater number of various scenarios. After verification and confirmation of the line simulation model, various production process scenarios analysis were approached, with the objective to define optimal parameter configurations, process bottle-necks, and capacity dimensions of particular line resources. Results obtained by modelling enable decision making of an optimal line configuration.

Key words: shipbuilding, production process, simulation

1. Uvod

Prijelaz s postojeće na višu tehnološku razinu predstavlja složeni projektni zahtjev. Konvencionalnim postupkom uobičajeno je odabrati rješenje temeljem usporedbe s drugim brodogradilištima koja su sličnu tehnologiju već implementirala. Takvo rješenje, u određenim okolnostima može biti zadovoljavajuće, međutim, ne i optimalno prilagođeno određenom brodogradilištu. Analiza pomoću *benchmarkinga* ovisi o iskustvu stručnjaka koji rade na projektu, o nizu pretpostavki vezanih uz statističke veličine, o vrsti analiziranog uzorka, interpretaciji rezultata i projekciji na zadano brodogradilište.

U ovom razvojnom istraživanju autori su pozvani da u sklopu projektiranja nove robotizirane linije za rezanje ravnih profila za odabrano brodogradilište, razviju računalni simulacijski model temeljem kojeg bi se izvršila analiza niza proizvodnih scenarija i utvrdilo optimalno rješenje za konfiguraciju linije sa stajališta proizvodnje, [1,2]. Nadalje, takav model poslužio bi preciznijem izboru ponuđenih opcija opreme linije, odnosno racionalnom korištenju investicijskih sredstava.

Model, koji je prilagođen odabranom brodogradilištu, simulira buduću liniju za rezanje profila, te na razini računalnog programa omogućava variranje niza parametara, odnosno analizu većeg broja različitih proizvodnih scenarija. Očekuje se da odluka o konačnoj konfiguraciji razmatrane linije, utemeljena na analizi različitih scenarija simulacijskog modeliranja, sadrži manji rizik od one temeljene na konvencionalnom pristupu, [3].

Različitosti između nove i stare tehnologije u radu se vrednuju propusnošću procesnih linija. Propusnost je tehničko-proizvodna jedinica mjere koja pokazuje kolika je zauzetost procesa rada s obradom tehnoloških grupa broskog trupa, koje se smatraju jedinicama proizvoda linije profila. Obrada tehnološke grupe u smislu analize propusnosti procesa mora se temeljiti na najnepovoljnijem slučaju njegove zauzetosti, uvažavajući sve sastavne dijelove grupe te vodeći računa o veličini međuskladišta linije za rezanje profila, radi kontinuiranosti procesa.

2. Ciljevi, odabir karakteristične grupe i analiza asortimana ulaznog materijala

Ciljevi modeliranja linije za rezanje profila primjenom metode simulacije procesa su:

- Odrediti potrebnu površinu poprečnih transportera na ulazu u liniju za rezanje profila, tako da se omogući nesmetana dostava limova i profila naizmjenice na liniju za rezanje profila i na liniju za obradu limova;
- Odrediti potrebne površine međuskladišta odnosno svih poprečnih transportera linije tako da se omogući neprekidni rad na postupcima zrnčenja i rezanja profila;
- Odrediti potrebni kapacitet dizalica za posluživanje linije;
- Odrediti potreban broj paleta na izlasku iz linije;
- Analizirati količine ostataka profila nakon rezanja.

Temeljem analize proizvodnog programa brodogradilišta utvrđeni su najsloženiji međuproizvodi za različite tipove trupa broda.

Za tako dobivene međuproizvode, prema dokumentaciji priloženoj od strane odabranog brodogradilišta, izvršena je analiza asortimana profila i traka slijedom čega je definiran i usvojen asortiman ulaznog materijala odnosno profila na liniju, što je prikazano njegovom specifikacijom u tablici 1.

Tablica 1. Usvojena specifikacija ulaznog materijala**Table 1** Adopted input material specification

Grupa dvodna – popis profila i traka			
Naziv	Visina, h mm	Debljina, δ mm	Broj komada
HP 220 x 11,5	220	11,5	26
HP 240 x 10	240	10	12
HP 280 x 11	280	11	2
HP 340 x 12	340	12	20
HP 340 x 14	340	14	56
HP 370 x 13	370	13	48
HP 370 x 15	370	15	4
HP 400 x 14	400	14	2
TR 80 x 15	80	15	12
TR 120 x 13	120	13	2
TR 130 x 12	130	12	92
TR 150 x 12	150	12	84
TR 150 x 13	150	13	427
TR 150 x 15	150	15	714
TR 200 x 10	200	10	4
TR 200 x 15	200	15	5
TR 200 x 20	200	20	12

3. Određivanje toka i parametara procesa

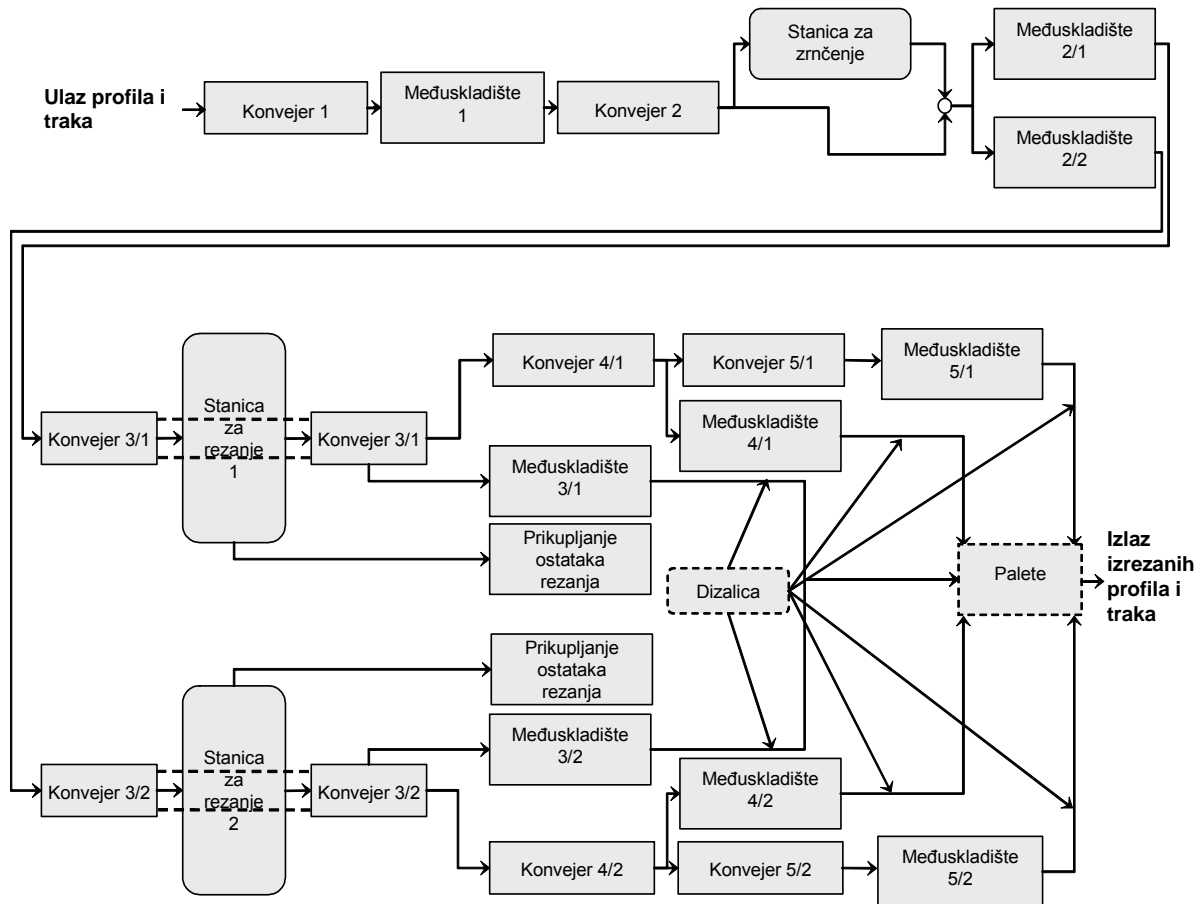
Na temelju pretpostavljene konfiguracije linije za rezanje profila utvrđen je grafički prikaz toka procesa te su određeni relevantni parametri.

Prilikom projektiranja linije predviđen je odgovarajući broj konvejera, kako uzdužnih tako i poprečnih, stroj za zrnčenje rubova profila, dvije automatizirane stanice za rezanje plinskim plamenom, te vertikalno – horizontalni transporter odnosno dizalica.

Grafički prikaz toka procesa, sa svim elementima procesa kao i tokom profila kroz proces prikazan je na slici 1. Na početku linije profili se grupiraju u grupe širine 3 m i dužine 12 m, koje se dovode na konvejer 1. Njime se profili transportiraju do međuskladišta 1 gdje se pripremaju za pojedinačni transport. Konvejerom 2 profili i trake se transportiraju do međuskladišta 2/1 odnosno 2/2, ovisno o zauzetosti automatiziranih stanica za rezanje. Pri tome, dio profila se obrađuje na stanici za zrnčenje, dok se preostali profili transportiraju izravno do međuskladišta 2/1 odnosno 2/2, te dalje do stanica za rezanje 1 i 2. Stanice za rezanje su tako predviđene da se svi tipovi rezova kao i sve veličine profila i traka mogu obrađivati na obje stanice, a dovođenje profila na pojedinu stanicu ovisi isključivo o zauzetosti stanice. Po završetku rezanja, neposredno iza stanica za rezanje vrši se sortiranje odrezanih profila koji se ovisno o svojoj dužini dalje transportiraju, i to:

- Profili i trake dužina manjih od 750 mm transportiraju se do međuskladišta 3/1, konvejerom 3/1, odnosno do međuskladišta 3/2, konvejerom 3/2;
- Profili i trake dužina od 750 do 2500 mm transportiraju se do međuskladišta 4/1, konvejerom 4/1, odnosno do međuskladišta 4/2, konvejerom 4/2;
- Profili i trake dužih od 2500 mm transportiraju se do međuskladišta 5/1, konvejerom 5/1, odnosno do međuskladišta 5/2, konvejerom 5/2.

Iz navedenih međuskladišta profili se dalje transportiraju dizalicom do paleta gdje se sortiraju prema potrebama daljnje proizvodnje.



Slika 1. Tok procesa linije za rezanje profila
Fig. 1 Process flow map

Analizom linije za rezanje profila, kao najutjecajniji parametri izdvojeni su sljedeći ulazni parametri:

- veličina međuskладиšta 1, grupa profila,
- veličina međuskладиšta 2/1, kom.,
- veličina međuskладиšta 2/2, kom.,
- veličina međuskладиšta 3/1, kom.,
- veličina međuskладиšta 3/2, kom.,
- veličina međuskладиšta 4/1, kom.,
- veličina međuskладиšta 4/2, kom.,
- veličina međuskладиšta 5/1, kom.,
- veličina međuskладиšta 5/2, kom.,
- faktor kapaciteta dizalice,
- brzina konvejera, m/min,
- brzina zrnčenja, m/min,
- faktor trajanja rezanja.

Veličina međuskладиšta 1 određena je brojem grupa profila i traka koje mogu istovremeno biti u međuskладиštu. Veličine ostalih međuskладиšta određene su brojem pojedinačnih profila i traka. Faktorom kapaciteta dizalice izražena je propusna moć odnosno kapacitet transportiranja gotovih, obrađenih profila i traka od izlaznih međuskладиšta do paleta. Veća vrijednost kapaciteta dizalice znači da je u promatranom vremenu moguće transportirati veći broj obrađenih profila i traka. Brzine konvejera kao i brzina zrnčenja izražene su stvarnim vrijednostima u m/min. Trajanje rezanja profila i traka na stanicama za rezanje posebno je određeno za svaki tip obrade, na temelju podataka dobivenih od proizvođača proizvodne opreme koja se namjerava ugraditi. Faktorom trajanja rezanja razmatra se slučaj kada je ukupno trajanje rezanja duže, odnosno kraće od trenutno predviđenog. Na taj se način analizira da li predviđena oprema za rezanje traka i profila zadovoljava potrebe i uvjete planirane proizvodnje.

4. Simulacijski model

U radu je razvijen model linije za rezanje ravnih profila i traka. Model linije je temelj i osnovni element računalne simulacije, [4]. U preliminarnoj fazi projekta bilo ga je neophodno definirati tako da odgovarajuće predstavlja stvarni proizvodni proces.

Model kao prikaz stvarnog sustava obuhvaća one karakteristike koje su relevantne za projekt i ciljeve koji se žele ostvariti te je u procesu modeliranja bilo važno izvršiti odabir upravo onih elemenata i karakteristika sustava od značaja za projekt i njegove ciljeve, a eliminirati one za koje se procijenilo da su irelevantni. Takav model nužno sadržava i određene pretpostavke. Razlučivanje između relevantnih i irelevantnih činjenica te donošenje pravilnih pretpostavki od esencijalne su važnosti za izradu kvalitetnog modela kao temelja za simuliranje, optimiranje i predviđanje elemenata proizvodnog procesa.

Autorima je, dakle, početni preduvjet, nužan za daljnju razradu i optimiranje linije, bio osnovati model, unutar uvjeta i zahtjeva odabranog brodogradilišta te raspoloživog prostora, koji će unutar prihvaćenih uvjeta sa predstavnicima brodogradilišta, računalno predstavljati buduću automatiziranu liniju za rezanje profila.

Stoga, prije početka izrade modela procesa bilo je bitno:

- Utvrditi što sve treba biti uključeno u model;
- Utvrditi razinu detaljiziranosti modela;
- Razlučiti osnovne resurse u procesu i operacije koje izvode;
- Definirati proizvodni plan linije za rezanje profila;
- Utvrditi i definirati eventualna ograničenja na sustav u smislu prostornog ili vremenskog ograničenja;
- Definirati, kada postoje, operacijske procedure;
- Prikupiti ostale relevantne podatke;
- Dogovoriti i definirati uvjete i način provjere tj. potvrde modela;
- Utvrditi kakvi se izlazni podaci očekuju i što se očekuje kao krajnji rezultat;
- Utvrditi rokove.

Nakon definiranja gore navedenih ulaznih elemenata, u narednoj fazi projekta slijedila je izrada računalnog simulacijskog modela. Nadalje, proveden je niz simulacija procesa te analiza različitih proizvodnih scenarija kojom je prepoznat niz značajnih podataka, poput "uskih grla", vremena trajanja obrade, definiranja potrebnih kapaciteta pojedinih resursa linije, predviđanja određenih pojava u procesu i sl.

5. Analiza različitih proizvodnih scenarija

Analizom simulacijskog modeliranja različitih proizvodnih scenarija utvrđen je utjecaj vrijednosti parametara na funkcioniranje linije, [4,5]. Također, analizom je moguće iznaći najprikladniji scenarij za integraciju nove opreme kao i čitave linije u kompleksni proces gradnje broskog trupa.

Na modelu linije za rezanje profila provedeni su potrebni pokusi kako bi se utvrdile optimalne vrijednosti ulaznih parametara linije. Pokusni su provedeni uz primjenu metoda planiranja pokusa, kojima se broj potrebnih pokusa smanjuje na minimum. Kako linija za rezanje ravnih profila ima ukupno 13 ulaznih parametara koji su uključeni u prvu grupu pokusa, ukupan broj pokusa potrebnih da se obuhvate sve kombinacije ulaznih parametara bi bio prevelik za praktično izvođenje. Uzimajući u obzir da se pri provedbi prve grupe pokusa

željelo utvrditi koji su ulazni parametri utjecajni, proveo se pomno odabrani dio od ukupnog broja pokusa, odnosno 32 pokusa.

Kod provedbe pokusa pratiti će se vrijednosti izlaznih parametara, i to pokazatelj ukupnog trajanja rezanja čitavog karakterističnog ulaznog asortimana profila i traka, te pokazatelji korištenosti automatiziranih stanica za rezanje.

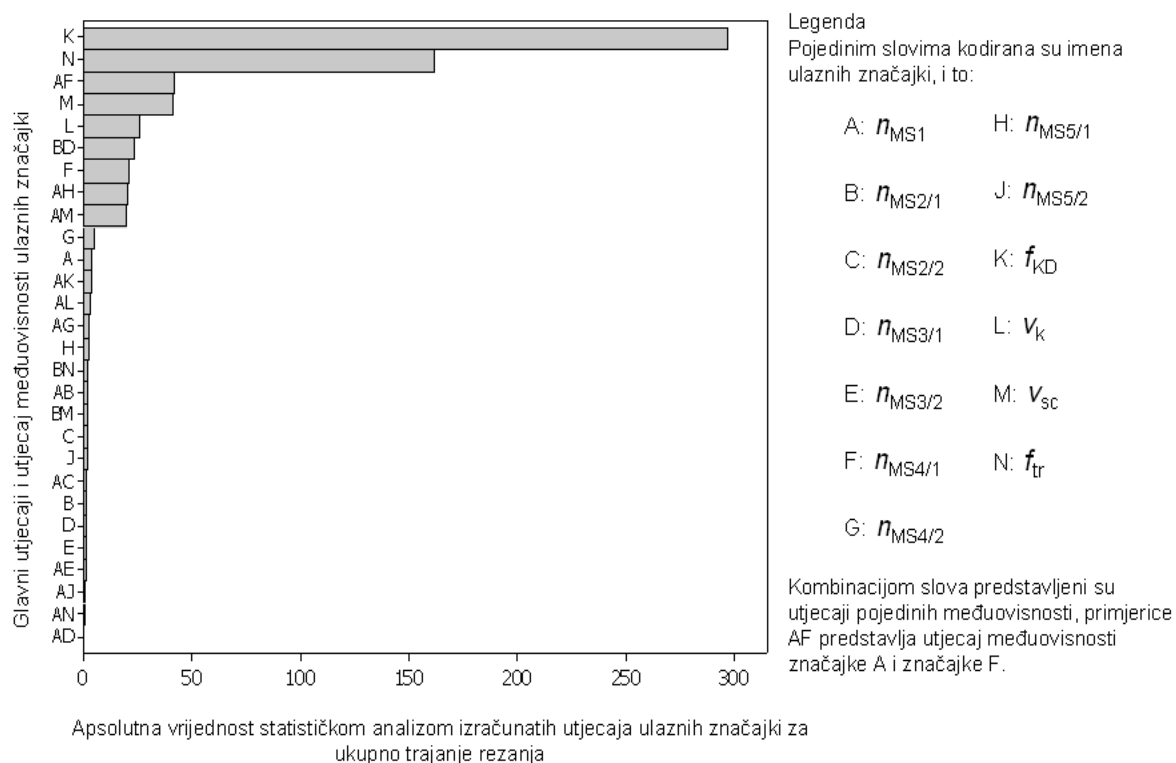
Statistička analiza rezultata pokusa provodila se posebno za svaki odabrani izlazni parametar, odnosno za ukupno trajanje rezanja, te za pokazatelje korištenosti automatiziranih stanica za rezanje.

Na temelju provedene statističke analize rezultata pokusa, grafički su prikazani glavni utjecaji kao i međuovisnosti ulaznih parametara, slika 2. Može se uočiti da najjači utjecaj na ukupno trajanje rezanja profila i traka ima faktor kapaciteta dizalice, potom faktor trajanja rezanja, brzina zrnčenja, brzina konvejera, te veličina međuskladišta 4/1. Također, određeni utjecaj na ukupno trajanje rezanja ima i međuovisnost veličine međuskladišta 1 i međuskladišta 4/1, kao i međuovisnost veličine međuskladišta 2/1 i međuskladišta 3/1.

Na isti način provedene su i analize utjecajnih parametara za slučajeve kada se kao izlazni parametar prate korištenost automatiziranih stanica za rezanje. Analizirani su glavni utjecaji i utjecaji međuovisnosti ulaznih parametara, te je, uzimajući u obzir sve dobivene rezultate, zaključeno da slijedećih pet parametara ima najveći utjecaj na rad linije:

- veličina međuskladišta 1,
- veličina međuskladišta 4/1,
- faktor kapaciteta dizalice,
- faktor trajanja rezanja, te
- brzina zrnčenja.

S tim parametrima, kao ulaznima, izvršena je detaljna analiza linije, odnosno ušlo se u slijedeći krug provedbe pokusa, u kojemu se, zbog relativno malog broja parametara s kojima su se pokusi provodili, proveli pokusi za sve kombinacije parametara, ukupno 16 pokusa. Nakon što je odabran odgovarajući plan pokusa, na simulacijskom modelu procesa provedeni su potrebni pokusi, analizirani su rezultati, te su odabrane optimalne vrijednosti razmatranih ulaznih parametara.



Legenda:

- | | | |
|--|--|---------------------------------------|
| n_{MS1} - veličina međuskладиšta 1 | $n_{MS4/1}$ - veličina međuskладиšta 4/1 | f_{KD} - faktor kapaciteta dizalice |
| $n_{MS2/1}$ - veličina međuskладиšta 2/1 | $n_{MS4/2}$ - veličina međuskладиšta 4/2 | v_k - brzina konvejera |
| $n_{MS2/2}$ - veličina međuskладиšta 2/2 | $n_{MS5/1}$ - veličina međuskладиšta 5/1 | v_{sc} - brzina zrnčenja |
| $n_{MS3/1}$ - veličina međuskладиšta 3/1 | $n_{MS5/2}$ - veličina međuskладиšta 5/2 | f_{tr} - faktor trajanja rezanja |
| $n_{MS3/2}$ - veličina međuskладиšta 3/2 | | |

Slika 2. Prikaz glavnih utjecaja i utjecaja međuovisnosti ulaznih parametara za ukupno trajanje rezanja
 Fig. 2 Influence of main effects and interactions on overall process time

U praksi se ne očekuje neprekidan rad stanica za rezanje. Proizvođač stanica sugerira korištenost od 75% kao korištenost koja se može dugoročno primjenjivati u proizvodnom okruženju. Iz tog je razloga izvršena analiza u kojoj je razmatran utjecaj pauza u radu stanica za rezanje.

Provedenom analizom utvrđeno je da kraće i češće pauze utječu na smanjenje ukupnog trajanja rezanja, kao i na povećanje korištenosti obje stanice za rezanje.

Uzimajući u obzir rezultate svih provedenih analiza, usvojene su optimalne vrijednosti ulaznih značajki linije za pripremu profila i traka za zavarivanje.

Postignuti rezultati, prije i nakon provedenog optimiranja, uspoređeni su u tablici 2.

Tablica 2. Usporedba rezultata prije i nakon optimiranja ulaznih značajki**Table 2** Comparison of results before and after optimization of input parameters

Izlazne značajke	t_u	t_{doS1}	t_{doS2}	f_{S1}	f_{S2}
Rezultati simulacije	min	min	min		
Rezultati prije optimiranja ulaznih značajki	6179	963	989	0,591	0,590
Rezultati nakon optimiranja ulaznih značajki	4923	1155	1161	0,741	0,741
Poboljšanje, %	20,3	19,9	17,4	25,3	25,6

Legenda: t_{doS1} - prosječno trajanje zadržavanja profila i traka na liniji, prije rezanja na stanici 1, t_{doS2} - prosječno trajanje zadržavanja profila i traka na liniji, prije rezanja na stanici 2, t_u - ukupno trajanje rezanja, f_{S1} - faktor korištenosti stanice 1, f_{S2} - faktor korištenosti stanice 2

6. Zaključak

Može se zaključiti da podešavanje vrijednosti ulaznih značajki, u skladu s optimalno predloženim, rezultira skraćanjem ukupnog trajanja rezanja za 20,3%, uz istovremeno produljenje vremena autonomnosti linije za 19,9% za stanicu 1 odnosno 17,4% za stanicu 2. Također se očekuje i povećanje korištenosti stanice za rezanje profila i traka, i to stanice 1 za 25,3% odnosno stanice 2 za 25,6%.

Primjena simulacijskog modela, dakle, omogućava učinkovitu analizu različitih proizvodnih scenarija odnosno analizu utjecaja vrijednosti pojedinih parametara na funkcioniranje linije u cijelosti. Također, analizom različitih proizvodnih scenarija moguće je iznaći najpovoljniji sa stajališta brodogradilišta, za integraciju nove opreme te čitave linije u kompleksni proizvodni proces gradnje broskog trupa. Temeljem razvijenog simulacijskog modela i provedene analize moguće je uz umanjeni rizik u odnosu na konvencionalne metode, donijeti odluku o konačnoj konfiguraciji i potrebnoj opremi razmatrane proizvodne linije.

Nadalje, nakon stavljanja u funkciju nove proizvodne linije, mogu se ispitivati razni "what if" scenariji proizvodnog procesa u kratkom vremenu, bez rizika i uz relativno niske troškove. Proces se time može prilagođavati eventualnim dodatnim potrebama uz predviđanje posebnih događaja i njihovih utjecaja. Mogu se prepoznati nedostaci procesa te ciljano i sa bitno umanjnim rizikom investirati u dogradnju i poboljšanje linije u ciljanim segmentima.

Radi racionalnog korištenja financijskih sredstava i vremena za implementaciju, ovaj se pristup predlaže kod razvojnih projekata integriranja novih tehnologija u postojeće procese u brodogradnji. Temeljem novih spoznaja i podataka moguće je permanentno usavršavanje već izgrađenog modela što povećava njegovu fleksibilnost i preciznost.

LITERATURA:

- [1] Pritsker, A.A.B., at al, *Simulation with Visual SLAM and AweSim*, John Wiley & Sons, New York, 1997
- [2] Kelton, W.D., Sadowski, R. P., *Simulation with Arena*, 2nd edition, McGraw-Hill Higher Education, 2002.
- [3] Satty, T.L., *Expert Choice™ Decision Support Software*, Expert Choice Inc., Pittsburgh, 1995.
- [4] Law, A. M., Kelton, W.D., *Simulation Modeling & Analysis*, 2nd Edition, McGraw-Hill International Editions, 1991.
- [5] Winston, W. L., *Operations Research, Applications and Algorithms*, Duxbury Press, International Thomson Publishing, Wadsworth Inc., 1994.