

# Simulacijsko modeliranje kao osnova metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa

---

**Hadjina, Marko**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2009**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:188:055126>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-17**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka Library - SVKRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET**

**SIMULACIJSKO MODELIRANJE KAO OSNOVA METODOLOGIJE  
PROJEKTIRANJA BRODOGRAĐEVNOG PROIZVODNOG  
PROCESA**

**Doktorska disertacija**

**Marko Hadjina**

**Rijeka, 2009.**

---

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET**

**SIMULACIJSKO MODELIRANJE KAO OSNOVA METODOLOGIJE  
PROJEKTIRANJA BRODOGRAĐEVNOG PROIZVODNOG  
PROCESA**

**Doktorska disertacija**

**Marko Hadjina**

**Mentor: red. prof. dr. sc. Nikša Fafandjel**

**Rijeka, 2009.**

---

## **SAŽETAK**

U radu je predložena metodologija projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa koja se temelji na primjeni metode simulacijskog modeliranja kao osnove predložene metodologije. Pri tome, od predložene metodologije se očekuje da projektantima procesa omogući brži, efikasniji i kvalitetniji pristup projektiranju složenosti i dinamike kompleksnih proizvodnih procesa, s posebnim naglaskom na brodograđevni proizvodni proces. U prvom su dijelu rada, prema dostupnim izvorima, istraživane metode, tehnike i alati koji se općenito primjenjuju kod problema projektiranja proizvodnih procesa s posebnim osvrtom na kritičku analizu mogućnosti primjene metode simulacijskog modeliranja. U nastavku ovog istraživanja, opisano je simulacijsko modeliranje kao osnova predložene metodologije projektiranja sa svojim osnovnim karakteristikama, razlozima primjene i sa posebnim osvrtom na brodograđevni proizvodni proces. Nadalje, u četvrtom poglavlju detaljno je opisana procedura provođenja predložene metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa u sedam uzastopnih faza. U petom poglavlju, prikazana je primjena predložene metodologije na konkretnom primjeru brodograđevnog proizvodnog procesa za projektiranje potpuno nove robotizirane linije za obradu profila. U šestom poglavlju provodi se konačna potvrda predložene metodologije usporedbom sa njezinim realiziranim postavom u stvarni proizvodni proces promatranog brodogradilišta. Na kraju, temeljem ovog istraživanja i zaključaka iz usporedbe sa stvarnim proizvodnim procesom, predlažu se smjernice daljnjeg istraživanja.

## **ABSTRACT**

In this dissertation a simulation modeling based methodology for shipbuilding production process design is suggested. It is expected from suggested methodology to give faster, better and more efficient tool for designers of complex production processes, with special focus on shipbuilding production processes design. Within the first part of dissertation, against available resources, various methods, techniques and tools used in production process design practice, are investigated with special focus on critical analysis of simulation modeling method appliance opportunities. In continuing, simulation modeling method, as basis of suggested methodology, is investigated and described regarding its special characteristics, advantages and reasons for application, especially in shipbuilding production process. Furthermore, in fourth chapter, suggested methodology for production process procedure is described in details. In fifth chapter, appliance of suggested methodology for designing a real robotized profile cutting process line within specific shipyard production process is demonstrated. In sixth chapter, selected design solution, acquired with suggested methodology, is finally tested and evaluated through comparison with installed robotized profile cutting line in specific shipyard production process. Finally, on grounds of this dissertation and conclusion droved from comparison with real installation in specific shipyard, directions for further research are suggested.

# PREDGOVOR

Modeliranje u širem smislu koristi se vrlo dugo, najstarijim modelima mogu se smatrati prve slike i skulpture koje su rađene iz vjerskih razloga i potreba. Prvi modeli su vjerojatno bili matematički modeli starih civilizacija za opisivanje kretanja mjeseca i planeta oko sunca. Temelji diskretnog simulacijskog modeliranja, kakvo se koristi u ovom radu, jesu u problematici statistike i vjerojatnosti, odnosno potrebe da se pri promjeni nekih vrijednosti promatraju učinci promjena na rezultat. Razvoj modernih računala omogućio je danas širu i efikasniju primjenu metode simulacijskog modeliranja, međutim, veću primjenu simulacijskog modeliranja za projektiranje brodograđevnih proizvodnih procesa tek se može očekivati, što je i osnovni motiv pokretanja ovog istraživanja. Naslov doktorske disertacije je „Simulacijsko modeliranje kao osnova metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa“. Disertaciju sam izradio pod mentorstvom red. prof. dr. sc. Nikše Fafandjela te u okviru znanstvenog projekta MZOŠ RH pod nazivom „Tehnološko unapređenje metodologije gradnje trupa broda“ voditelja red. prof. dr. sc. Nikše Fafandjela. Kao član projekta sudjelovao sam na brojnim znanstveno istraživačkim projektima za privredu na kojima sam, uz redovni znanstveni i stručni rad na doktorskom studiju stekao dodatna znanja i informacije bez kojih ne bi bilo moguće izraditi ovaj rad. Ovim putem želim se zahvaliti svima koji su pomogli u realizaciji ovog rada. Posebno se zahvaljujem svom mentoru red. prof. dr. sc. Nikši Fafandjelu jer je uvijek bio podrška i pomoć s brojnim vrijednim savjetima kako tijekom izrade rada tako i tijekom dokorskog studija te uopće mojeg rada na Fakultetu, kao mentor, ali i kao prijatelj. Zatim, posebnu zahvalu upućujem članovima povjerenstva prof. emeritusu Špiri Miloševiću i red. prof. dr. sc. Slavku Šimundiću. Također, veliko hvala kolegama iz brodogradilišta „3. Maj“ na kontinuiranoj suradnji koja mi je bila od velike pomoći u ostvarenju dragocjenog spoja primijenjene znanosti i prakse, a među kojima posebice mr. Vilimu Simoneu. Zahvaljujem se i kolegama s Katedre za tehnologiju i organizaciju brodogradnje Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci.

Na kraju, zahvaljujem se cijeloj svojoj obitelji, Sandri i prijateljima koji su mi uvijek bili velika podrška i pružali potreban predah od znanstvenog i stručnog rada.

Ovaj rad posvećujem mojim roditeljima, mami Jadranki i tati Branku.

*Autor*

# SADRŽAJ

<b>1.</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>DOSADAŠNJE ISTRAŽIVANJE U PROJEKTIRANJU PROIZVODNIH PROCESA.....</b>	<b>5</b>
	2.1 Proizvodni sustav.....	5
	2.2 Proizvodni proces.....	7
	2.2 Projektiranje proizvodnih procesa.....	7
	2.2.1 Osnovna načela projektiranja proizvodnih procesa.....	9
	2.2.2 Ciljevi i zadaci projektiranja proizvodnih procesa.....	9
	2.3 Modeliranje proizvodnih procesa.....	11
	2.3.1 Model proizvodnog procesa.....	12
	2.3.2 Metode modeliranja proizvodnih procesa.....	13
	2.4 Kriitička analiza pristupa projektiranju osnovnih značajki i čimbenika procesa za primjenu simulacijskog modeliranja.....	15
	2.4.1 Kapacitet.....	15
	2.4.2 Tok materijala.....	17
	2.4.3 Proizvodne površine.....	21
	2.4.4 Mjerenje proizvodnog procesa.....	22
	2.4.5 Balansiranje proizvodnog procesa.....	23
	2.2.6 Planiranje proizvodnje.....	26
	2.2.7 Zaključak provedene kritičke analize.....	27
<b>3.</b>	<b>SIMULACIJSKO MODELIRANJE ZA PROJEKTIRANJE BRODOGRAĐEVNOG PROIZVODNOG PROCESA.....</b>	<b>29</b>
	3.1 Cilj i svrha istraživanja.....	30
	3.2 Prijedlog metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa.....	32
	3.2.1 Analiza brodograđevnog proizvodnog procesa.....	32
	3.2.2 Prijedlog metode simulacijskog modeliranja kao osnove za projektiranje brodograđevnog procesa.....	39
	3.3 Simulacijsko modeliranje.....	40
	3.3.1 Diskretni simulacijski model.....	41
	3.3.2 Područja i razlozi primjene simulacijskog modeliranja u brodograđevnom proizvodnom procesu.....	42
	3.4 Simulacijski softveri.....	44
	3.4.1 Simulacijski programski jezici prve generacije.....	45
	3.4.2 Simulacijski programski jezici druge generacije.....	46
	3.4.3 Moderni simulacijski softveri.....	46
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIJA PROJEKTIRANJA BRODOGRAĐEVNOG PROIZVODNOG PROCESA TEMELJEM PREDLOŽENE METODE.....</b>	<b>49</b>
	4.1 Preduvjeti za projektiranje.....	49
	4.1.1 Osnovni preduvjeti.....	49
	4.1.2 Utvrđivanje opće strukture projektiranja procesa temeljem simulacijskog modeliranja.....	51
	4.2 Postupak predložene metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa.....	55
	4.2.1 Definiranje problema i ciljeva projekta proizvodnog procesa.....	56
	4.2.1.1 <i>Zadaci</i> .....	56
	4.2.1.2 <i>Prijedlog metoda i alata</i> .....	57
	4.2.2 Definiranje ulaznih podataka i idejno osmišljavanje simulacijskog modela proizvodnog procesa.....	61
	4.2.2.1 <i>Zadaci</i> .....	61
	4.2.2.2 <i>Prijedlog metoda i alata</i> .....	63
	4.2.3 Osnivanje računalnog simulacijskog modela brodograđevnog proizvodnog procesa.....	64
	4.2.3.1 <i>Zadaci</i> .....	65
	4.2.3.2 <i>Prijedlog metoda i alata</i> .....	66
	4.2.4 Verifikacija osnovanog simulacijskog modela.....	78
	4.2.4.1 <i>Zadaci</i> .....	78
	4.2.4.2 <i>Prijedlog metoda i alata</i> .....	79
	4.2.5 Analiza proizvodnih scenarija i unapređenje simulacijskog modela.....	81
	4.2.5.1 <i>Zadaci</i> .....	81

4.2.5.2	Prijedlog metoda i alata .....	82
4.2.5.3	Analiza proizvodnog scenarija osnovanog simulacijskog modela metodom simulacije .....	83
4.2.5.4	Primjena prilagođene metode analize osjetljivosti kao osnove za utvrđivanje kriterija odabira utjecajnih značajki i broja scenarija .....	84
4.2.5.5	Optimiziranje značajki linije provođenjem kompletnog plana scenarija metodom simulacije .....	85
4.2.6	Dokumentiranje provedbe i rezultata projekta .....	91
4.2.6.1	Zadaci .....	91
4.2.6.2	Prijedlog metoda i alata .....	92
4.2.7	Implementacija projektnog rješenja .....	93
4.2.7.1	Zadaci .....	93
4.2.7.2	Prijedlog metoda i alata .....	94
4.3	Pregled strukture, metoda i alata predložene metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa .....	95
4.3.1	Metoda simulacije kao osnovna metoda predložene metodologije .....	95
4.3.2	Prilagođena <i>brainstorming</i> metoda kao osnova za potrebe kritičke analize, definiranja problema i ciljeva projektiranja .....	97
4.3.3	Elementi <i>benchmarking</i> metode kao osnova definiranja značajki opreme i ciljeva projekta .....	100
4.3.4	Prilagođena metoda analize osjetljivosti kao osnova za utvrđivanje kriterija odabira utjecajnih značajki i scenarija .....	102
4.3.5	Regresijska analiza kao osnova za normalizaciju ulaznih podataka .....	105
4.3.6	Grafički i tablični prikaz strukture, metoda i alata predložene metodologije projektiranja .....	108
<b>5.</b>	<b>PRIMJENA SIMULACIJSKOG MODELIRANJA KOD PROJEKTIRANJA ROBOTSKE LINIJE ZA OBRADU PROFILA.....</b>	<b>111</b>
5.1	Definiranje problema i ciljeva projekta robotske linije .....	112
5.2	Definiranje ulaznih podataka i idejno osmišljavanje simulacijskog modela .....	114
5.2.1	Opis predložene robotizirane linije za obradu profila .....	115
5.2.2	Tehničke karakteristike linije .....	118
5.3	Osnivanje simulacijskog modela .....	119
5.3.1	Ulazni asortiman .....	120
5.3.2	Izrada modela .....	125
5.4	Verifikacija osnovanog simulacijskog modela .....	137
5.5	Analiza simulacijskog modela predložene konfiguracije linije .....	138
5.5.1	Provjera ukupnog vremena trajanja rezanja odabranog asortimana .....	139
5.6	Analiza proizvodnih scenarija i optimiziranje značajki predložene konfiguracije linije .....	140
5.6.1	Analiza toka materijala i uskih grla predložene linije .....	140
5.6.2	Analiza opterećenja predložene konfiguracije linije i identifikacija kritičnih pozicija ..	145
5.6.3	Optimiziranje značajki linije .....	147
5.6.4	Zaključak provedene analize i optimiranja predložene konfiguracije linije .....	155
<b>6.</b>	<b>POTVRDA OSNOVANOG SIMULACIJSKOG MODELA NAKON REALIZIRANOG PROJEKTA I PRIJEDLOG BUDUĆEG ISTRAŽIVANJA..</b>	<b>159</b>
6.1	Usporedba osnovanog simulacijskog modela sa stvarnim procesom .....	159
6.2	Prijedlog nastavka istraživanja .....	161
<b>7.</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>163</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>169</b>
	<b>POPIS OZNAKA .....</b>	<b>177</b>
	<b>POPIS KRATICA .....</b>	<b>178</b>
	<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>179</b>
	<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>181</b>
	<b>POPIS PRILOGA .....</b>	<b>183</b>
	<b>PRILOG 1 .....</b>	<b>185</b>
	<b>PRILOG 2 .....</b>	<b>191</b>
	<b>PRILOG 3 .....</b>	<b>197</b>
	<b>PRILOG 4 .....</b>	<b>229</b>
	<b>PRILOG 5 .....</b>	<b>231</b>

## 1. UVOD

Kako bi brodogradilišta bila konkurenta na današnjem brodograđevnom tržištu, ona kontinuirano moraju ulagati u svoj proizvodni proces s ciljem unapređenja proizvodnje radi povećanja produktivnosti i profita. Stoga brodogradilišta često poduzimaju značajne zahvate u svojim proizvodnim procesima, odnosno moraju se nositi sa zadatkom projektiranja i implementacije novih tehnologija u postojeći proizvodni proces, što je vrlo složeni projektni zahtjev. Projektiranje novoga proizvodnog procesa zadatak je koji se izvodi temeljem raznih pretpostavki uz poznata ograničenja. Rješenje je nužno rezultat složene međuovisnosti elemenata u postupku odlučivanja.

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 nužno i najbolje prilagođeno odabranom brodogradilištu. U tom smislu, sve se veća pažnja poklanja primjeni znanstvenih metoda u praćenju i otkrivanju mogućnosti poboljšanja procesa. Primjer tome su, prije svega, primjena operacijskih istraživanja, među kojima ponajviše primjena odgovarajućih matematičkih metoda. Međutim, većina stvarnih procesa vrlo je složena te ih je otežano opisati analitički. Za projektiranje takvih složenih procesa, a kakav je posebice brodograđevni, ovim će se istraživanjem predložiti primjena metode simulacijskog modeliranja. Pri tome, metodom simulacijskog modeliranja definira se proces osnivanja modela stvarnog proizvodnog procesa nad kojim se potom provode pokusi sa svrhom analize i razumijevanja rada proizvodnog procesa, procijene različitih scenarija i strategija (u okvirima definiranih ograničenja) rada promatranog proizvodnog sustava, projektiranju novoga ili optimiziranju postojećeg sustava te kao pomoć u svakodnevnom planiranju i odlučivanju.

Polazište predloženog istraživanja autor temelji na dosadašnjem znanstvenom i stručnom radu i usavršavanju, tijekom kojeg je izučavao metode simulacijskog modeliranja i alate operacijskih istraživanja kao i načela projektiranja, planiranja i vođenja proizvodnje. Pored usvajanja teorijskih osnova, pobliže se upoznao i s njihovom praktičnom primjenom u brodogradilištima "3. Maj" i "Kraljevica". Na temelju dobivenih spoznaja tijekom dosadašnjeg znanstvenog i stručnog rada autor utvrđuje da postoji potreba za primjenom znanstveno utemeljene simulacijske metode kao temelja za projektiranje brodograđevnog proizvodnog procesa za potporu u odlučivanju prilikom uvođenja novih tehnologija u svrhu projektiranja boljeg, uvjetima brodogradilišta podobnijeg proizvodnog procesa. Naime, suvremena brodogradilišta kontinuirano trebaju procjenjivati i valorizirati svoj

---



proizvodni proces kako bi stalno skraćivala vrijeme isporuke broda, podizala kvalitetu te smanjivala potrebu za ponavljajućim radovima. U tom kontekstu, autor smatra da metoda simulacijskog modeliranja može pružiti značajni doprinos u procesu poboljšanja konkurentnosti brodogradilišta. Pri tome, usporedba, analiza i vrednovanje ključni su razlozi za korištenje simulacijskog modeliranja, a identifikacija problema i njihovih uzroka su osnovni rezultati primjene.

Osnovni cilj ovog istraživanja je osnivanje i prijedlog metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa temeljenog na metodi simulacijskog modeliranja kao osnovnog alata, a uz primjenu i posebno odabranih alata operacijskih istraživanja. Primjena predložene metodologije omogućava ispitivanje mnogobrojnih varijanti *layouta*, parametara strojeva i uređaja, definiranje količine i veličine potrebnih skladišta, definiranje strategije proizvodnje, planiranje investicija, itd., a sve to u okvirima virtualnog modela na računalu, u ranijoj fazi projekta i bez uključivanja većih financijskih sredstava ili stvarne opreme za provođenje pokusa. Takav pristup u ranoj fazi projekta daje dragocjene podatke koji su velika pomoć menadžmentu prilikom odlučivanja, posebno u smislu uklapanja nove tehnologije u postojeći proizvodni proces vezano uz troškove i njen utjecaj na postojeći raspored radova, proizvodne tokove, angažiranu radnu snagu i sl.

U konačnici, primjena predložene metodologije rezultirati će projektom sa odabranim značajkama procesa, takvim da se postigne ciljano ukupno trajanje obrade materijala, te uz poštivanje ograničenja brodogradilišta i to ponajviše prostornih ograničenja i parametara opreme s kojom nova tehnologija dolazi u interakciju. Predložena metodologija primijenit će se za projektiranje robotske linije za obradu profila odnosno za vrednovanje inicijalno postavljenih teorijskih postavki projektnog prijedloga, a ukoliko takvo rješenje ne bude zadovoljavajuće provest će se njegovo optimiziranje odnosno unapređenje. Pri tome, za modeliranje i simuliranje proizvodnog procesa koristiti će se diskretno simulacijsko modeliranje temeljem objektno orijentiranog računalnog programskog jezika *SimTalk* u okviru softvera *eM-Plant*.

Istraživanje će biti prikazano kroz nekoliko poglavlja; u drugom poglavlju, nakon uvoda, opisati će se osnovni elementi proizvodnog sustava, proizvodnog procesa, principi projektiranja i modeliranja proizvodnih procesa kao i dosadašnja praksa i istraživanja vezana uz projektiranja procesa. Nadalje, istražiti će se i prezentirati mogućnosti i kvalitativni doprinosi primjene metode simulacijskog modeliranja u svrhu projektiranja procesa. Temeljem provedenog istraživanja u drugom poglavlju, prezentirati će se argumenti i razlozi izbora metode simulacijskog modeliranja za projektiranje procesa, a koje će u nastavku ovog istraživanja biti primijenjeno kao osnova metodologije

projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa.

Nadalje, u trećem poglavlju, naglasiti će se i dodatno elaborirati ciljevi i svrha ovog istraživanja te će se opisati simulacijsko modeliranje kao osnova predložene metodologije projektiranja proizvodnih procesa, opisati će se njezine osnovne karakteristike, razlozi primjene, prednosti, a s posebnim osvrtom na brodograđevni proizvodni proces.

U četvrtom poglavlju detaljno će se opisati postupak predložene metodologije projektiranja proizvodnih procesa.

U petom poglavlju, prikazati će se primjena predložene metodologije na konkretnom primjeru brodograđevnog proizvodnog procesa za projektiranje potpuno nove robotizirane linije za obradu profila.

U šestom poglavlju provesti će se konačna potvrda osnovanog simulacijskog modela, kao i predložene metodologije, usporedbom sa instaliranom projektiranom robotiziranom linijom za obradu profila u stvarni proces promatranog brodogradilišta.

U sedmom poglavlju dani su zaključci o izvedenom istraživanju, istaknut znanstveni doprinos, mogućnost primjene rezultata istraživanja te predložene mogućnosti daljnjih istraživanja.

U domeni znanstvenog doprinosa istraživanja, razvojem i razradom kompleksne metodologije projektiranja proizvodnih procesa, u ovom se radu želi pridonijeti razvoju i sustavnoj primjeni znanstveno utemeljenih metoda i alata s ciljem unapređenja brodograđevnog proizvodnog procesa. Temeljenjem osnovanog i operativnog simulacijskog modela, te njegovom primjenom za projektiranje stvarnog brodograđevnog proizvodnog procesa, očekuje se dati doprinos primjeni simulacijskih metoda i drugih alata operacijskih istraživanja, te istaknuti njihovu svrsishodnost i primjenjivost kako za projektiranje novih brodograđevnih procesa tako i za unapređenje postojećih proizvodnih procesa te nadzor i planiranje proizvodnje.



## 2. DOSADAŠNJE ISTRAŽIVANJE U PROJEKTIRANJU PROIZVODNIH PROCESA

### 2.1 Proizvodni sustav

Prije razmatranja problematike projektiranja proizvodnih procesa treba definirati proizvodni sustav kao širi pojam koji ima više značenja, [1]:

- predstavlja poredak, uvjetovan planskim, pravilnim raspoređivanjem dijelova u određenoj vezi,
- skup dijelova, povezanih općom funkcijom,
- oblik, način ustroja, organizacija nečega.

Pri tome, proizvodni sustav je skup više podsustava, koji u pravilu sadrže proizvodnu funkciju unutar poslovnog sustava (razvoj, upravljanje, nabava, proizvodnja, prodaja, osiguranje kakvoće), a međusobnim djelovanjem proizvode materijalna dobra za zadovoljavanje potreba tržišta. Osnovni pojmovi iz teorije sustava, koji predstavljaju temeljni koncept projektiranja proizvodnih sustava, prikazani su u tablici 1, [2].

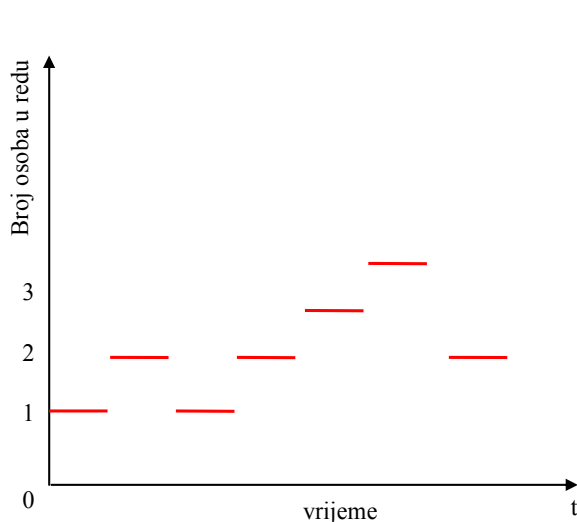
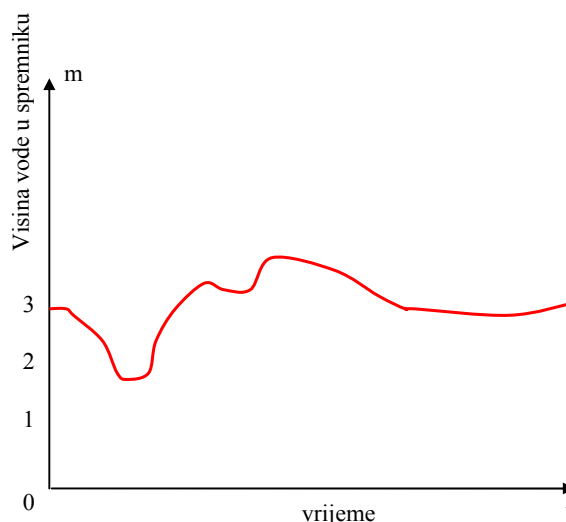
**Tablica 1.** Osnovni pojmovi iz teorije sustava

<b>Elementi</b>	Dijelovi sustava, aktivni ili pasivni, koji se ne mogu dalje raščlanjivati, a međusobno su povezani. Elementi mogu biti bilo kakve realne ili zamišljene stvari, zgrade, strojevi, brojevi i sl.
<b>Svojstva elemenata</b>	Izražavaju se pomoću kvalitativnih ili kvantitativnih parametara: npr. oblik, izmjere, masa, i sl.
<b>Veze između elemenata</b>	Omogućavaju interakciju elemenata i njihovih svojstava. One se mogu opisati kvantitativno ili kvalitativno.
<b>Stanje sustava</b>	Definirano je elementima, njihovim svojstvima i međusobnim vezama. Ono daje potpunu informaciju o trenutnom radu sustava i elementima okoline.
<b>Svrha sustava</b>	Podrazumijeva se korist koju bi jedan sustav trebao imati glede postavljenih ciljeva.

Nadalje, s obzirom na različite kriterije klasifikacije, postoje različite vrste sustava, kako je prikazano u tablici 2:

**Tablica 2.** Vrste sustava

<b>Statički sustavi</b>	Elementi, veze i sve svojstvene veličine sustava tijekom vremena su nepromjenjivi.
<b>Dinamički sustavi</b>	Kod dinamičkih sustava, određena veličina se mijenja u vremenu.
<b>Deterministički sustavi</b>	Deterministički sustav funkcionira u skladu s unaprijed poznatim i stabilnim pravilima, te se može sa sigurnošću predvidjeti njegovo ponašanje u budućnosti, ako je poznato postojeće stanje i obilježja transformacije.
<b>Stohastički sustavi</b>	Ne ponašaju se uvijek jednako u istim situacijama pa se ne može sa sigurnošću predvidjeti broj ni značajke situacija u kojima će se sustav naći (npr. proizvodni sustav na koji djeluje veliki broj slučajnih događaja).
<b>Diskretni sustavi</b>	To je sustav u kojem se stanje/vrijednost/status varijable mijenja samo u određenim trenucima u vremenu, a između tih trenutaka promjene stanja, varijabla zadržava istu vrijednost. Kada jedna ili više varijabli stanja promjeni svoju vrijednost, govori se o promjeni stanja, slika 1.
<b>Kontinuirani sustavi</b>	Sustav kojemu se stanje mijenja kontinuirano tijekom vremena. Primjeri takvih sustava su tok fluida, toplinski tijek, itd. Takav kontinuirani karakter sustava može se prikazati grafički na slici 2.

**Slika 1.** Diskretna karakteristika promjene stanja varijable**Slika 2.** Kontinuirana karakteristika promjene stanja varijable

Pri tome, kompleksnost svakog od spomenutih vrsta sustava ovisi o broju elemenata, broju njihovih uzajamnih veza i pravilima interakcije. S povećanim stupnjem kompleksnosti povećavaju se i zahtjevi za opisom sustava.

## 2.2 Proizvodni proces

Da bi mogao opravdati svoje postojanje, proizvodni sustav mora izvršavati određenu funkciju. Funkcija sustava je proizvodni proces. Cilj proizvodnog procesa je proizvodnja potrebnog proizvoda iz sirovina i poluproizvoda uz najmanje moguće troškove, [3]. Svaki se proizvodni proces može načelno podijeliti kako je prikazano u tablici 3, [4]:

**Tablica 3.** Načelna podjela proizvodnog procesa

<b>Predprojektiranje</b>	Obuhvaća definiranje, razradu i prihvaćanje ideja.
<b>Faza pripreme proizvodnje</b>	Obuhvaća definiranje koncepta, projektiranje proizvoda i proizvodnih postupaka te njihovo usvajanje.
<b>Proces proizvodnje i aktivnosti nakon proizvodnje</b>	Obuhvaća proces proizvodnje, isporuke i praćenja proizvoda u eksploataciji.

Među navedenima, faza pripreme proizvodnje od posebnog je interesa u ovom radu. Faza pripreme proizvodnje ima funkciju pripreme procesa proizvodnje u smislu određivanja optimalnog proizvodnog programa, tehnologijskih postupaka i radnih operacija. Tehnološka priprema proizvodnje obuhvaća poslove definiranja značajki tehnoloških procesa u okviru proizvodnje, [5].

Pri tome, proizvodnja složenog proizvoda kakav je i brod, podrazumijeva i složen proizvodni proces koji uključuje niz parcijalnih proizvodnih procesa temeljenih na odgovarajućim tehnološkim procesima, a takav je i brodograđevni proces koji je predmet istraživanja u ovom radu.

## 2.2 Projektiranje proizvodnih procesa

U kontekstu projektiranja, fundamenti svakog proizvodnog procesa mogu se sažeti u danas već poznatih 5M-ova i 2S-a proizvodnje, a to su, [6]:

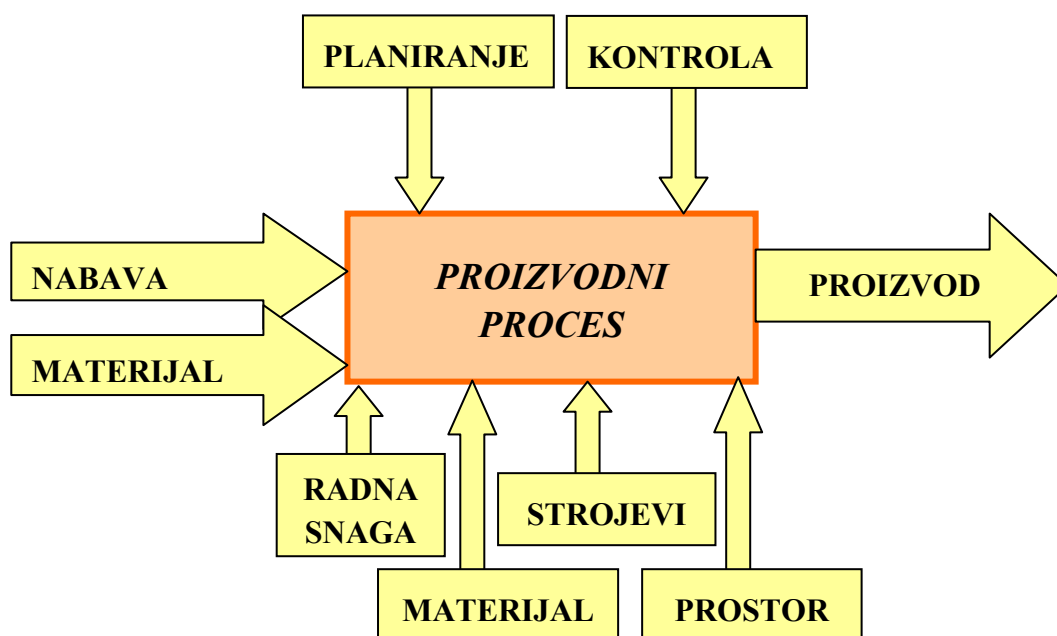
**5M:**

- Manpower (ljudski resursi/radna snaga)
- Methods (metode)
- Machines (strojevi)
- Material (materijal)
- Money (novac)

**2S:**

- Space (prostor)
- System (sustav)

Temeljem ove raščlambe proizvodni proces se može bolje razumjeti, a time i razumljivo opisati i objasniti. Na slici 3. prikazan je pojednostavljeni, shematski prikaz proizvodnog procesa.



**Slika 3.** Shematski prikaz proizvodnog procesa, [6]

Pri tome, projektiranje proizvodnih procesa provodi se od općeg prema pojedinačnom, od generalnog rješenja čitavog sustava prema rješavanju pojedinih detalja, od idealiziranog rješenja prema stvarnom. Ovakav pristup omogućuje izbjegavanje pogrešaka u koncepcijama, odnosno sprječava mogućnost da se pogreške uoče na kraju projektiranja, kada je već utrošeno mnogo vremena i sredstava.

### 2.2.1 Osnovna načela projektiranja proizvodnih procesa

Zbog sve veće složenosti proizvodnih procesa pa time i zahtjeva koji se postavljaju pred projektante procesa, a na temelju teorijskih analiza, iskustava na provođenju brojnih praktičnih projektiranja proizvodnih sustava, te primjene suvremene znanstvene metodologije, razvijena su sljedeća načela projektiranja proizvodnog procesa, [7]:

- **Analiza tehnološkog procesa;** Radi postizanja što boljeg projektnog rješenja potrebno je čim ranije i detaljnije projektirati tehnološki proces kako bi se mogla analizirati i testirati njegova funkcionalnost.
- **Cjelokupnost projektiranja;** Rješenja pojedinačnih zadataka ne smiju se promatrati izolirano, već se uvijek problem mora sagledati cjelovito.
- **Načelo varijanti;** Za rješenje nekog problema pri projektiranju proizvodnih procesa treba se razviti više projektnih rješenja te izabrati ono najpovoljnije.
- **Načelo iterativnosti;** Projektiranje proizvodnih procesa odvija se iterativno, korak po korak, od općeg prema detaljnom projektiranju.
- **Načelo paralelnog izvođenja zadataka;** Paralelni inženjering predstavlja koncept organizacijskog povezivanja eksperata iz raznih područja, s ciljem skraćivanja vremena projektiranja. [8].
- **Organizacijska načela;** Jedan od mogućih načina skraćivanja vremena trajanja projektiranja je i unapređenje organizacije.
- **Načelo prilagodljivosti;** Prilagodljivost projekta znači određenu mogućnost prilagodbe projektnih rješenja s obzirom na izmjenu proizvodnih uvjeta ili uvjeta potražnje na tržištu.
- **Nužnost razvoja idealnog rješenja;** Trebalo bi razviti i tzv. idealno rješenje. Na temelju tako razvijenog rješenja određuje se realno rješenje.

### 2.2.2 Ciljevi i zadaci projektiranja proizvodnih procesa

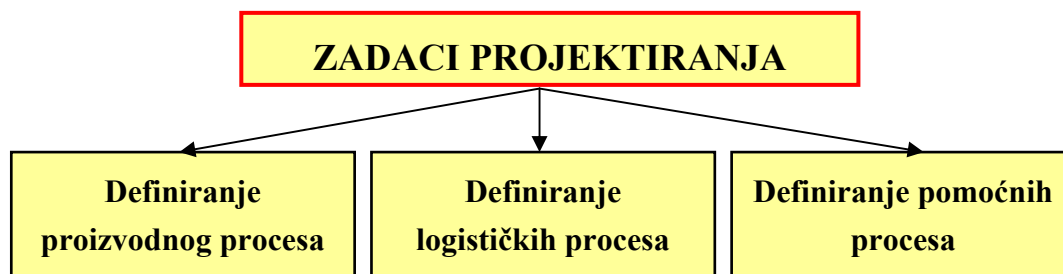
U postupku projektiranja, mogu se razlikovati tri osnovna cilja projektiranja proizvodnog procesa kako je prikazano u tablici 4, [9]:



**Tablica 4.** Osnovni ciljevi projektiranja proizvodnog procesa

<b>1. Ekonomičnost</b>
Proizvodni proces mora biti ekonomičan, a što se postiže s minimalnim ciklusom proizvodnje i zalihama, s isporukama u točnim terminima, s kvalitetnim proizvodima, sa izbjegavanjem aktivnosti koje ne povećavaju vrijednost proizvoda te s optimalnim korištenjem opreme, prostora i osoblja.
<b>2. Prilagodljivost</b>
Proizvodni proces mora biti prilagodljiv/fleksibilan. Oprema, tokovi i prostorne strukture trebaju imati sposobnost prilagodbe na promjene na tržištu, odnosno preustroja na nove postupke, opremu i organizaciju.
<b>3. Atraktivnost</b>
Atraktivnost se postiže motivacijom, humanim uvjetima rada, ispunjavanjem ekoloških kriterija u cilju osiguranja minimalnog zagađenja okoline, itd.

Nadalje, osnovni zadaci projektiranja proizvodnih procesa mogu se pojednostavljeno prikazati dijagramom na slici 4:

**Slika 4.** Zadaci projektiranja proizvodnog procesa

U procesu projektiranja i/ili vođenja određenog proizvodnog procesa od menadžmenta se kontinuirano zahtjeva donošenje niza odluka. Pri tome, u praksi projektiranje često podrazumijeva postupke traženja rješenja koje će zadovoljavati postavljene ciljeve i ograničenja, a koja ne moraju nužno biti i optimalna, [10]. Neke od najstarijih i tradicionalnih inženjerskih metoda za projektiranje, planiranje i analiziranje procesa temeljile su se pretežno na metodi usporedbe sa sličnim procesom, koji se tada kopirao uz manje prilagodbe na novi projektirani proizvodni proces, [11], [12], [13], [14]. Nadalje, takav proces projektiranja proizvodnog sustava često je trajao predugo i temeljio

se na znanju ekspertnog tima koji je zadužen za taj konkretan zadatak. Stoga, uspješnost tradicionalnog pristupa uvelike ovisi o iskustvu planera/projektanta. Takav pristup u osnovi nije loš, ali je nerijetko spor te kao takav u obzir uzima jedan manji broj mogućih scenarija u odnosu na moderne računalno podržane pristupe, [15] kakvi će biti istraživani u ovom radu.

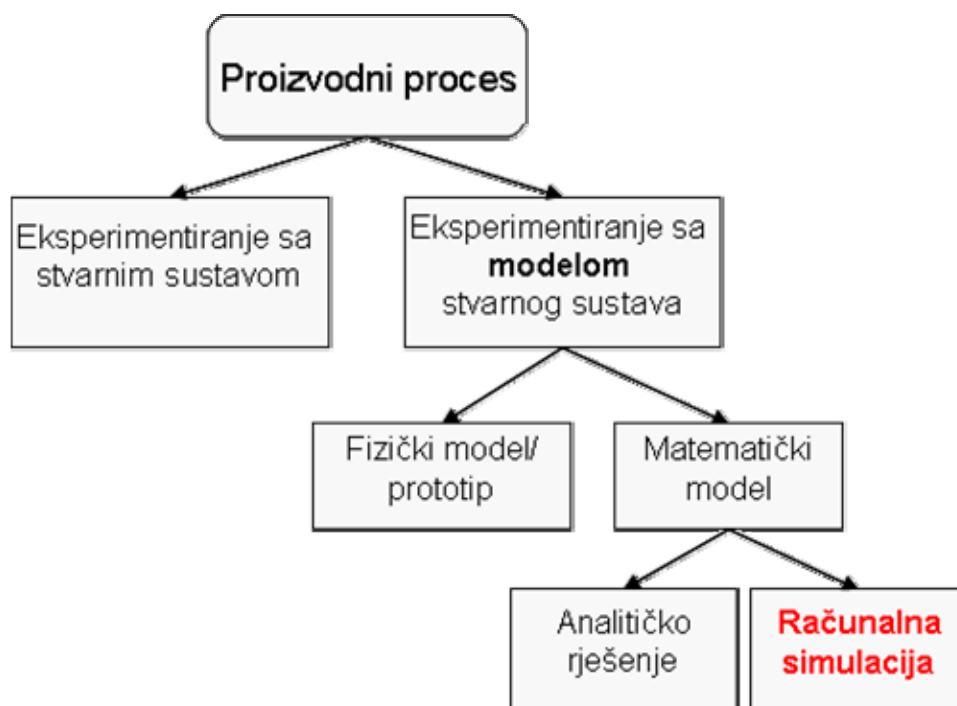
Naime, razvojem računala, i pojačane računarske moći, softvera i modernih programskih jezika, počele su se razvijati i metode projektiranja procesa temeljem računalno podržanog matematičkog modeliranja, [6]. Nadalje, poseban je pomak u projektiranju procesa postignut razvojem primjene numeričkog, računalno podržanog simulacijskog modeliranja temeljenog na naprednim simulacijskim jezicima, [16]. Tako danas sve veću primjenu u svrhu projektiranja proizvodnih procesa ima simulacijsko modeliranje temeljeno na objektno orijentiranim simulacijskim jezicima, što im pored velikih mogućnosti već ugrađenih funkcija omogućava i praktički neograničenu fleksibilnost i primjenljivost koja praktički samo ovisi o poznavanju programskog jezika tog softvera. U nastavku slijedi kratak pregled dosadašnje prakse modeliranja proizvodnih procesa u svrhu njegova projektiranja.

### **2.3 Modeliranje proizvodnih procesa**

Modeliranje i projektiranje realnih procesa i problema proizvodnje može se uopćeno promatrati kao zadatak optimalnog upravljanja, [17]. Pri tome, za projektiranje i unapređenje proizvodnih sustava odnosno procesa, potrebno je imati alat koji će pružiti mogućnost predviđanja performansi i ponašanja sustava, kao i mogućnost ocjenjivanja efekta promjene pojedinih ključnih projektnih varijabli na sustav, odnosno alat koji će menadžerima pružiti pomoć pri donošenju odluka.

Tradicionalno, kako je prethodno bilo spomenuto, projektanti procesa se u suštini oslanjaju na metodu ekstrapolacije povijesnih podataka na novi proces ili se koriste iskustvom i usporedbom s drugim sličnim sustavima, ili pak provodeći dugotrajna i skupa mjerenja s modelom odnosno prototipom. Međutim, moderni su sustavi sve složeniji i skuplji, a rizici odnosno troškovi vezani uz donošenje loših odluka sve veći. To je potaklo projektante procesa da pronađu bolje i pouzdanije načine projektiranja procesa odnosno podrške pri donošenju odluka koji će u sebi sadržavati manje rizika vezanih uz karakteristike konačnog, implementiranog procesa. Tako su se počeli primjenjivati modeli proizvodnih procesa na kojima su se mogli ispitati razni tipovi opreme, njihove

karakteristike, razni proizvodni scenariji i sl., a s svrhom projektiranja što boljeg proizvodnog procesa u što ranijoj fazi prije konačne investicije u stvarni sustav, [18]. Shematski prikaz osnovnih načina analize i eksperimentiranja s proizvodnim procesom prikazani su na slici 5:



**Slika 5.** Osnovni načini modeliranja i analize proizvodnog procesa

### 2.3.1 Model proizvodnog procesa

Eksperimentiranje s stvarnim procesom je u pravilu neprihvatljivo i preskupo, stoga postoje različite vrste modela odnosno načina modeliranja proizvodnog procesa, a o kojima će biti riječi u ovom poglavlju, s posebnim naglaskom na metodu simulacijskog modeliranja koja je predmet istraživanja ovog rada. Pri tome, kakav god bio, model proizvodnog procesa je u osnovi apstraktna i pojednostavljena slika stvarnog sustava sa svrhom da se nad njime provode eksperimenti. Pri tome, u općenitom smislu, svrha izrade modela je:

- Definiranje, prikaz i analiza novih ideja;
- Analiza i poboljšanje razumijevanja nekog promatranog sustava;
- Optimiziranje strukture sustava ili njegovih parametara;
- Razvoj više varijanti sustava, te na temelju izabranih kriterija odabir, optimalne varijante.

Načelno, vrste modela proizvodnih procesa mogu se prikazati kao u tablici 5, [2]:

**Tablica 5.** Vrste modela proizvodnih procesa

<b>Fizikalni modeli</b>	Najčešće trodimenzionalni prikaz sustava, npr. model tunela za ispitivanje zrakoplova.
<b>Analogni modeli</b>	Primjerice prikaz sustava mase i opruge s pomoću električnog sklopnog kruga.
<b>Grafičko-vizualni modeli</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Preslikavanje u mjerilu, npr. zemljovidne karte,</li> <li>▪ Perspektivni prikaz nekog predmeta,</li> <li>▪ Apstraktni prikaz, npr. mreža podzemne željeznice,</li> <li>▪ Periodički sustav kemijskih elemenata, itd.</li> </ul>
<b>Verbalni opisi sustava</b>	Prikazi sustava s pomoću riječi.
<b>Matematički modeli</b>	Opis sustava matematičkim alatima odnosno matematičkim jednadžbama, a rješavaju se analitički i/ili numerički.
<b>Računalni simulacijski modeli</b>	računalno podržan skup matematičkih i logičkih metoda i njihovih relacija koje se analiziraju numeričkim metodama, odnosno – <i>simuliraju</i> se.

### 2.3.2 Metode modeliranja proizvodnih procesa

Primjena prvih elementarnih modela i modeliranja stvarnog procesa počela je daleke 1943., [19]. Nadalje, 50tih godina osnovano je nekoliko naprednijih matematičkih modela u svrhu pristupanja rješavanju problematike proizvodnih procesa, [20], [21], [22] i [23]. Pri tome, klasični matematički modeli koji se rješavaju analitički služe se matematičkim izrazima za opisivanje karakteristika promatranog proizvodnog procesa, [24]. Dakle, da bi se analitička metoda mogla primijeniti, model mora imati matematički definiran oblik, kao što je sistem linearnih algebarskih jednadžbi ili sistem linearnih diferencijalnih jednadžbi. Matematičke metode s analitičkim rješenjima se u praksi koriste za rješavanje različitih problema u proizvodnim procesima, primjerice za optimiziranje kapaciteta, određivanje zaliha, za analiza troškova, za planiranje proizvodnje, za predviđanje, i sl., [25], [26], [17].

Pri tome neke od korištenijih matematičkih metoda su sljedeće:

- Linearno programiranje (Simpleks metoda, dualna simpleks metoda, cjelobrojno programiranje, metoda relaksacije, multipleks metoda, itd.), [27], [28], [26];
- Nelinearno programiranje (kvadratno i opće kvadratno programiranje, razlomljeno programiranje, linearno traženje, Lagrange metoda itd.), [29], [30], [26];
- Metode za analizu strukture (teorija grafova, mrežni dijagrami), [25];
- Metode planiranja (*Q-Gert*, mrežno planiranje), [31];

- Metode za analizu vremena (određivanje kritične aktivnosti i puta, *CPM* metoda, analiza vremena mrežnim dijagramom, *PERT* metoda, itd.), [25], [32];
- Metode analize troškova (*PERT/COST* metoda, *Kelley* metoda, itd.), [25], [32];
- Metode predviđanja (Regresijska analiza, Metoda trenda, itd.), [33];
- Stohastičko programiranje (E model,  $\sigma^2$  test, Markovljevi lanci, *Monte Carlo* metoda, itd.), [32], [26], itd.

Međutim, određeni faktori ograničavaju primjenu tradicionalnih matematičkih metoda, primjerice stvarni sustav i odnosi unutar njega često nisu dovoljno poznati da bi mogli biti matematički definirani pa je nužno uvesti niz aproksimacija. Nadalje, spominjani praktični problemi su redovito vrlo složeni i kompleksni što njihovo opisivanje tradicionalnim analitičkim matematičkim metodama čini vrlo složenim i teško primjenljivim bez upotrebe značajnih pojednostavljenja i aproksimacija što pak, na određenoj razini složenosti, dovodi u pitanje primjenjivost takvog pristupa. Također, matematički modeli imaju poteškoća u području opisivanja dinamike sustava, iako postoje određene metode kojima se to pokušava napraviti, poput dijagrama toka i/ili blok dijagrama, [33], ali su one ipak nerijetko nedostatne za potrebe analize složenih sustava.

Stoga, dolazi do razvoja numeričkih računalnih simulacija koje mogu opisati dinamiku sustava u ovisnosti o vremenu. Računalna simulacija je specifična vrsta matematičkog modela gdje se računalnim modelom oponaša stvarni sustav i njegova dinamika. Na računalnim simulacijama procesi se odvijaju u stvarnom vremenu na modelu u računalu, kod ostalih je metoda vrijeme, ako uopće, predstavljeno varijablom. Vrijeme u računalnoj simulaciji nije varijabla, već se događaji jednostavno odvijaju u vremenu.

Nadalje, svaki doneseni zaključak, pretpostavka ili ideja provjerljiva je eksperimentom na računalnom modelu stvarnog sustava u relativno kratko vrijeme. Danas se može reći da je pristup projektiranja procesa temeljem računalnog simulacijskog modeliranja preuzeo primat, posebice zadnjih desetak godina, razvojem modernih simulacijskih, objektno orijentiranih, (temeljenih na izvornim simulacijskim jezicima koji su se razvijali prema objektno orijentiranim programskim jezicima) softvera, [34]. Pri tome, metoda simulacijskog modeliranja u širem smislu pripada području primijenjene matematike odnosno operacijskih istraživanja, [32]. Operacijska istraživanja se bave matematičkim modeliranjem realnih procesa u svrhu donošenja optimalnih odluka u okviru zadanih ograničenja, [35]. Pri tome, simulacijsko modeliranje je jedna od metoda operacijskih istraživanja, te osnova predložene metodologije ovog istraživanja.

## 2.4 Kritička analiza pristupa projektiranju osnovnih značajki i čimbenika procesa za primjenu simulacijskog modeliranja

Menadžment tvrtke svakodnevno je izložen velikim izazovima i pitanjima na koje hitno treba dati odgovor, odgovor na pitanja poput „Što ako...?“, „Što sada...?“ i sl. Dakle, što menadžment tvrtke može učiniti za unapređenje proizvodnje, gdje uložiti ili u koji dio proizvodnog procesa se najviše isplati uložiti? Naime, neke od značajki i čimbenika proizvodnog procesa su posebno značajni u postupku projektiranja, a to su oni u kojima postoji veliki potencijal uštede, primjerice:

- kapacitet,
- tok materijala,
- prostor,
- planiranje proizvodnog procesa,
- balansiranje proizvodnog procesa.

Kako bi menadžment bio u stanju pravovremeno i kvalitetno odgovoriti na pitanja koja svakodnevno proizlaze iz proizvodnje, on mora imati brzi pristup relevantnim podacima, mora imati metodu za procjenu što više različitih odluka u što kraćem vremenu te analizu učinaka donesenih odluka prije primijene na stvarni sustav. Danas je malo što bolje za tu svrhu od računalno podržane proizvodnje s organiziranim bazama podataka u kojima se nalaze relevantni podaci vezani za proizvodnju, a koje su u sprezi sa računalnim alatima koji se oslanjaju na te podatke. Za što bolju efikasnost sustava on mora biti integriran s proizvodnjom kako bi tijekom informacija u oba smjera bio brz i aktualan, jer u praksi odgovor na problem koji se dogodio sada, trebao se dogoditi „jučer“.

Nadalje, rezultati mnogih istraživanja iz tog područja su pokazali da između ulaganja u radnu snagu, kapitalne investicije i novu tehnologiju, puno potencijala (oko 60%) leži u ulaganju u nove tehnologije i organizaciju, [6]. Također, interesantno je naglasiti da je razina ulaganja u takve nove, *soft* tehnologije, redovito znatno niža nego prosječna kapitalna investicija, a pogotovo kada se stavi u odnos s mogućim doprinosom tih ulaganja.

### 2.4.1 Kapacitet

Kapacitet predstavlja vremenski izraženu količinu rada koju sredstvo za

proizvodnju može dati u određenom vremenskom razdoblju, [36]. Planiranje, izračunavanje i unapređenje kapaciteta su pitanja od velikog značaja u postupku projektiranja procesa. Primjeri istraživanja problema kapaciteta mogu se naći u svim proizvodnim granama, pa tako ih nalazimo u svim tradicionalnim proizvodnim industrijskim granama poput auto industrije, avionske industrije, brodogradnje, ali i u poslu telekomunikacija, zdravstvu, financijama i sl. Od pedesetih godina do danas razvijene su mnoge kvantitativne studije za istraživanje pitanja kapaciteta koje su rezultirale i razvojem različitih metoda, modela i računalnih algoritama za planiranje, definiranje i unapređenje kapaciteta [37], [38]. U skladu s uvjetima iskorištenja, a kako je prikazano u tablici 6, razlikuju se sljedeće vrste kapaciteta:

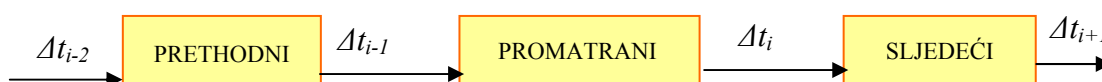
**Tablica 6.** Vrste kapaciteta

<b>teorijski kapacitet</b>	predstavlja vremenski izraženu maksimalnu količinu rada koju sredstvo za rad može dati u promatranom vremenskom razdoblju, bez obzira na prekide u radu.
<b>raspoloživi kapacitet</b>	predstavlja u stvarnosti moguće iskorištenje teorijskog kapaciteta. On je jednak teorijskom kapacitetu umanjenom za vremenske gubitke održavanja i popravaka.
<b>efektivni kapacitet</b>	predstavlja vremenski izraženu efektivnu količinu rada koju u zadanim uvjetima korištenja i pri zadanom režimu rada daju sredstva za rad.

Nadalje, pred projektante se često postavlja zahtjev definiranja i planiranja kapaciteta, i to najčešće sa svrhom njegova povećanja. Jedan od prvih i opsežnijih radova vezanih za pitanje povećanja kapaciteta obradio je Manne, [39]. Njegov je rad poslužio kao odličan temelj za sve buduće istraživače u tom području, pa je tako Freidenfelds dao pregled različitih slučajeva problema povećanja kapaciteta te primjera i metoda, [40]. Nadalje, Luss je dao pregled i izbor različitih metoda, tehnika i alata operacijskih istraživanja koje se mogu primijeniti za rješavanje problema kapaciteta, [37]. U postupku planiranja kapaciteta radi se o zadatku usklađivanja plana proizvodnje i kapaciteta, što podrazumijeva da se za određeno plansko razdoblje treba definirati plan proizvodnje, a potom se za količine navedene u planu treba izračunati potrebni kapacitet. U radovima se može pronaći nekoliko primjera rješavanja problematike planiranja dinamike kapaciteta pristupa primjenom linearnog programiranja i *Monte Carlo* metode za opisivanje stohastike potražnje, [17]. Nadalje, u određenim istraživanjima, za potrebe određivanja

kapaciteta linije, uvodi se pojam propusnosti linije, [41], [42]. Pri tome propusnost autori definiraju kao skupnu tehničko proizvodnu jedinicu mjere koja pokazuje vremensku zauzetost odabranoga proizvodnog procesa s mjernom jediničnom količinom obrade. Propusnost tehnološke linije temelji se na dinamičkoj ravnoteži sljedećih i prethodnih faza procesa obrade u odnosu na promatrani proces, slika 6. Ona je, prema (1), određena međuvremenom čekanja izvršenja sljedećeg procesa  $\Delta t_i$ , definiranog kao razlika vremena sljedećeg i promatranog procesa obrade. Ako je međuvrijeme čekanja sljedećeg procesa  $\Delta t_i$  jednako nuli, proizvodna linija je taktno usklađena.

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i \quad (1)$$



**Slika 6.** Shema serijskoga proizvodnog procesa, [43]

Pri tome, većina navedenih istraživanja temelji se na tradicionalnim matematičkim metodama kvantitativnog i analitičkog tipa za pristup rješavanju problema kapaciteta. Međutim, s porastom složenosti promatranog sustava, a kako su stvarni sustavi u pravilu vrlo složeni, takvi modeli ubrzo postaju nedovoljno pregledni i teže razumljivi, što znači i da se temeljem njih otežano donose adekvatne odluke. Stoga se u praksi nailazi na sljedeći problem, a to je pojednostavljivanje takvih modela. Takva pojednostavljenja često mogu biti vrlo složena i opsežna, a mogu dovesti i do prevelike netočnosti rezultata. Nadalje, koristeći se matematičkim modeliranjem projektant ima poteškoća u opisivanju dinamike procesa. Takvi nedostaci mogu se značajno umanjiti primjenom računalno podržanog simulacijskog modeliranja, pa tako u radu [44] postoji opis primjene simulacijskog modeliranja za planiranje kapaciteta proizvodne linije kao alata potpore u procesu odlučivanja, a u radu [45] simulacija se primjenjuje za definiranje kapaciteta skladišta i proizvodnih količina.

#### 2.4.2 Tok materijala

Tok materijala obuhvaća sve aktivnosti vezane uz materijal u proizvodnom procesu i to, [46]:

- obradu,
- rukovanje materijalom,



- transport,
- kontrolu,
- čekanje i skladištenje.

Upravljanje tokom materijala jedna je od važnijih zadaća menadžmenta u svakom proizvodnom procesu i ona uključuje upravljanje ulaznim materijalom (sirovinom), prerađenim materijalom i gotovim proizvodom u skladištenju ili isporuci. Osnovni cilj upravljanja materijalom jest dovesti odgovarajući materijal, odgovarajuće kvalitete, na odgovarajuće mjesto, u odgovarajućoj količini, u pravo vrijeme uz odgovarajuće troškove.

Pri tome, značajna obilježja toka materijala su, [47]:

- vrsta i količina materijala,
- smjer kretanja,
- brzina kretanja,
- duljina transportnih putova i
- učestalost kretanja.

Potreba upravljanja i optimiziranja tokova materijala javlja se kako kod projektiranja novih, tako i u postupku racionalizacije postojećih proizvodnih sustava i procesa (promjena u kapacitetu proizvodnje, promjena u rasporedu sredstava za proizvodnju, uvođenja novih sredstava za proizvodnju, itd.). Određene analize pokazuju da se kod novih investicija u postojeći proizvodni sustav veći učinci postižu optimiziranjem toka materijala, nego ulaganjem u ostale elemente proizvodnog sustava, jer tok materijala često posjeduje veći potencijal za racionalizaciju, [48]. Nadalje, većina autora definira proces upravljanja materijalom u kontekstu kontinuirane proizvodnje, što uvelike olakšava problem upravljanja materijalom, [49]. Međutim, mnogi proizvodni procesi, pa tako i brodogradnja, nisu kontinuiranog karaktera već su diskretnog karaktera što znači da se promjene stanja sustava događaju u određenim trenucima u vremenu, a to pak uvelike otežava proces upravljanja tokom materijala. Pitanja na koja treba naći odgovor, a vezana uz tok materijala, su primjerice sljedeća:

- Koji je najkraći pravac ili kombinacija više njih za transport materijala, a da strojevi i skladišta budu odgovarajuće posluženi?
- Što se može učiniti da se put skрати, a protok materijala unaprijedi?
- Kako učinjene promjene toka materijala utječu na ostatak procesa?
- Zašto je nestalo zaliha i kako to utječe na ostatak procesa?

- Da li i kako se može postići povećanje kapaciteta skladišta?
- Kako povećanje kapaciteta skladišta utječe na ostale dijelove procesa?

Za odgovore na ova pitanja koriste se razne tradicionalne metode uglavnom temeljene na iskustvu ili usporedbi s sličnim proizvodnim procesima, [6] ili se pak tok materijala analizira i prikazuje na neki od sljedećih načina, [2]:

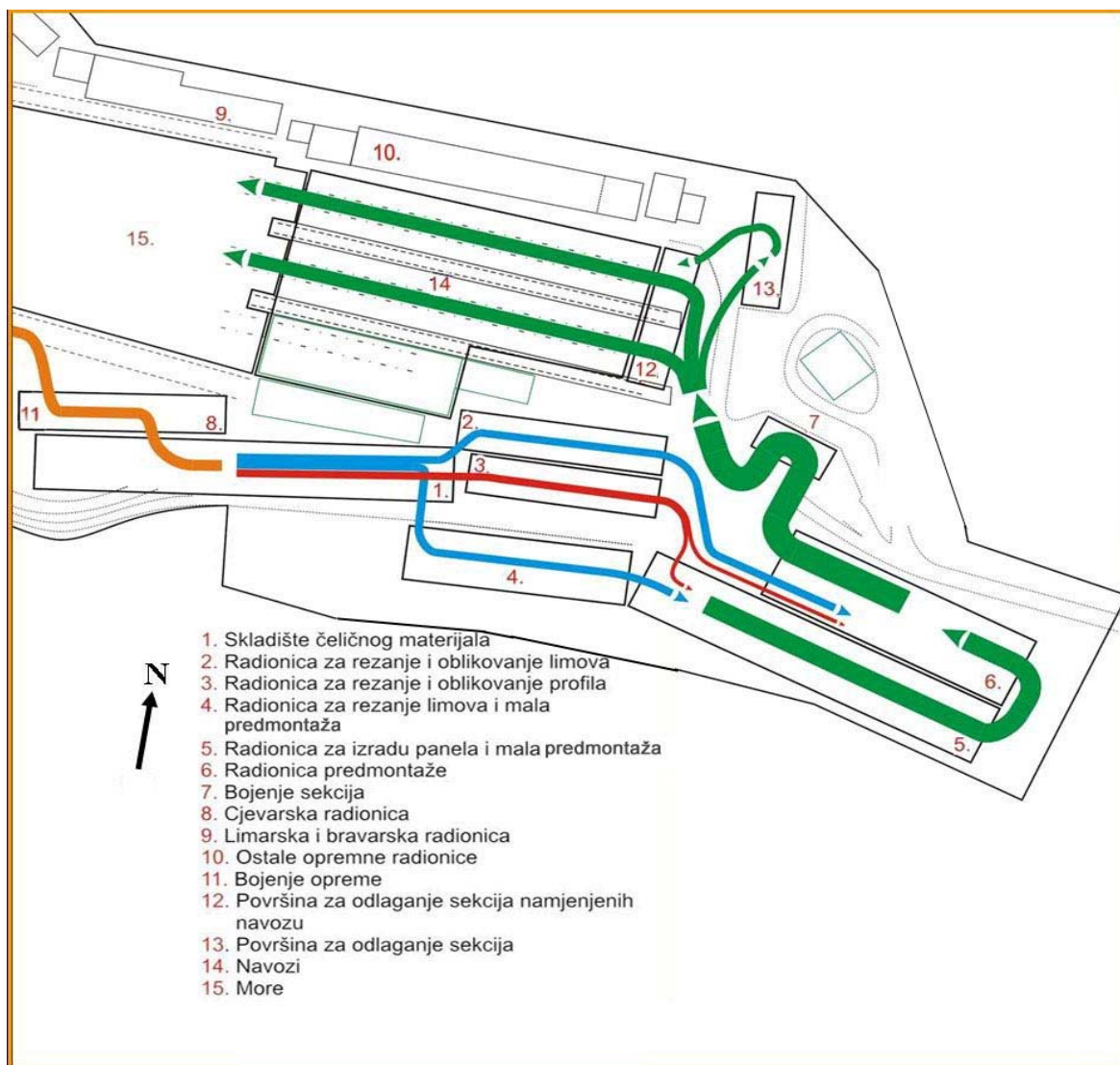
- pomoću matrice transportnih intenziteta, slika 7, gdje brojevi u redovima i stupcima predstavljaju odredišta ili polazišta transporta, a brojevi u poljima intenzitet.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		40						15		5
2			5		5				10	
3										10
4		110			35			5		
5	30		20							15
6	110	15			10					
7			40	20	10				20	25
8		30				20	10			5
9			5				10			
10			30		20		5	10		

Slika 7. Primjer matrice transportnih intenziteta

- grafički, *Sankey* dijagram, slika 8., gdje svaka strelica svojom bojom označava tok određenog materijala, a debljina strelice označava intenzitet tog toka materijala.

Nadalje, tu su i tradicionalne metode matematičkog modeliranja poput linearnog i nelinearnog programiranja, metode najkraćeg puta, *MFA* metoda (eng. Material Flow Analysis), a koje se koriste za pronalaženje najkraćeg puta, maksimizacije ili minimizacije određenih parametara toka materijala ili pak za rješavanje problematike transporta i distribucije gotovih proizvoda, [50], [51], [27]. Međutim, tradicionalne metode postaju vrlo nepraktične u slučaju opisivanja složenih sustava i njihove dinamike. Stoga, u novije vrijeme pak, najrašireniju primjenu nalazi računalno podržano simulacijsko modeliranje u kombinaciji s odgovarajućim matematičkim metodama za rješavanje specifičnih zadataka i problema unutar procesa modeliranja.



**Slika 8.** Tokovi materijala u brodograđevnom procesu prikazani *Sankey* dijagramom, [52]

Simulacijsko modeliranje tako danas postaje neizbježan alat koji objedinjuje i matematičke metode operacijskih istraživanja i simulacijsko modeliranje kao takvo. Pri tome, u literaturi se pronalaze primjeri upotrebe simulacijskog modeliranja za potrebe analize i projektiranja toka materijala, [53], kao i opći prikazi pristupa projektiranju upravljanja materijalom u visoko automatiziranoj serijskoj proizvodnji kompjuterskih čipova temeljenih na simulacijskom modeliranju, [54]. Nadalje, na primjeru slične, veliko serijske proizvodnje čipova, temeljem simulacijskog modeliranja provodi se usporedba alternativa tokova materijala, [55].

Simulacija se u nekim radovima posebno ističe kao najefikasniji alat za projektiranje toka materijala kao i alat za planiranje i kontrolu procesa, [56]. Nadalje, u novijoj literaturi se pronalaze prikazi primjene suvremenih simulacijskih softvera za projektiranje, optimiziranje i unapređenje toka materijala [57] i [58].

### 2.4.3 Proizvodne površine

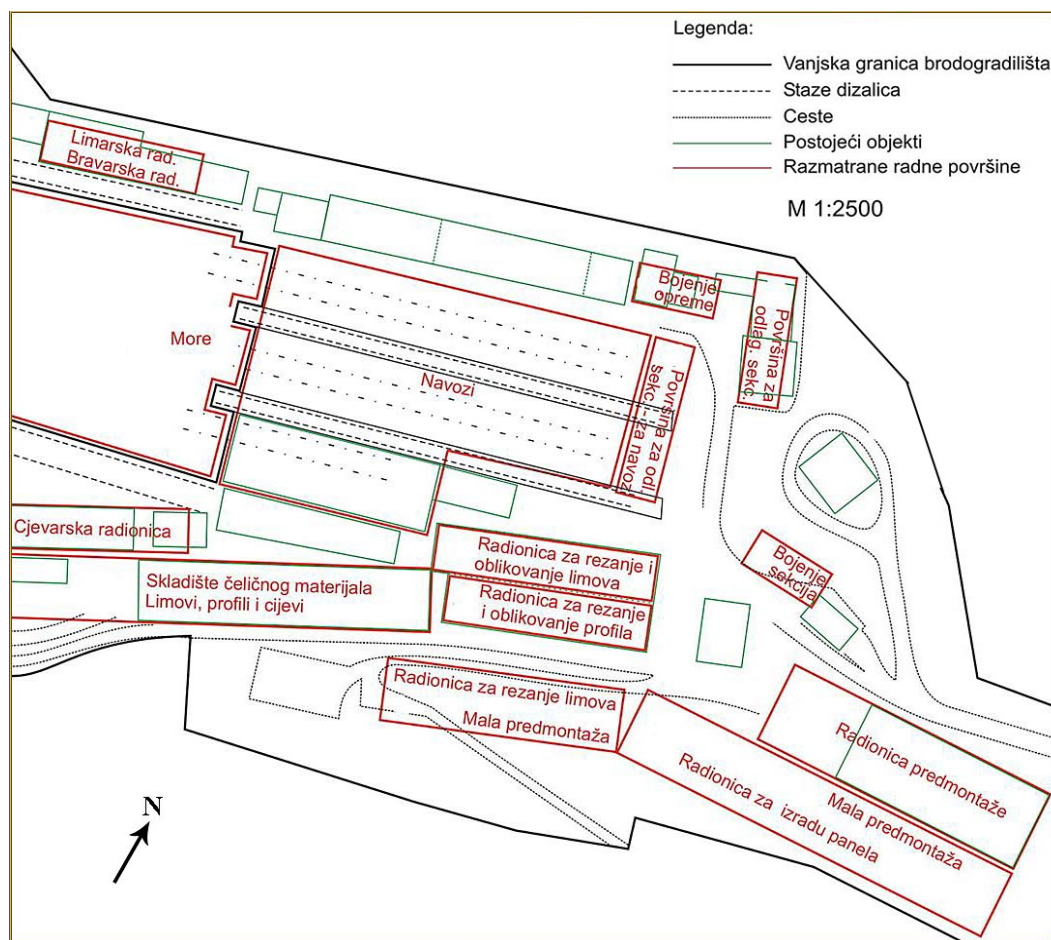
U procesu projektiranja proizvodnog sustava redovit je zadatak definirati površine za proizvodne i pomoćne aktivnosti, površine za transport, skladištenje i sl. Proračun površina potrebno je odraditi kako u projektiranju novog procesa, tako i pri prerasmjertaju pojedinih pogona, ili u slučaju proširenja postojećeg proizvodnog sustava. Neke od tradicionalnih metoda za definiranje površina su:

**- Metoda određivanja površina s pomoću približnih pokazatelja;**

Ova metoda zasniva se na analizi podataka koji se dobiju na temelju sličnih postojećih proizvodnih sustava. Metoda se pretežno koristi u ranoj fazi projektiranja, kada se još ne raspolaže sa svim relevantnim podacima.

**- Analitičke metode;** Postoji više načina analitičkog određivanja površina i sve se one u pravilu zasnivaju na osnovnim matematičkim izračunima ovisnima o površini strojeva, količini proizvedenog materijala, potrebnim površinama za manipulaciju materijalom i sl.

**- Grafičke metode;** kao što i samo ime kaže, kod ove se metode ukupna površina određuje grafički, crtanjem pojedinih površina u 2D prostoru, slika 9;



Slika 9. Prikaz proizvodnih površina brodogradilišta, [59]

Osim ovih elementarnih metoda za analizu i definiranje površina koriste se složenije metode matematičkog programiranja, obično u kontekstu definiranja zaliha, potrebnih skladišta i/ili transportnih putova pa se tako primjenjuju metode linearnog programiranja za definiranje modela zaliha i optimiziranja veličina skladišta, [27], [25]. Sa porastom složenosti proizvodnih sustava ovakve metode postaju sve manje prikladne pa se počinju koristiti i neke elementarne računalno podržane metode, poput *SLP* (eng. Systematic Layout Planing) metode, [60].

Nadalje, pri takvom pristupu često nedostaje ili je neadekvatna metoda provjere odluka, odnosno efikasna metoda za provođenje tzv. *what-if* scenarija. Također, dugotrajan je proces kada u slučaju promjene određenih parametara treba mijenjati cijeli analitički model, pa čak i kada je taj analitički model računalno podržan. On još uvijek nudi neadekvatnu vizualizaciju procesa što projektantima omogućava vrlo korisno promatranje događaja ovisno vremenu, a što nudi simulacijsko modeliranje. Stoga, računalno podržano simulacijsko modeliranje danas postaje jedan od nezaobilaznih alata i za projektiranje površina, [61].

#### 2.4.4 Mjerenje proizvodnog procesa

Svrha mjerenja procesa je vrednovanje i unapređenje operacija u proizvodnom procesu unutar definiranih ograničenja. Temeljem izmjerenog, moguće je donositi zaključke o unapređenju procesa. Uobičajeni način mjerenja performansi počinje sa planom kojim se određuje što se i kojim brzinama i u koje vrijeme, te u kojem obimu mora dogoditi u proizvodnom procesu, a zatim se provodi kontrola da li se provedba odvija kako je planirano, tzv. *Plan the work – then work the plan*. [6]. To je tradicionalni način mjerenja performansi proizvodnog procesa koji je i danas temelj svih ostalih metoda. U svrhu mjerenja performansi treba odrediti relevantne mjerne jedinice i specifikacije, primjerice, neke od uobičajenih mjernih jedinica za osnovne sastavnice proizvodnog procesa, posebice brodograđevnog, priložene su u sljedećoj tablici 7.

**Tablica 7.** Mjerne jedinice za neke od osnovnih sastavnica proizvodnog procesa

Sastavnica proizvodnog procesa	Mjerne jedinice
<b>Kapacitet</b>	- kg/dan; kg/h; - obradnih komada/h; obradnih/dan; - min/obradnom komadu, itd.

<b>Tok materijala</b>	- obradnih komada/skladište; obradnih komada/tok - kg/toku; kg/dan, itd.
<b>Proizvodne površine</b>	- dužina x širina, m <sup>2</sup> - broj površina/radionica;
<b>Opterećenje</b>	- masa,kg ili obradnih komada/h/dan
<b>Zastoji</b>	- min/dan; min/radna operacija;
<b>Vremena obrade</b>	- min/obradni komad, - s/operaciji, itd.
<b>Brzine operacija/transporta</b>	- min/mm; s/mm; - min/m <sup>2</sup> ; s/m <sup>2</sup> - m/s, itd.

Pri tome, može se postaviti pitanje zašto uopće mjeriti odnosno kontrolirati proces? Mjerenje omogućava kvantificiranje potrebnih resursa za ostvarenje definiranog cilja. Nadalje, mjerenjem i kontrolom procesa uočavaju se nepravilnosti, greške i odstupanja od plana. Korigiranjem istoga, a nekada i samoga plana, poboljšava se efikasnost radne snage i iskoristivosti resursa, a time se unapređuje i cijeli proizvodni proces, odnosno u konačnici i povećava profit. Stvarni proces koji se odvija nije uvijek lako mjeriti, a pogotovo nije lako donositi odluke i promjene temeljem mjerenja skupljenih informacija. Naime, tko će garantirati kakvu promjenu treba napraviti i da li će ona rezultirati pozitivnim rezultatom ili možda lošijim?

Stoga je jedan od mogućih načina smanjenja rizika pri takvom postupku izrada modela stvarnog procesa nad kojim se mjerenje vrši, te nad njime provoditi eksperimente i analizu. Za takve potrebe može se koristiti računalni simulacijski model, kakav će se i u ovom radu koristiti, a koji je u usporedbi s tradicionalnim matematičkim modelima znatno efikasniji, ako uopće ima alternative, [15]. Naime, u svrhu mjerenja i kontrole sustava, u računalnom simulacijskom modelu na ciljane mjesta postavlja se čitanje podatka s tog resursa. Njihovom analizom, u ovisnosti o promjenama koje su uzrokovali mogu se donijeti kvalitetni zaključci u relativno kratko vrijeme. Isto se tradicionalnim analitičkim matematičkim modelom ne može napraviti tako brzo i relativno jednostavno, [24].

#### 2.4.5 Balansiranje proizvodnog procesa

Proizvodnja određenoga proizvoda, u većini proizvodnih djelatnosti, podrazumijeva proizvodnju pojedinačnih dijelova, a potom i njihovo spajanje u konačan proizvod. Takvo spajanje se odvija progresivno, u nizu stanica predviđenih za montažu na

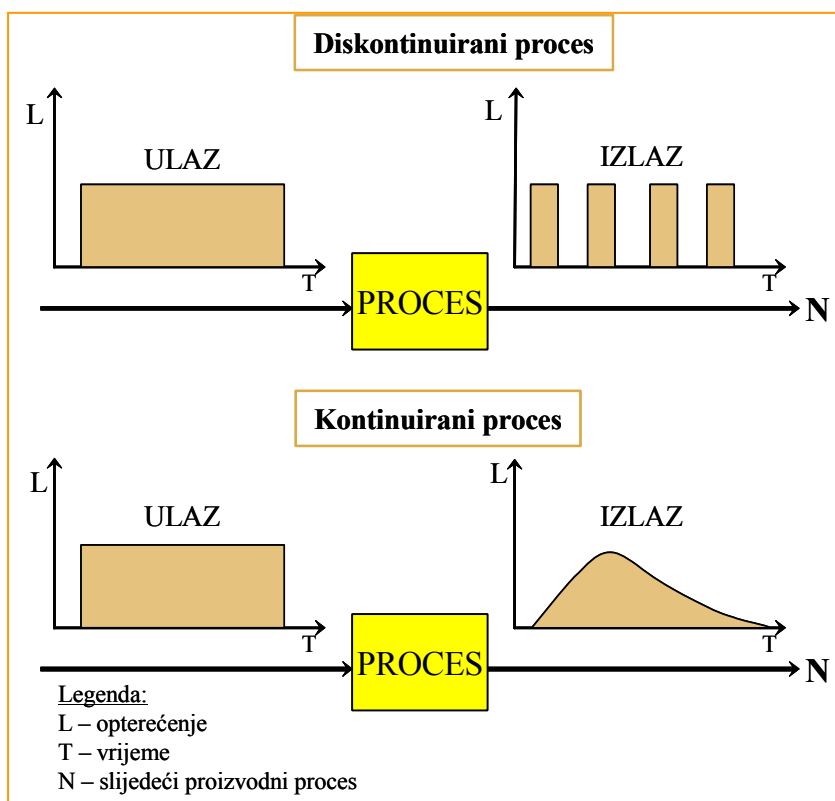
kojima se odvija određena faza montaže, a prema konačnom proizvodu. Brodogradnja je jedna od takvih proizvodnih djelatnosti. Takva progresivna montaža temelji se na podjeli proizvoda na sastavne međuproizvode različitih razina složenosti te na podjeli rada potrebnog da se oni sastave u konačni proizvod. Podjela rada se može nastavljati sve do razine nakon koje ona više nije moguća, odnosno kada više nije moguće dodatno pojednostaviti međuproizvod, što znači da se došlo do osnovnog jediničnog elementa. U slučaju brodogradnje. Kod proizvodnje trupa, to su limovi i profili.

U modernoj industriji koja teži masovnoj proizvodnji, podjela na međuproizvode teži ka što detaljnijoj podjeli što bliže tom osnovnom proizvodu, jer se time postiže i rad manje složenosti, a što za sobom povlači i jeftiniju radnu snagu manje obučenosti. Tako definirane radove i međuproizvode potrebno je potom što je moguće ravnomjernije rasporediti po proizvodnoj liniji kako bi opterećenost stanica bila što sličnija, a vremena čekanja između njih minimalna. Taj se postupak zove balansiranje proizvodnog procesa. Ciljevi balansiranja proizvodnog procesa su sljedeći:

- Osigurati izbalansirana radna opterećenja kako jedno radno mjesto ne bi bilo opterećenije od drugih;
- Osigurati takvu radnu organizaciju da radno opterećene značajno ne oscilira u slučaju različitih tipova proizvoda koji se sastavlja;
- Osigurati visoku iskoristivost radne snage i resursa kako bi bilo što manje čekanja i praznog hoda;
- Spriječiti značajna radna preopterećenja koja bi mogla negativno utjecati na kvalitetu proizvoda.

Pri tome, za razliku od industrijskih grana u kojima prevladava veliko-serijska proizvodnja s pretežito kontinuiranim opterećenjem proizvodnog procesa, brodograđevni proizvodni proces, a o kojem je riječ u ovom istraživanju, karakterizira diskontinuirano opterećenje, što dodatno otežava balansiranje proizvodnih procesa, [9].

Grafički prikaz diskontinuiranog i kontinuiranog opterećenja proizvodnog procesa prikazan je na slici 10, [42].



**Slika 10.** Prikaz diskontinuiranog i kontinuiranog opterećenja proizvodnog procesa

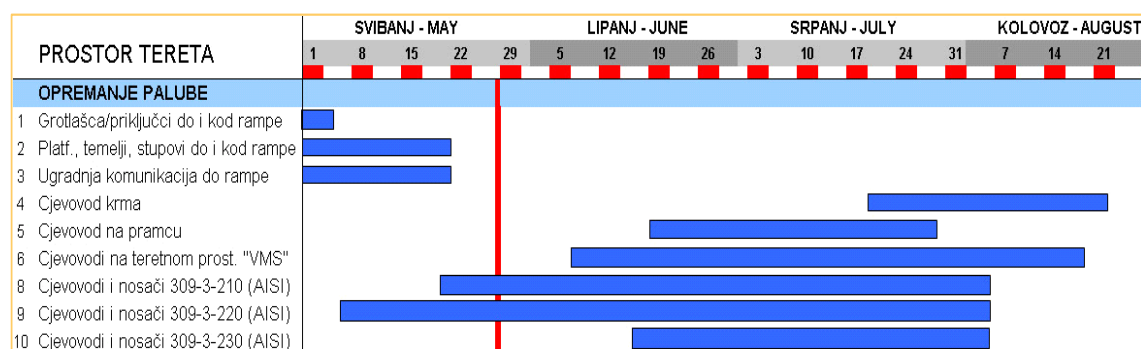
Simulacijsko modeliranje je i ovdje izuzetno koristan alat za rješavanje ove problematike jer je ovo jedan tipičan *what if* zadatak, a računalno podržana simulacija je provjereno najbolja metoda za provođenje *what if* pokusa s ciljem balansiranja linije, [62]. Osim simulacijskog modeliranja u metodama operacijskih istraživanja mogu se primjenjivati i druge metode za balansiranje linije i to uglavnom kroz metode za optimiziranja raspodjele i upravljanja resursima, njihove iskoristivosti i međusobne interakcije, [25], [32]. Međutim, ove metode tek u kombinaciji sa računalnim simulacijskim modeliranjem, primjerice kao alata za provjeru scenarija, dobivaju na kvaliteti primjene.

Također, simulacijsko modeliranje se može koristiti za projektiranje potpuno nove proizvodne linije ali se potom taj osnovani model koristi za nešto specifičniju namjenu, odnosno za ispitivanje ergonomske karakteristike svake radne stanice projektirane proizvodne linije, [63].



## 2.2.6 Planiranje proizvodnje

Planiranje proizvodnje je još jedan od važnih čimbenika projektiranja i upravljanja procesima. Pažljivim i kvalitetnim planiranjem osigurava se efikasna proizvodnja. Planiraju se potrebni resursi za proizvodnju, površine, strojevi, radni sati, radna snaga, itd. Planirati se može kratkoročno, srednjoročno i dugoročno. Pregled različitih pristupa planiranju proizvodnje, pretežito primjenom analitičkih metoda, prikazan je u literaturi [64], poput mrežnog planiranja, *ABC* analize i dr. Također, često se za planiranje koristi *Q-Gert* i *PERTH* metoda, [31], te *Just in Time* metoda [65]. Međutim, nerijetko se planira temeljem prethodnog iskustva ili usporedbom sa sličnim planom koji se preslikava na novu situaciju uz manje prilagodbe. Jedan karakterističan proizvodni plan brodograđevnog proizvodnog procesa jest gantogram proizvodnje (*Ganttov* dijagram), a na slici 11, gantogramom je prikazan plan poslova opremanja dijela palube jedne novogradnje.



**Slika 11.** Gantogram poslova opremanja dijela palube novogradnje, [65]

Danas se, međutim, za provedbu procesa planiranja, a pogotovo za planiranje proizvodnje u nekom sljedećem kratkoročnom periodu sve više koriste računalno podržani simulacijski modeli. Pomoću takvog modela kao potpore planiranju veća je vjerojatnost da će temeljem njega izrađeni proizvodni plan biti to bliže onom ciljanom, [66].

Nadalje, pomoću takvog osnovanog modela moguće je analizirati budući period proizvodnje, te predvidjeti što će se u proizvodnji događati ovisno o asortimanu proizvodnje, [67]. Pri tome, mogu se simulirati scenariji u kojima su uočeni problemi, te za njihovo rješavanje poduzimati promjene u procesu, ali na računalnom modelu i bez uplitanja u stvarnu proizvodnju, pa se tako simulacija koristi za procjenu i optimiziranje performansi automatizirane proizvodne linije, [68].

### 2.2.7 Zaključak provedene kritičke analize

Provedenom kritičkom analizom uočavaju se mnogobrojna područja i mogućnosti primjene metode simulacijskog modeliranja za projektiranje procesa pa se tako u radu [81] simulacija prezentira kao danas najrašireniji alat za unapređenje proizvoda i proizvodnih procesa. Dodatno na provedenu analizu valja spomenuti da postoje brojna izdanja koje se bave metodom simulacije na općoj razini, primjerice [18], [69], [70], [71]. Postoje nadalje i mnogobrojna izdanja i konferencije koje se bave primjenom simulacijskog modeliranja u određenim specifičnim, uže specijaliziranim područjima, među kojima su za ovaj rad od posebnog interesa proizvodni procesi, [72], [73], [74]. Nadalje, u radovima [75] i [76] analizira se primjena simulacijskog modeliranja za projektiranje *layouta*. Međutim, unatoč dosadašnjoj primjeni simulacijskog modeliranja, koja je zapažena, u određenim industrijama tek se očekuje njegova veća primjena u brodogradnji, [77]. Razloge tome možda treba tražiti u tradicionalno vrlo konzervativnoj brodograđevnoj sredini, ali i u objektivno vrlo visokim financijskim sredstvima koji su uključeni u brodograđevni posao, a time i visokim rizicima s kojim se menadžment brodogradilišta mora nositi pri donošenju odluka. Stoga, autor smatra da značajnije korištenje metode simulacijskog modeliranja u brodogradnji tek treba započeti pa je s tim ciljem i provedeno istraživanje kojem je svrha osnivanje i prijedlog primjene osnovane cjelovite metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa, a temeljene na metodi simulacijskog modeliranja. Također, mogućnosti takve metodologije i simulacijskog modeliranja kao njene osnove, prezentirati će se na primjeru projektiranja konkretnog brodograđevnog proizvodnog procesa.



### 3. SIMULACIJSKO MODELIRANJE ZA PROJEKTIRANJE BRODOGRAĐEVNOG PROIZVODNOG PROCESA

Modeliranje je proces blisko vezan za način ljudskog razmišljanja i rješavanja problema. Izraz simulacijsko modeliranje izražava složenu aktivnost koja uključuje tri elementa: stvarni sustav, model i računalo. Kada pojam simulacijsko modeliranje ili simulacija koriste menadžeri, poslodavci, a posebno računalni stručnjaci, obično pod time podrazumijevaju proces izgradnje apstraktnog modela nekog sustava te provođenje eksperimenata sa njima. U tom kontekstu simulaciju se može definirati kao postupak osnivanja dinamičkog modela stvarnog dinamičkog sustava, unutar zadanih ograničenja, sa svrhom razumijevanja ponašanja sustava i procjene različitih projektnih i/ili proizvodnih alternativa pri projektiranju novog ili unapređenju postojećeg sustava te kao pomoć u svakodnevnom planiranju i odlučivanju, [78]. U ovom će radu od posebnog interesa biti slučaj kada se model i eksperimenti nad njime odvijaju na računalu. Tada se govori o računalnoj simulaciji. Dakle, u daljnjem tekstu kada se bude spominjao termin simulacija ili simulacijsko modeliranje, podrazumijevati će se računalno izrađen i simuliran te numerički tretiran dinamički model stvarnog sustava čije se ponašanje razmatra dinamički u ovisnosti u vremenu, na računalu. Pri tome, neke od definicija simulacije su sljedeće:

- 1. Simulacija je imitacija stvarnog sustava, njegovih elemenata i njihovih odnosa s određenom svrhom, obično analize, unapređenja ili predviđanja ponašanja sustava, [24].*
- 2. Simulacija je proces kreiranja matematičkog ili logičkog modela stvarnog sustava sa svrhom da se nad njime provode eksperimenti sa ciljem boljeg razumijevanja ponašanja sustava te pomoći u procesu donošenja odluka, [79].*
- 3. Simulacija je imitacija operacija i postupaka stvarnog procesa kroz određeno vrijeme. Simulacija podrazumijeva kreiranje umjetnog, simulacijskog modela stvarnog sustava na računalu, promatranjem i analizom kojeg se mogu donositi različiti zaključci vezani uz stvarni sustav, [18].*
- 4. Računalna simulacija je pokušaj modeliranja stvarnog sustava ili nekog hipotetskog*

sustava, njegovih elemenata, stvarnih događaja, na računalu kako bi se mogao proučavati i analizirati s ciljem njegove analize, razumijevanja, unapređenja i sl. Mijenjajući parametre računalnog simulacijskog modela moguće je predvidjeti ponašanje stvarnog sustava, [80].

5. Simulacija u širem smislu je postupak koji objedinjuje snimanje podataka na realnom sustavu, eksperimentiranje s realnim sustavom, formuliranje teorije, izradu konceptijskog modela, programiranje, planiranje eksperimenata, eksperimentiranje s programom na računalu i analiziranje rezultata tih eksperimenata, [2].

### 3.1 Cilj i svrha istraživanja

Kako bi brodogradilišta bila konkurenta u budućnosti ona kontinuirano moraju ulagati u svoj proizvodni proces s ciljem unapređenja proizvodnje radi povećanja produktivnosti i profita. Stoga brodogradilišta često poduzimaju značajne zahvate u svojim proizvodnim procesima, odnosno moraju se nositi sa zadatkom implementacije novih tehnologija u postojeći proizvodni proces, što je vrlo 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.

Nadalje, većina stvarnih procesa vrlo je složena te ih je otežano opisati analitički odnosno tradicionalnim matematičkim modeliranjem jer u takvim slučajevima postoji potreba za metodom kojom će se složenost i dinamika takvih procesa moći bolje opisati. Stoga je:

**Osnovni cilj ovog istraživanja osnovati takvu metodologiju projektiranja proizvodnog procesa kojom će se moći u kraćem vremenu, efikasnije i kvalitetnije opisati sva složenost i dinamika složenog proizvodnog procesa s posebnim naglaskom na brodograđevni proizvodni proces.**

Pri čemu je:

Osnovna svrha takve osnovane metodologije je doprinjeti unapređenju postupka projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa, a što će rezultirati kvalitetnijim rješenjem projekta proizvodnog procesa sa stajališta proizvodnje i to prvenstveno temeljem:

- Vrednovanja projektnih alternativa i scenarija proizvodnje;
  - Optimiziranja parametara proizvodnog procesa;
  - Veće razine sigurnosti pri donošenju odluka;
- Kraćeg vremena potrebnog za implementaciju novih tehnologija;
  - Efikasnijeg planiranja i upravljanja proizvodnjom.

Nadalje, osnovana metoda će omogućiti ispitivanje mnogih varijanti *layout-a*, vrsta i parametara strojeva, vrsta uređaja za upravljanje materijalima, definiranje količine i veličine potrebnih skladišta, definiranje strategije proizvodnje, planiranje proizvodnje, planiranje investicija, strojeva, itd., a sve to u okvirima virtualnog modela na računalu, u ranijoj fazi projekta i bez involviranja većih financijskih sredstava ili stvarne opreme za vršenje pokusa. Takav pristup u ranoj fazi projekta daje dragocjene podatke koji su velika pomoć menadžmentu prilikom odlučivanja, posebno u smislu uklapanja nove tehnologije u postojeći proizvodni proces vezano uz troškove i njen utjecaj na postojeći raspored radova, proizvodne tokove, angažiranu radnu snagu i sl. U konačnici, primjena predložene metodologije rezultirati će projektom sa odabranim značajkama procesa, takvih da se postigne minimalno ukupno trajanje gradnje broda, uz maksimalnu korištenost resursa procesa, a uz poštivanje ograničenja brodogradilišta i to ponajviše prostornih ograničenja i parametara opreme s kojom nova tehnologija dolazi u interakciju.

Autor smatra da, primjenom ovim istraživanjem predložene metodologije projektiranja proizvodnih procesa, donesena odluka o konačnoj konfiguraciji projektiranog proizvodnog procesa sadrži znatno manji rizik donošenja projektnih i investicijskih odluka od one temeljene na konvencionalnom pristupu, zasnovane na usporedbi sa sličnim rješenjima u slični proizvodnim procesima. Isto će primarno doprinijeti osiguravanju većeg broja kvalitetnih i relevantnih podataka koji će menadžmentu u ranijoj fazi projektiranja omogućiti kvalitetniju komunikaciju sa dobavljačima opreme, što će rezultirati boljim izborom ponuđenih opcija opreme linije te u konačnici i sa racionalnijim korištenjem investicijskih sredstava.

## 3.2 Prijedlog metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa

Brodograđevna industrija, danas možda više nego ikada, posluje na vrlo nestabilnom i konkurentnom tržištu, na kojem je suočena sa sve snažnijim pritiscima glede zahtjeva za sve kraće rokove isporuke uz relativno niske cijene. Kako bi odgovorila takvim zahtjevima brodogradilišta i njihovi suradnici (kooperanti) moraju težiti što efikasnijem korištenju svojih resursa, definiranju što realnijih i po mogućnosti što fleksibilnijih proizvodnih planova kojih se treba držati. Brodogradilišta, nadalje, da bi bila konkurentna u budućnosti, ona kontinuirano moraju ulagati u svoj proizvodni proces s ciljem unapređenja proizvodnje radi povećanja produktivnosti i profita.

### 3.2.1 Analiza brodograđevnog proizvodnog procesa

Brodograđevni proizvodni proces se po svojim značajkama ubraja u vrlo složene poslovno-proizvodne sustave. Ova složenost je rezultat složenosti njenih finalnih proizvoda - plovnih objekata, kao pojedinačnih proizvoda visoke kapitalne vrijednosti, koji su različitih tipova i veličina. Takav složen proizvod zahtijeva isto tako složeni brodograđevni proces. Osim toga, brodogradilišta imaju i jako razvijene odnose s brojnim partnerima koji sudjeluju u gradnji plovnih objekata, kako u pripremnom tako posebno i u proizvodnom dijelu brodograđevnog procesa. Brodogradilišta istovremeno izvode svoje aktivnosti na više objekata u različitim etapama gradnje ili pripreme gradnje.

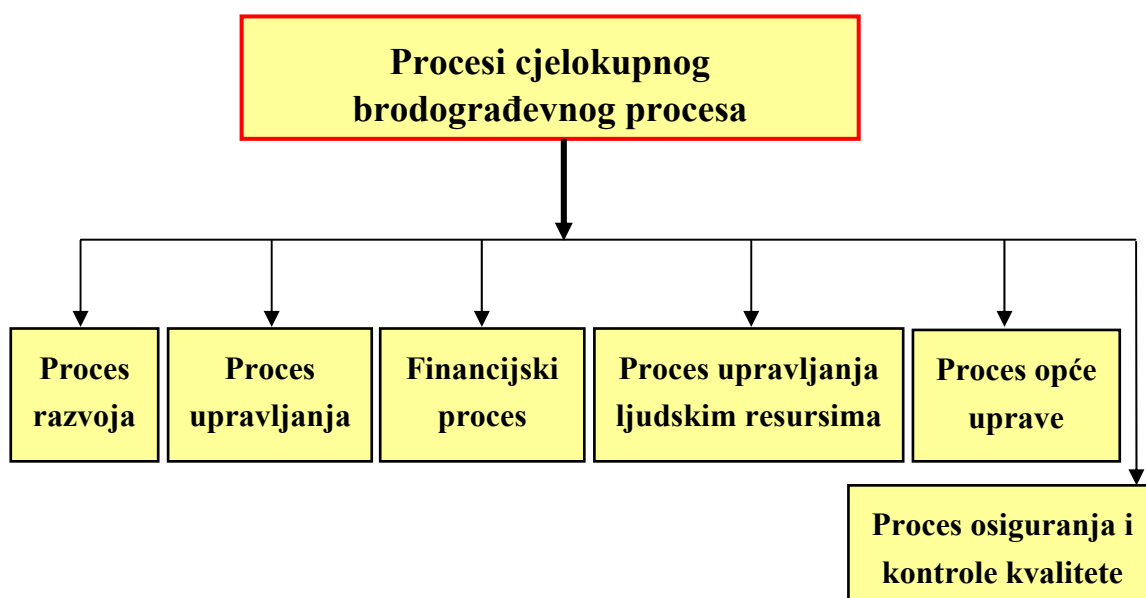
Cjelokupni brodograđevni proces se na prvoj razini dijeli na brodograđevne pripreme procese i na brodograđevne proizvodne procese. Osnovne značajke ovih procesa su, [81]:

- velik broj međuproizvoda,
- značajna interaktivnost i međuzavisnost procesa,
- u najvećem dijelu, radi se o neponavljajućim procesima s različitim trajanjima,
- na ulazu u proces je veliki broj komponenata, a na izlazu mali broj različitih finalnih proizvoda,
- procesi se odvijaju u više paralelnih procesa, s manjim ili većim vremenskim preklapanjima,
- procesi su tehnološki različiti, s korištenjem različitih sredstva rada, te su uglavnom

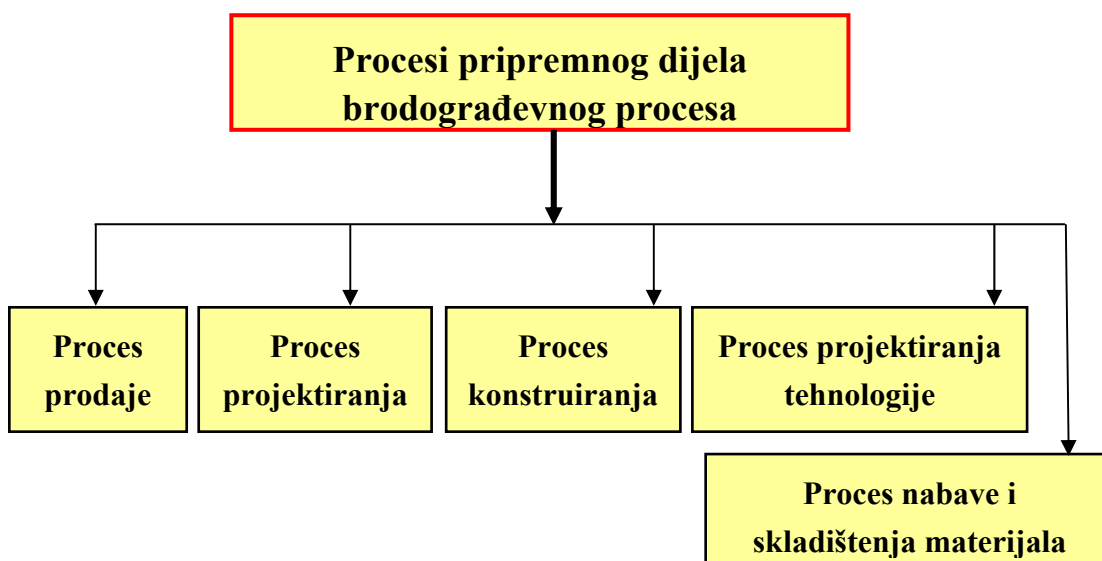
radno intenzivni,

- u proizvodnim procesima postoji „kretanja proizvoda kroz proces“, kao i „kretanje procesa kroz proizvod“,
- kupac je poznat već na samom početku procesa.

Daljnjom analizom može se uočiti da se jedna grupa procesa proteže na cjelokupni brodograđevni proces, druga grupa samo na pripremni dio brodograđevnog procesa, a treća grupa samo na proizvodni dio brodograđevnog procesa, [81], a takva podjela prikazana je na slikama 12, 13 i 14.

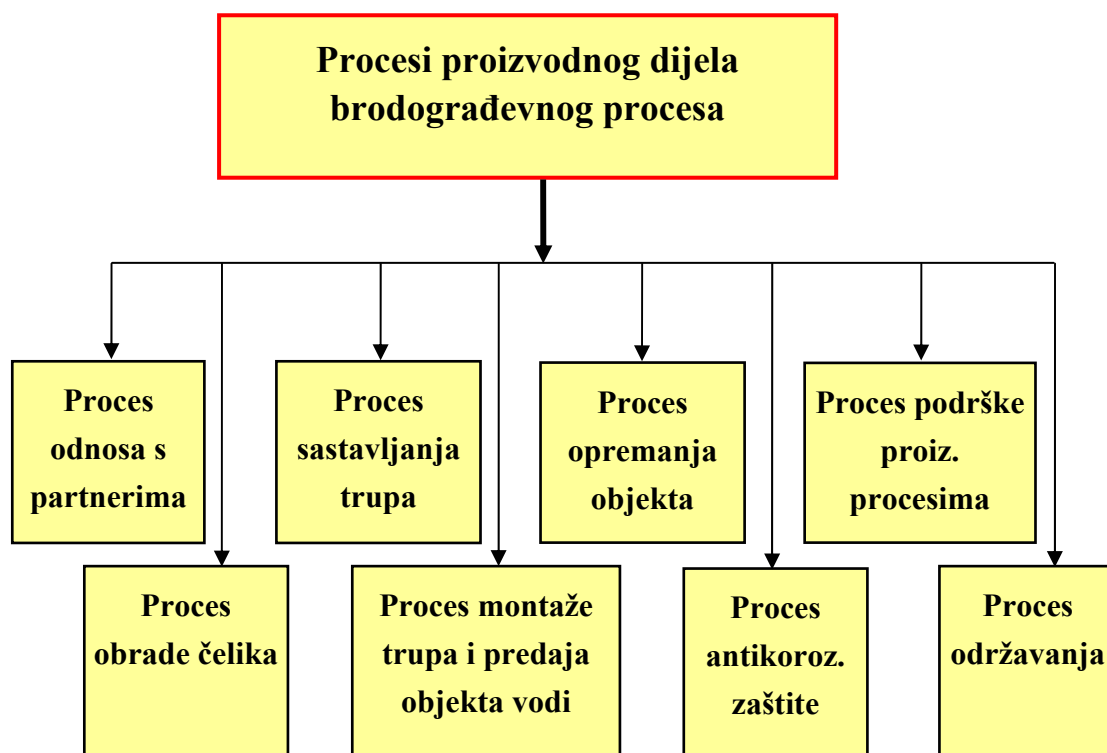


Slika 12. Proces koji se odnose na cjelokupni brodograđevni proces



Slika 13. Proces koji se odnose na pripremni dio brodograđevnog procesa





**Slika 14.** Procesi koji se odnose na proizvodni dio brodograđevnog procesa

Kao zaključak ovog pregleda, a u odnosu na procese u drugim industrijskim granama, može se govoriti o jednom netipičnom poslovno-proizvodnom procesu, odakle potječu i mnogi problemi brodograđevnog procesa vezani za učinkovitost, potrebno proizvodno vrijeme, upravljivost i dr. Brodograđevni proizvodni proces odlikuje proizvodnja jedinstvenog proizvoda u malim serijama, uz ogroman broj proizvodnih faza/koraka, iznimno velik broj elemenata, podsklopova i sklopova kao sastavnih jedinica još većih jedinica broda (sekcija), zatim vrlo složeni poslovi opremanja i bojenja te sve to u kontinuiranu visoku razinu interakcije s dobavljačima, vanjskim kooperantima i ostalim vanjskim sastavnicama brodograđevnog proizvodnog procesa.

Sve to brodograđevni proizvodni proces čini vrlo složenim. Pa je tako primjerice jedna od najznačajnijih karakteristika proizašla iz te složenosti, problematika toka materijala unutar brodograđevnog proizvodnog procesa, koja je bitno drugačija od primjerice automobilske industrije. Karakteristika toka materijala u brodograđevnom proizvodnom procesu zavisna je od tri osnovna elementa; rasporedu i povezanosti objekata, rasporedu i povezanosti proizvodnih linija unutar radionica i rasporedu i kretanju materijala unutar određene proizvodne linije, dok u većini drugih relativno sličnih industrija, poput automobilske i avionske industrije, to nije u toj mjeri izraženo. Takva povećana složenost

toka materijala diktira i složenije zahtjeve pred proces projektiranja i upravljanja toka materijala.

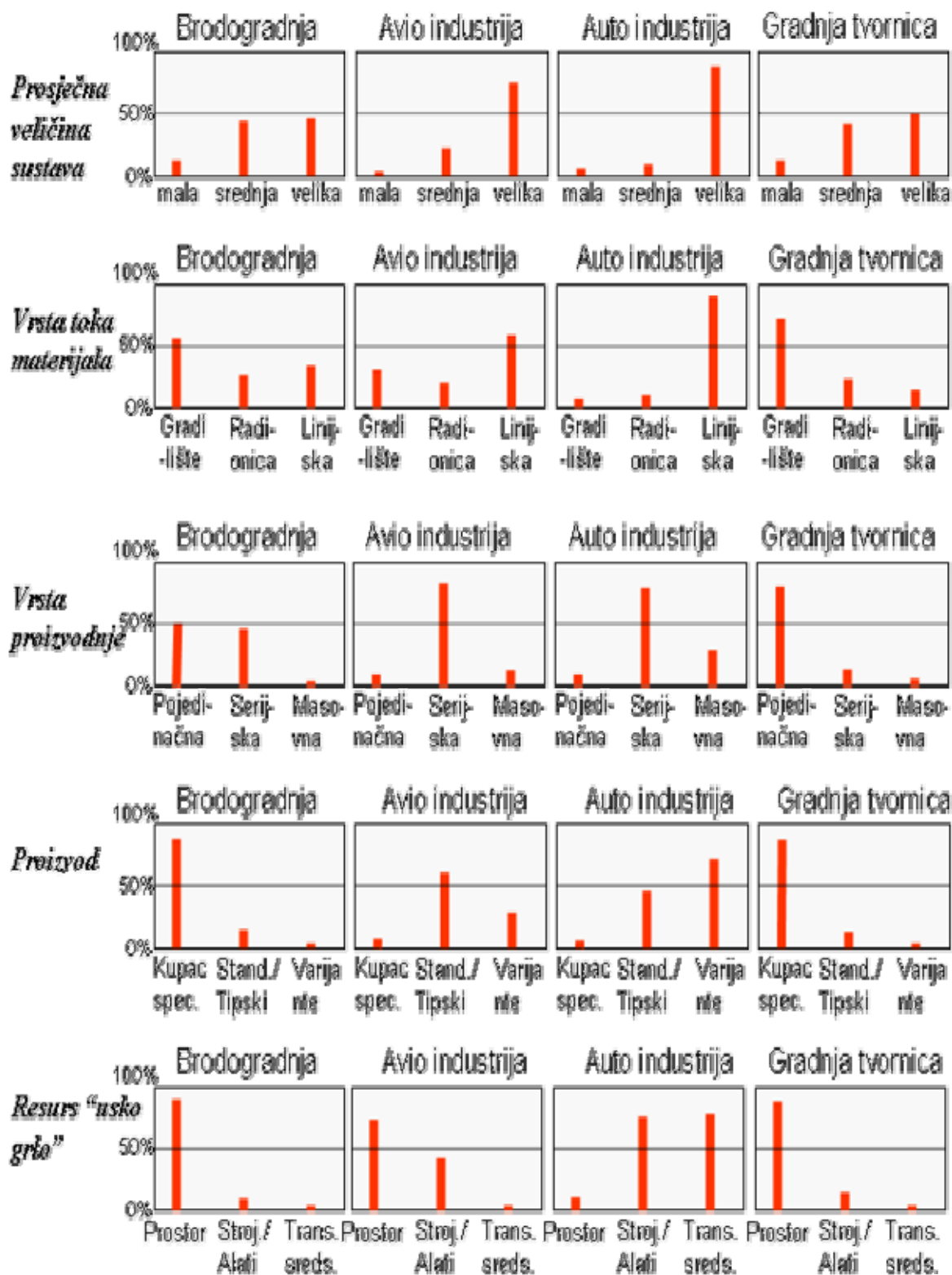
Osim toga, u odnosu na automobilsku industriju, brodogradilišta većinom proizvode jedinstvene proizvode u malim serijama što pak postavlja kompleksne zahtjeve pred postupke planiranja i kontrole proizvodnje. Dodatno, svaki brod, pa čak i oni slični, zbog posebnih zahtjeva naručitelja koji nisu rijetki u brodograđevnom poslu, mogu se značajno razlikovati u opremi, posebnim konstrukcijskim rješenjima i sl. što dodatno otežava postupke projektiranja i upravljanja proizvodnim procesom.

Nadalje, brodogradnja je radno vrlo intenzivna industrija i smatra se da tek nekih 20% troškova otpada na čelični materijal broda, a čak 60% na troškove ljudskog rada vezanih za taj čelični materijal, [81], a što nije slučaj u nekim drugim industrijama, primjerice automobilskoj. Još je jedna specifičnost koja razlikuje brodogradnju od drugih industrija, a to je važnost prostora kao resursa.

Prostor je u brodogradnji jedan od najvažnijih resursa, brodograđevnog procesa i ono je nerijetko usko grlo, [77]. Naime, brodograđevni proces za svoja tri osnovna proizvodna procesa; proizvodnju elemenata broda, sastavljanje elemenata u veće cjeline te opremanje istih, te zbog relativno velikih dimenzija i mnogobrojnosti istih, zahtjeva vrlo veliki prostor. Na kraju, može se rezimirati nekoliko elemenata brodograđevnog proizvodnog procesa koji su karakteristični i u kojima se kriju najveće razlike prema nekim drugim industrijama, i to:

- radno intenzivna djelatnost,
- složen tok materijala i postupci upravljanja njime,
- potreban je vrlo velik radni prostor, površine su vrlo važan resurs,
- proizvod je gotovo uvijek jedinstven i vrlo složen,
- vrlo velik broj međuproizvoda, ali zbog njihove iznimne raznolikosti gotovo je nemoguće primijeniti principe velikoserijske masovne proizvodnje, itd.

Usporedba brodograđevne industrije s nekoliko drugih sličnih industrija dana je, temeljem nekoliko karakterističnih kriterija, na slici 15, [81].



Slika 15. Tipске karakteristike nekoliko velikih industrija

Uzimajući u obzir navedene specifičnosti brodograđevnog proizvodnog procesa, jasno je da je u brodograđevnoj industriji vrlo složeno osnovati efikasan, a praktičan, model za potporu projektiranju, planiranju i odlučivanju pri upravljanju procesom. Uz to, dodatna je teškoća osnovati model koji će ujedno biti i univerzalni model, zato što proizvod praktički nikada nije isti, a daleko je od veliko serijske proizvodnje istog proizvoda u primjerice automobilske industriji gdje postoje primjeri korištenja simulacijskog modeliranja za analizu transportnih sredstava, [74], za analizu troškova [82] i proizvodnog procesa, [83], ili za procjenu propusnosti procesa automobilske industrije, odnosno da li će ona zadovoljavati ciljanu potražnju, [84]. Nadalje i u avionskoj industriji postoje primjeri korištenja simulacijskog modeliranja, pa se tako opisuje primjena simulacijskog modeliranja za analizu procesa nabave i upravljanja zalihama u avionskoj industriji, [85].

Međutim, projektiranje tako složenog procesa kao što je brodograđevni je iznimno zahtjevan zadatak. Konvencionalnim postupkom uobičajeno je odabrati rješenje temeljem iskustva projektantskog tima koji preuzima sav rizik za svoje odluke, pri tome koristeći se *benchmarkingom*, odnosno usporedbom s drugim sličnim brodogradilištima koja su sličnu tehnologiju već implementirala, [62], [87]. Takvo rješenje u određenim okolnostima može biti zadovoljavajuće, međutim ne i optimalno prilagođeno određenom brodogradilištu te nedovoljno dobro uključuje svu složenost brodograđevnog proizvodnog procesa i dinamiku, međuzavisnost i interaktivnost njegovih mnogobrojnih elemenata i sastavnica, [86]. Nadalje, s porastom konkurentnosti na svjetskom tržištu i s promjenom samog karaktera tržišta koje postaje sve teže predvidljivo i dinamično, javila se potreba projektirati fleksibilnije proizvodne procese s mogućnošću brzih transformacija i prilagodbe na promjene na svjetskom tržištu. U tom smislu, sve se veća pažnja poklanja primjeni znanstvenih metoda u praćenju i otkrivanju mogućnosti poboljšanja procesa.

Međutim, za obradu i analizu velike količine elemenata, radnih operacija, strojeva i njihove interakcije te opis karakteristika i promjena njihova stanja ovisno o vremenu, primjena klasičnih metoda matematičkog modeliranja temeljene na analitičkom i numeričkom pristupu rješavanja modela postaju jednostavno presložene u slučaju kompleksnih proizvodnih procesa pa je takve sustave moguće opisati i valorizirati jedino metodom simulacijskog modeliranja, [88]. Nadalje, simulacija se smatra metodom kojom se može analizirati praktički svaki proces, a naravno i brodograđevni, praktički bez obzira na njegovu složenost, [89]. Stoga se danas smatra da je primjena alata simulacijskog modeliranja, kojom se računalno modelirani proces opisuje numerički te temeljem skupljenih i analitički obrađenih informacija definira proces, prikazujući gotovo svu

njegovu složenost i dinamičku karakteristiku, praktički jedina metoda za tretiranje takvih složenih procesa, a u svrhu dobivanja odgovora na različita proizvodna pitanja i u konačnici donošenja kvalitetnijih zaključaka kao pomoć menadžmentu pri donošenju potrebnih odluka, [89].

Na kraju, u tablici 8, može se dati jedna pojednostavljena usporedba tradicionalnih načina projektiranja procesa bez upotrebe računalnog modela i onog temeljenog na metodi simulacijskog modeliranja koja ilustrira osnovne razlike ta dva pristupa:

**Tablica 8.** Usporedba tradicionalnog načina projektiranja procesa bez upotrebe računalnog modela i onog temeljenog na metodi simulacijskog modeliranja

	<b>Tradicionalni način</b>	<b>Simulacijsko modeliranje</b>
1.	Projektiranje	Projektiranje modela na računalu
2.	Investicija	<b>Provjera i potvrda modela na računalu</b>
3.	Izgradnja – implementacija	Investicija
4.	<b>Provjera na stvarnom sustavu</b>	Izgradnja – implementacija
5.	<b>Popravci</b>	- / -

Osnovna razlika je primjetna, provjera se ne odvija na stvarnom sustavu već puno prije investicije i implementacije, na računalnom modelu sustava što dovodi do minimiziranja potrebnih popravaka pa čak i potpune eliminacije istih. Pored prepoznatih prednosti primjene simulacijskog modeliranja u brodograđevnim proizvodnim procesima, treba reći da proces projektiranja proizvodnog procesa temeljem simulacijskog modeliranja nije jednostavan i kratkotrajan proces. Naime, postupak projektiranja temeljem simulacijskog modeliranja zahtjeva osposobljenog projektanta iz više no jednog područja. Za dobrog projektanta koji se koristi simulacijskim modeliranjem, poželjno je da u isto vrijeme poznaje i proces računalnog modeliranja i proces programiranja te barem osnove proizvodnog procesa kojeg modelira, ali i metode, tehnike i alate operacijskih istraživanja koje se koriste za potrebe analize podataka, optimiziranja, odlučivanja i sl. Nadalje, složenost i netipičnosti brodograđevnog proizvodnog procesa te činjenica da se brodograđevni proizvod i proizvodni proces relativno sporo mijenjaju, u usporedbi s nekim drugim industrijama, jest razlog zašto primjena simulacijskog modeliranja za projektiranje brodograđevnih procesa još nema toliko široku primjenu koliko bi se možda očekivalo, [86], [90]. Dodatna otegotna okolnost je ta što je brodograđevni menadžment često vrlo konzervativnog duha, a što je možda sasvim razumljivo, s obzirom da se u brodograđevnom poslu radi o iznimno velikih novčanim sredstvima pa tako i analognim

rizicima. Česti argumenti u tom smislu su neki od sljedećih; "naša tvrtka je premala ili prevelika", "naš proces je prejednostavan ili presložen" i "mi smo već uređeni dovoljno dobro i ne mislimo da bi profitirali dovoljno primjenom simulacije", itd. Stoga, iako određena primjena simulacijskog modeliranja u brodograđevnim proizvodnim procesima postoji, pa se mogu pronaći radovi koji daju pregled mogućnosti primjene simulacijskog modeliranja u brodograđevnim proizvodnim procesima, [91] i [92], a postoje i neka istraživanja koja se bave analizom postojećeg dijela brodograđevnog proizvodnog procesa, [93] i [94], veća se primjena simulacijskih metoda, a pogotovo za projektiranje i optimiziranje potpuno novog brodograđevnog proizvodnog procesa, tek očekuje, [77]. Pri tome i na temelju osobnih spoznaja u dosadašnjem radu i istraživanju mogu ustvrditi da zasigurno postoji potreba za primjenom znanstveno utemeljene simulacijske metode kao temelja za projektiranje brodograđevnog proizvodnog procesa kao potpore u odlučivanju prilikom uvođenja novih tehnologija u svrhu projektiranja boljeg, uvjetima brodogradilišta podobnijeg proizvodnog procesa, [43], [59], [52], [42], [87]. U tom kontekstu, za razliku od nekih sličnih primjera iz prethodno spomenutih referenci, predmet ovoga rada biti će osnivanje i prijedlog primjene osnovane metodologije za projektiranje potpuno novog brodograđevnog procesa temeljem metode simulacijskog modeliranja kao podrške u procesu investiranja i projektiranja nove tehnologije. Pri tome će se simulacijskim modeliranjem vrednovati inicijalno predloženo projektno rješenje s fokusom na postizanje ciljane propusnosti koja je veća od postojeće linije. Također, u ovom radu simulacijsko modeliranje će se koristiti kao dio cjelovite metodologije za projektiranje nove linije za obradu profila, te će se primijeniti i postupak optimiziranja parametara linije ako bi se performanse linije dodatno poboljšale i prilagodile promatranom brodogradilištu.

### **3.2.2 Prijedlog metode simulacijskog modeliranja kao osnove za projektiranje brodograđevnog procesa**

Temeljem analize i primjene teorijskih postavki te raspoloživih rezultata dosadašnjih istraživanja, analize brodograđevnog procesa, postavljenog problema i ciljeva istraživanja, kao i na dosadašnjoj praktičnoj primjeni metoda i alata operacijskih istraživanja na problematici brodograđevnog proizvodnog procesa, a poglavito metode simulacijskog modeliranja, u ovom istraživanju :

**Predlaže se primjena metode simulacijskog modeliranja kao osnova metodologije za projektiranje brodograđevnih proizvodnih procesa.**

brodograđevnog, proizvodnog procesa kao potpore u procesu odlučivanja glede investiranja u novu tehnologiju, putem testiranja i evaluacije različitih projektnih alternativa, analize i optimiziranja projektnog rješenja koji najviše odgovara promatranom brodogradilištu unutar zadanih ograničenja. Na taj način, očekuje se da će rizici u postupku odlučivanja pri investicijskom projektu ulaganja u novu tehnologiju biti znatno smanjeni jer je simulacijskim modelom omogućeno testiranje svih elemenata nove linije, njihove funkcionalnosti, utjecaja i interakcije s ostalim elementima postojećeg sustava u koji se nova tehnologija ugrađuje i to prije nego li se konačna odluka gleda investicije donese, što konačnu odluku čini pouzdanijom i bolje prilagođenu promatranom brodogradilištu.

Nadalje, prema utvrđenom stupnju odnosno obimu moguće implementacije, predložena metodologija će se provjeriti primjenom u stvarnom proizvodnom procesu u pogonima promatranog brodogradilišta nakon realizacije projekta linije. Za modeliranje i simuliranje proizvodnog procesa koristiti će se diskretno simulacijsko modeliranje temeljem objektno orijentiranog računalnog programskog jezika, *em-Plant*, [95].

### 3.3 Simulacijsko modeliranje

Polaznu osnovu simulacijskog modeliranja čini simulacijski model kao pojednostavljeni ili idealizirani opis procesa kojim se opisuje ponašanje stvarnog procesa, [96]. Za razliku od analitičkog modela, računalno podržan simulacijski model je pregledan i lakše se kontrolira, te omogućuje da se teorija i pretpostavke odmah provjere na računalu.

Smisao osnivanja simulacijskog modela je u tome što je sa stvarnim sustavom često ili pak vrlo skupo i rizično eksperimentirati. Također, ukoliko je riječ o novom dizajnu onda sustav još niti ne postoji. Računalni model promatranog sustava tada dolazi do punog izražaja, naime znatno je manje rizično takav eksperiment izvršiti na računalnoj prezentaciji stvarnog sustava nego u stvarnosti, a na osnovu analize donijeti optimalne zaključke te ih sa znatnom manjom razinom rizika implementirati u stvarni sustav.

Nadalje, ovisno o tome koje je vrste sustav (opisano u poglavlju 2.1) odnosno proizvodni proces koji je predmet istraživanja, te će vrste biti i njegov računalni simulacijski model. Pri tome, kod modeliranja proizvodnih procesa, u pravilu se koristi diskretna simulacija, jer se karakterističan proizvodni proces promatra kao dinamički sustav s diskretnom karakteristikom događaja u vremenu. Slučaj koji će se analizirati u ovom istraživanju, kao primjer za provjeru je robotska linija za obradu profila kao dio

brodograđevnog proizvodnog procesa, koji je dinamički, diskretni sustav pa će takav biti i njegov simulacijski model.

### 3.3.1 Diskretni simulacijski model

Diskretnim simulacijskim modelom opisuje se proces diskretnog karaktera, a kakav je i brodograđevni proizvodni proces. Jedna od najznačajnijih osobina diskretnog simulacijskog modeliranja je sposobnost da oponaša dinamiku stvarnog sustava što neki drugi matematički, fizički i sl. modeli ne mogu. Pri tome, osnovni elementi diskretne simulacije su slijedeći, [18]:

- model,
- entiteti (objekti),
- obilježja (atributi),
- aktivnosti,
- lista/skup
- događaji,
- stanja.

**Model** kao glavni element simulacijskog modeliranja se sastoji od logičkih i matematičkih relacija koje opisuju stvarni sustav temeljem stanja sustava, entiteta sustava i njihovih atributa i aktivnosti.

**Entiteti** su elementi sustava kao što su strojevi, predmeti rada, oprema za rukovanje, itd. Postoje stalni i privremeni entiteti. U modelu proizvodnog sustava strojevi i uređaji su stalni entiteti, a obradni elementi su privremeni entiteti.

**Obilježja (atributi)** su značajke entiteta, kao što je vrsta stroja, dimenzije, aktivnost. S pomoću njih se mogu međusobno razlikovati tipovi entiteta.

**Aktivnosti** služe za definiranje zadataka koje entiteti trebaju obaviti. Značajka aktivnosti je ta da se zna koliko će dugo ona trajati. U tehnološkom procesu primjer aktivnosti je obradni proces na strojevima.

**Lista/Skup** je grupa entiteta uređena po određenom kriteriju, može biti privremena. Može se govoriti i o skupu zadataka definiranih u obliku liste.

**Događaji** su trenuci u vremenu kada se neka promjena dogodi u modelu, odnosno kada počinje ili završava jedna ili više aktivnosti. Za vrijeme trajanja aktivnosti stanje entiteta smatra se konstantnim.



**Stanje** je skup varijabli koje sadržavaju dovoljno informacija nužnih da se opiše trenutno stanje procesa. Također, to je izraz koji se koristi da bi se ukazalo na stanje entiteta, odnosno nekog drugog dijela modela.

Pri tome, neki od osnovnih izlaznih rezultata simulacijskog modela su primjerice brojači (daju broj elemenata nekog tipa ili broj nekog događaj u nekom vremenu i sl.); izvještaji (bilježe se primjerice ekstremne vrijednosti, srednje vrijednosti, standardne devijacije, itd.); iskorištenja (bilježi se vrijeme tokom kojeg je neki element u modelu zaposlen ili nije); distribucija ulaznih i izlaznih varijabli (bilježe se događaji, kretanja i stanja varijabli, i resursa u modelu), itd.

### **3.3.2 Područja i razlozi primjene simulacijskog modeliranja u brodograđevnom proizvodnom procesu**

Osnovni razlog primjene simulacijskog modeliranja na brodograđevni proizvodni proces jest osiguranje relevantnih podataka menadžmentu temeljem kojih će donositi pouzdanije odluke vezane za proizvodni proces. Naime, temeljem računalno osnovanog diskretnog simulacijskog modela promatranog procesa, projektant može promatrati utjecaj svake promjene (ulazni parametri, parametri sustava, itd.) na sustav i to u vrlo kratkom vremenu na monitoru računala, u 3D prikazu i numerički. Takav proces, tijekom kojeg se razni parametri sustava mijenjaju i učinci tih promjena promatraju, rezultira setom scenarija između kojih se izabire najpovoljniji, prema prije utvrđenim kriterijima, te se preporuča menadžmentu kao rješenje. Načelno, postoje tri temeljne potrebe koje se primjenom simulacijskog modeliranja mogu uspješno rješavati:

- 1. Potreba za rješavanje problema projektiranja gdje je matematička analiza suviše kompleksna ili ne daje rješenje.**
- 2. Potreba da se stekne novo znanje i razumijevanje karakteristika promatranog proizvodnog procesa.**
- 3. Potreba da se unaprijed predvide situacije koje još ne postoje u stvarnosti.**

Navedeno u praksi znači da se metoda simulacijskog modeliranja može generalno prezentirati kroz nekoliko temeljnih primjena kako je prikazano u tablici 9.

**Tablica 9.** Temeljne primjene metode simulacijskog modeliranja

1.	<b>Projektiranje novih proizvodnih procesa</b>	Analiza i vrednovanje velikog broja različitih scenarija definiranja novog procesa, glede izbora i rasporeda opreme, definiranja parametara opreme, definiranja prostora i skladišta, tokova materijala, mehanizacije, radne snage i tome sl. Pri tome, cilj je novi projektirani proces što bolje izbalansirati glede postavljenih zahtjeva uz što manje troškove.
2.	<b>Unapređenje postojećeg procesa</b>	Analizu i ispitivanje učinaka različitih modifikacija u procesu, te interakcije s postojećim elementima sustava, a s ciljem poboljšanja cjelokupnog procesa. U tom kontekstu, veliku pomoć pruža mogućnost provođenja <i>what if</i> scenarija proizvodnog procesa u relativno kratkom vremenu i bez zadiranja u stvarni sustav. Na taj način se mogu prepoznati nedostaci procesa te ciljano i sa bitno umanjenim rizikom investirati u dogradnju i poboljšanje proizvodne linije u ciljanim segmentima.
3.	<b>Planiranje proizvodnje</b>	Planiranje i kontrola proizvodnog procesa za neko kratkoročno, srednjoročno ili dugoročno buduće vrijeme. Na taj način menadžment postaje svjestan potencijalnih problema u proizvodnji i prije nego se oni dogode. Također, moguće je proizvodni proces unaprijed prilagoditi takvim novim okolnostima u procesu.

Pri tome su neki od osnovnih razloga zašto se simulacijsko modeliranje sugerira kao prikladna metoda za primjenu u brodograđevnim proizvodnim procesima, [97]:

- Simulacijski je model relativno vjeran prikaz realnog sistema;
- Simulacijskim modeliranjem povećava se efikasnost, iskoristivost prostora, radne snage i ostalih resursa;
- Simulacijskim modeliranjem smanjuje se ponavljanje radova i količina škarta;
- Simulacijskim modeliranjem moguće je uočavanje "uskih grla" na modelu prije nego se oni dogode u stvarnom procesu;
- Simulacijsko modeliranje može se koristiti za eksperimentiranje sa različitim inačicama novog dizajna (*what-if* scenariji), prije konačne odluke o tome u što će se investirati i bez zadiranja u stvarni proces;
- Simulacijsko modeliranje može služiti za analizu ili unapređenju postojećeg stvarnog procesa provođenjem eksperimenata na modelu procesa;
- Simulacijsko modeliranje se može koristiti za verifikaciju predloženih rješenja nekog problema u proizvodnji, ili za eksperimentiranje sa nekim kritičnim elementima u njihovom kritičnom području rada;

- Simulacijsko modeliranje raspolaže mogućnostima animacije pa se proizvodni proces može vizualizirati i promatrati na računalu u ovisnosti o vremenu;
- Računalni simulacijski model može služiti za planiranje, nadziranje i predviđanje proizvodnje ovisno o aktualnim uvjetima u proizvodnji, itd.

Zaključci doneseni primjenom metode simulacijskog modeliranja i eksperimentiranja mogu biti od velike pomoći pri donošenju odluka i prijedloga glede pitanja vezanih uz brodograđevni proizvodni proces, primjerice za:

- definiranje kapaciteta elemenata proizvodnog sustava,
- definiranje odgovarajućih veličina i broja međuskladišta,
- optimiranje parametara strojeva i alata proizvodnog procesa,
- definiranje potrebnih resursa za ispunjavanje planiranog kapaciteta, itd.

U konačnici, očekuje se da primjena simulacijskog modeliranja rezultira poboljšanjem u tri osnovna segmenta svakog proizvodnog procesa pa tako i brodograđevnog, odnosno:

- Skraćuje vrijeme proizvodnje;
- Značajno smanjuje ponavljanje radova; i
- Poboljšava upotrebu i efikasnost radne snage i resursa.

Sve na kraju rezultira efikasnijim, ekonomičnijim i fleksibilnijim brodograđevnim proizvodnim procesom koji će na svjetskom tržištu biti konkurentniji i prilagodljiviji.

### 3.4 Simulacijski softveri

Računalno simulacijsko modeliranje, samim imenom podrazumijeva da se promatrani proizvodni proces treba modelirati na način razumljiv računalu, što znači u nekom računalnom programskom jeziku odnosno softveru. Program ili softver sjedinjuje sve elemente izvedene iz promatranja stvarnog sustava i pretvara ih u instrukcije pomoću kojih računalo pokreće proces simulacije, a instrukcije piše istraživač/projektant te u njih ugrađuje teoriju o procesu i njegovu izvođenju. Simulacija u ovom kontekstu znači

izvršenje tog programa odnosno instrukcija, a program je u stvari računalni model stvarnog sustava, [98].

Do sada je u ovom radu više puta bilo spomenuto da će se za potrebe simulacijskog modeliranja u ovom istraživanju koristiti softver *eM-Plant*, [95]. To je moderan i sofisticiran diskretni simulacijski softver temeljem na modernom objektno orijentiranom simulacijskom jeziku *SimTalk*, a koji svoju osnovu ima u jeziku *C++*. Međutim, takvom modernom simulacijskom softveru prethodio je određeni povijesni razvoj, od prvih simulacijskih programskih jezika do danas. Stoga će u ovom poglavlju ukratko biti prikazan razvoj simulacijskih programskih jezika odnosno simulacijskih softvera.

### 3.4.1 Simulacijski programski jezici prve generacije

S obzirom na prepoznate potencijale simulacije kao alata za projektiranje, analizu, kontrolu i unapređenje procesa, razumljivo je došlo i do ubrzanog razvoja simulacijskih jezika i potom softvera koji se temelje na tim jezicima.

Počeci datiraju u razvoju prvih općih simulacijskih jezika, kao što im i samo ime sugerira, opće namjenski jezici imaju najširu primjenu i mogu se primijeniti na različite probleme i procese, međutim zbog te svoje širine, nedostaje im specifičnih rješenja potrebnih za određene posebne probleme i primjene. Opći simulacijski jezici se najčešće primjenjuju za proizvodne procese, bilo diskretne bilo kontinuirane.

Tijekom 70tih godina počeli su se pojavljivati prvi opći simulacijskih jezici među kojima su jedni od najraširenijih bili procesno orijentirani jezici za modeliranje diskretnih sustava kao što su *GPSS* (eng. General Purpose Simulation System), [98] i *Q-GERT* [99]. *GPSS* je jezik u kojem se korisnik koristi prethodno programiranim funkcijama, objektima i vezama među njima, pravilnom upotrebom kojih se relativno jednostavno mogao opisati promatrani proces. Na taj se način određeni sustav mogao puno brže opisati nego koristeći se s nekim od klasičnih programskih jezika u to vrijeme, poput recimo *Fortrana*.

Međutim, u slučaju složenijih sustava, s ovakvim je pristupom ipak bilo poteškoća. S jedne strane zbog toga što se jednostavno nisu mogli opisati svi detalji složenih sustava s takvim jezikom koji je jednostavno nedovoljno fleksibilan i prilagodljiv potencijalno specifičnim potrebama projektiranja, a s druge strane ti su jezici bili dosta sporiji od klasičnih programskih jezika. *Q-GERT* je principijelno isti kao i *GPSS*, ali nešto moderniji i efikasniji, te je imao mogućnost da se u njega naknadno programira specifični korisnički definiran kod napisan u *Fortranu*. Na taj se način uvelike proširivala mogućnost *Q-*

*GERTa*, te njegova funkcionalnost više nije ovisila samo o ugrađenim funkcijama. Pri tome, *GPSS* i *Q-GERT* su bili jednostavni i brzi za učenje i korištenje, ali ograničenih mogućnosti i spori kada je bilo riječ o složenijem sustavu te jednostavno nisu bili dovoljno fleksibilni i svestrani da bi se sa njima mogli opisati sve složeniji proizvodni procesi.

### 3.4.2 Simulacijski programski jezici druge generacije

Dakle, kako je spomenuto, jezici prve generacije prvenstveno nisu bili dovoljno fleksibilni i svestrani za opisivanje složenih proizvodnih procesa. Za takve sve složenije procese, razvili su se diskretni simulacijski jezici. To su jezici koji opisuju sustav kroz prepoznavanje i opisivanje diskretnih događaja u procesu. To su bili tzv. „događajno“ orijentirani jezici. Takav je jezik bio *SIMSCRIPT*, on je bio potpuno programski, simulacijski jezik i nije imao nikakve prethodno programirane i ugrađene objekte, funkcije i veze među njima, ali je zato po svojim programskim mogućnostima bio ravan *Fortranu*, [100]. Takav jezik promatra sustav temeljem osnovnog elementa koji prolazi kroz sustav te njegovih atributa i prepoznavanja trenutaka promjena stanja sustava, koji se pojavljuju kroz vrijeme. Drugi "događajno" orijentiran jezik je *GASP IV* [101]. *GASP IV* je po svemu sličan kao i *SIMSCRIPT*, ali je bio temeljen na tada pretežno korištenom jeziku *Fortranu* koji je ujedno imao i neke elementarne grafičke mogućnosti, pa je i zbog toga *GASP IV* bio popularniji. Pored toga, *GASP IV* je po prvi puta unio i mogućnost modeliranja kontinuiranih sustava. *SIMSCRIPT* i *GASP-IV* su bili potpuno programski jezici, odnosno već softveri, kojima su se mogli modelirati i diskretni i kontinuirani sustavi, ali su bili teški za učenje, programiranje i modeliranje je bilo dugotrajno i komplicirano. Stoga je trebalo razviti jezik koji bi obuhvaćao dobre strane i jednih i drugih. To je bio *SLAM II* [102], [103] i [104], diskretni simulacijski jezik temeljen na najboljima iz oba pristupa, na *Q-GERTu* i *GASP IV*. Nadalje, za simulaciju systemske dinamike, razvijen je i jezik *DYNAMO*, za kojeg postoje primjeri njegove primjene na izradi računalnog simulacijskog modela životnog vijeka broda, [105].

### 3.4.3 Moderni simulacijski softveri

Pojavom sve snažnijih računala u 90tima i modernih, objektno orijentiranih programskih jezika općeg tipa i simulacijski su jezici evoluirali u napredniju formu, a to su

softveri za diskretno simulacijsko modeliranje temeljeni na objektnim programskim jezicima. Naime, to su softveri koji se temelje ne nekom od modernih simulacijskih jezika, a koji se pak temelje na nekom od modernim objektnih programskih jezika općeg tipa, kao C++.

Takvi softveri osim što posjeduju mnoštvo ugrađenih objekata, funkcija, alata operacijskih istraživanja, biblioteka i mogućnosti, posjeduju naravno i snažne mogućnosti programiranja, čime se praktički neograničeno mogu proširiti mogućnosti odnosno njegove prilagodbe specifičnim zahtjevima u konkretnom projektu. Na taj način softveri postaju gotovo neograničeno fleksibilni i posebno primjenjivi za tretiranje raznovrsnih problematika koje mogu proizaći iz postupka projektiranja, upravljanja i planiranja proizvodnih procesa. Dodatno, takvi moderni softveri posjeduju i mogućnost 3D vizualizacije što je velika pomoć u nizu situacija poput analize proizvodnog sustava, razumijevanja pojava u sustavu, približavanja problema i rješenja menadžmentu i proizvodnim inženjerima, i tome sl.

Nadalje, u takvim softverima moguće je *pokrenuti* simulaciju, pri tome, simulacija se može izvoditi sa ili bez animacije. Moguće je promijeniti bilo koji ulazni podatak, ili parametar modela te praktički odmah promatrati i analizirati posljedice izvršenih promjena, što je vrlo važno kod projektiranja procesa, analiziranja ponašanja i problema u procesu te svakodnevnih optimizacija i planiranja proizvodnje.

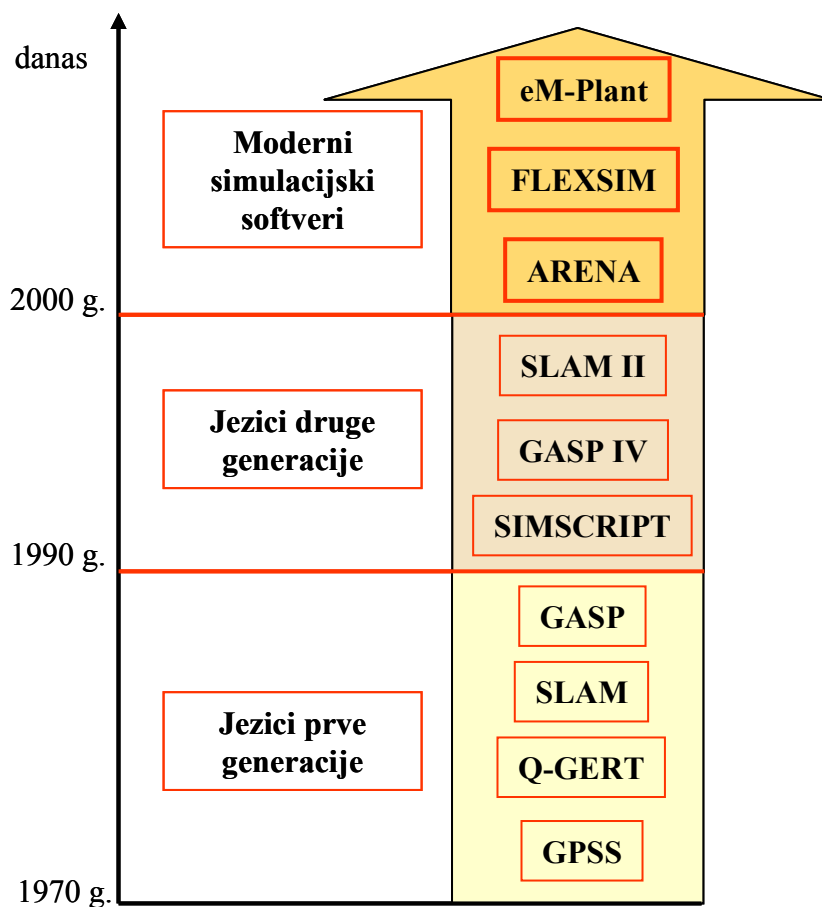
Poslije simuliranja procesa, očitani izlazni podaci se organiziraju i prezentiraju odgovarajućim statističkim podacima, raznim dijagramima, tablicama i sa bilo čime što je od interesa menadžmenta. Naime, jednom osnovani simulacijski model može pružiti praktički neograničen broj podataka, pitanje je ciljeva i svrhe projekta koji će se podaci obuhvatiti i analizirati. Alati za prezentaciju omogućavaju efektan prikaz parametara modela i rezultata simulacije. Neki od poznatijih i raširenijih takvih softvera su slijedeći:

- *Arena*, [106],
- *ProModel*, [107],
- *FlexSim*, [108] i
- *eM-Plant*, [95].

Među navedenima, softver korišten u ovom istraživanju je *eM-Plant*, diskretni simulacijski softver temeljen na vlastitom objektnom programskom jeziku *SimTalk*. Takvi, diskretni simulacijski softveri su optimirani za opisivanje diskretnih sustava te se kao takvi usmjeruju ka aktivnostima, događajima i procesima u sustavu kao osnovnim elementima za definiranje dinamičkog ponašanja diskretnog sustava, [98].

U objektno orijentiranom softveru, za razliku od tradicionalnih softvera, određeni atributi, parametri, rutine i sl., čine tzv. osnovnu klasu (eng. *class*) određenog tipa, npr. stroj za rezanje limova. Temeljem te osnovne klase, kreiraju se specifični objekti (eng. *object*), koji su osnovi ta klasa od koje su nastali, ali se razlikuju u nekim elementima, npr. stroj za plinsko rezanje limova i stroj za plazma rezanje limova. Jednom definirana klasa ili objekt može se pohraniti i koristiti i u drugim modelima što čini pristup modeliranja jednostavnijim i fleksibilnijim. Pri tome su osnova takvog modela statički i dinamički elementi odnosno događaji, aktivnosti i resursi vezani uz njih, gdje se svakom događaju i aktivnosti pridružuje njegov početak, vrijeme trajanja i završetak, [109]. Nadalje, događaj je trenutna promjena stanja nekog elementa, a aktivnost je logički povezan skup događaja. Kraći pregled simulacijskih jezika i na njima temeljenih specijaliziranih softvera te njihovih osnovnih karakteristika i vrijednosti može se vidjeti i u radovima [110] i [111].

Na slici 16 pojednostavljeno je prikazan razvojni put simulacijskih jezika odnosno softvera od početka njihova razvoja do danas.



Slika 16. Shematski prikaz razvoja simulacijskih jezika odnosno softvera

## 4. Metodologija projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa temeljem predložene metode

Postupak projektiranja proizvodnog procesa temeljem simulacijskog modeliranja kao osnove predložene metodologije, podrazumijeva poduzimanje niza aktivnosti kojima se obuhvaćaju tri osnovna elementa ovog postupka, a to su stvarni proces, model stvarnog procesa i računalo na kojem je model izrađen i nad kojim se provode eksperimenti. Pri tome, stvarni proces se može promatrati kao izvor podataka za kreiranje modela. Model se pak sastoji od objekata koji se definiraju varijablama i atributima. On je apstraktni prikaz sustava s njegovom strukturom, elementima i njihovim međuzavisnostima. Računalo, nadalje, predstavlja uređaj za izvršenje modela, koji temeljem ulaznih podataka provodi ponašanje modela ovisno o vremenu. Međutim, prije poduzimanja samog postupka projektiranja, temeljem simulacijskog modeliranja, potrebno je osigurati i utvrditi neke elementarne preduvjete.

### 4.1 Preduvjeti za projektiranje

Preduvjeti koje treba utvrditi, mogu se podijeliti na osnovne preduvjete koji se tiču uopće donošenja odluke o primjeni simulacijskog modeliranja te na one koji se odnose na utvrđivanje i definiranje opće strukture projektiranja procesa temeljem simulacijskog modeliranja kao osnove metodologije.

#### 4.1.1 Osnovni preduvjeti

Osnovni preduvjet za poduzimanje postupka projektiranja temeljenog na simulacijskom modeliranju jest postojanje takvog problema na rješavanju kojeg će prednosti simulacijskog modeliranja doći najviše do izražaja te u isto vrijeme ne postoji neka jednostavnija, brža i jeftinija metoda za postizanje istog cilja. Naravno, treba uzeti u obzir i specifične želje naručitelja projekta koja ne moraju uvijek biti u skladu s gore navedenim osnovnim preduvjetima, ali tada to treba naglasiti na vrijeme.

U tom smislu, neki od osnovnih preduvjeta koji pogoduju odluci za primjenu simulacijskog modeliranja su sljedeći:

- Traži se relativno vjeran prikaz/model stvarnog procesa;



- Potrebno je provesti mnogobrojne eksperimente sa stvarnim procesom ili provjeriti mnoge inačice novog dizajna;
- Postoji potreba za rješavanje uočenih problema ili nedoumica u stvarnom procesu, ali ne može priuštiti eksperimentiranje sa njime ili ometanje proizvodnog procesa;
- Proizvodni proces treba vizualizirati u 2D ili 3D perspektivi kako bi se njegovo ponašanje analiziralo na računalu u ovisnosti o vremenu;

Simulacija se, međutim, ne bi trebala koristiti:

- ako se problem može riješiti "zdravim razumom",
- ako se problem može jednostavnije i brže riješiti analitički,
- ako se problem može jednostavnije riješiti direktnim eksperimentom,
- ako troškovi izrade simulacijskog modela nadmašuju potencijalne uštede,
- ako za simulacijski model ne postoje potrebni relevantni podaci ili je do njih nemoguće doći,
- ako je promatrani sustav presložen ili se zbog specifičnih razloga ne može definirati.

Nadalje, za karakteristične značajke i čimbenike promatranog proizvodnog procesa poželjno je analizirati i predočiti moguće formate ulaznih podataka za simulacijski model, te procijeniti da li će biti dostupni kao takvi ili ako ne, kakvi jesu dostupni. Prikaz nekih od osnovnih ulaznih značajki i čimbenika u simulacijski model te njihovi prikladni formati slijede u tablici 10.

**Tablica 10.** Formati značajki/čimbenika proizvodnog procesa za ulaz u simulacijski model

Značajka/čimbenik	Format značajke/čimbenika za ulaz u simulacijski model
<b>Kapacitet</b>	Kapacitet se može izraziti, ovisno o promatranom objektu, kao: - broj obradnih jedinica u smjeni/mjesecu/godini za promatrani objekt, proces ili sl. - maksimalni broj elemenata koji se može smjestiti u neko skladište, transporter ili stroj, itd.
<b>Tok materijala</b>	Tok materijala definira se, prema prethodno definiranom toku procesa, tako da mu se utvrde pravci kretanja i njegovi intenziteti, odnosno količine materijala.
<b>Površine</b>	Površine treba definirati njihovim dimenzijama, površinom i

	pozicijom u proizvodnom procesu. Ukoliko se radi o skladištima, treba definirati i količine materijala koje mogu zaprimiti.
<b>Mjerenje procesa</b>	Treba definirati pozicije od posebnog interesa u proizvodnom procesu koje će se nadzirati odnosno mjeriti.
<b>Balansiranje procesa</b>	Trebaju se definirati vremena obrada i transporta koja će definirati početno stanje proizvodnog procesa, a koje se nadalje u modelu analizira i prema potrebi varira.
<b>Planiranje proizvodnje</b>	Treba osigurati osnovni plan proizvodnje promatranog proizvodnog procesa. Uobičajeno se za odabrani asortiman definira ciljano vrijeme obrade.

#### 4.1.2 Utvrđivanje opće strukture projektiranja procesa temeljem simulacijskog modeliranja

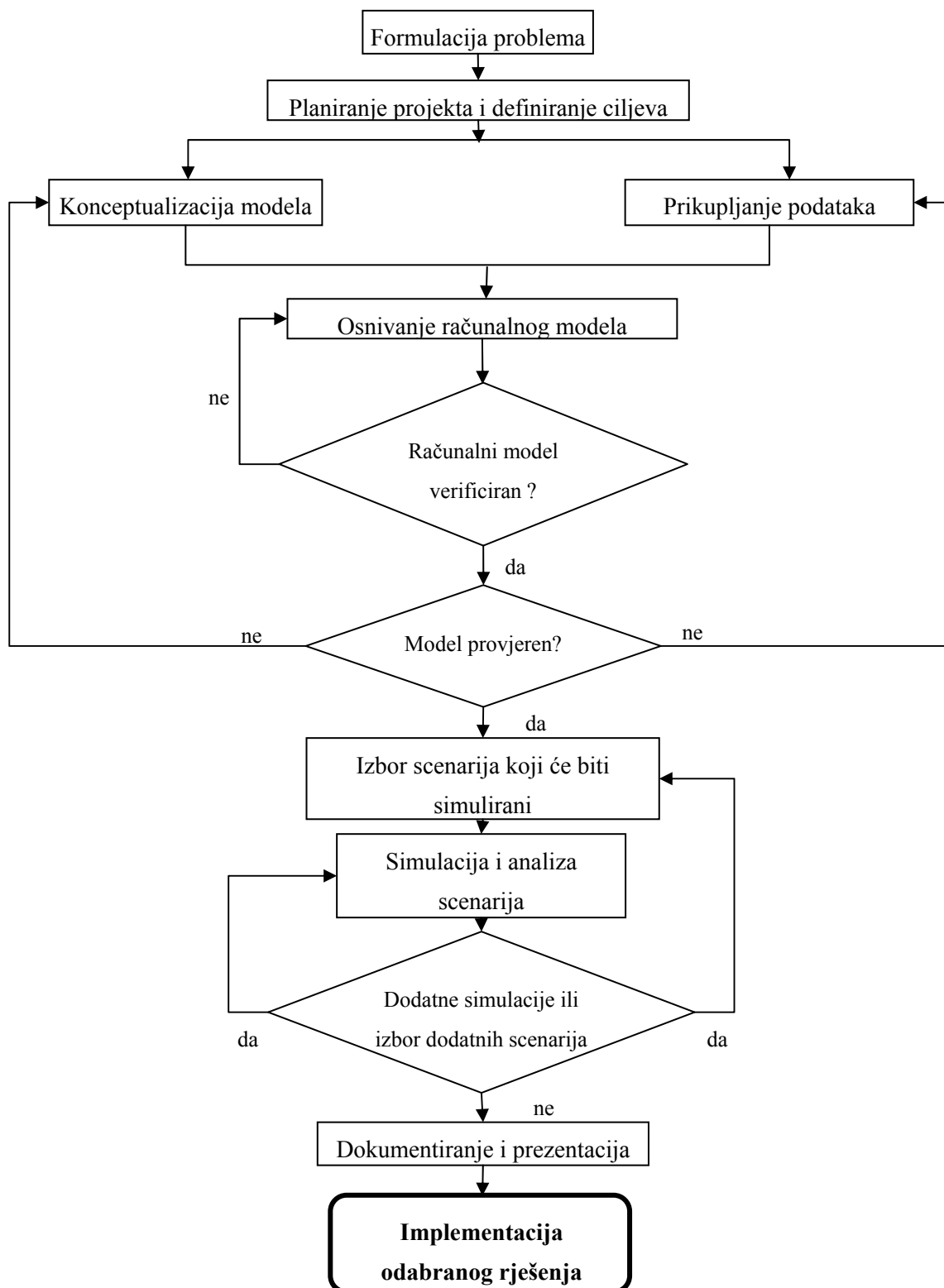
Pored osnovnih preduvjeta, treba prema osnovnoj strukturi postupka simulacijskog modeliranja pokušati sa što većom pouzdanošću (iako je to u ranoj fazi projekta nemoguće učiniti potpuno pouzdano) procijeniti da li je izgledno da će se svaki od koraka moći obaviti. Pri tome, u općenitom smislu, neovisno o tome na koji tip problema se metoda simulacijskog modeliranja primjenjuje, osnovni koraci su, a kako je prikazano i blok dijagramom na slici 17, slijedeći, [24]:

- **Formulacija problema;** Svaki projekt treba otpočeti sa jasnom definicijom problema koji se treba riješiti. Vrlo je važno jasno odrediti što je problem, te svi sudionici u projektu moraju razumjeti i prihvatiti takvu definiciju problema.
- **Planiranje projekta i definiranje ciljeva;** ciljevi su u osnovi niz pitanja na koja je simulacijom potrebno odgovoriti kako bi se definirani problem riješio. U ovoj fazi treba kreirati i opći plan projekta, definirati nekoliko projektnih alternativa te definirati metode s kojima će se pojedini scenariji/alternative valorizirati.
- **Konceptualizacija modela;** sustav za kojeg se model radi, može biti vrlo kompleksan i obilovati velikom količinom elemenata, parametara, podataka od kojih svaki nije jednako bitan, ili uopće nije bitan, za rješavanje problema. Bitno je na računalni model prenijeti suštinu promatranog sustava. U tom smislu potrebno je i

istaknuti ključne parametre sustava koji direktno utječu na rješavani problem, te ostale koji utječu manje ili indirektno. Nadalje, potrebno je odlučiti koji će se parametri izostaviti kao nerelevantni ili su slabog utjecaja. U ovoj fazi je vrlo važno uključiti stručnjaka, inženjera zaposlenog na promatranom sustavu koji bi s njime trebao biti najbolje upoznat, a kako bi bio od pomoći u donošenju ovih odluka.

- **Prikupljanje podataka;** prikupljanje podataka je kontinuiran proces koji traje praktički od početka osnivanja projekta pa do kraja. Naime, kako se model razvija često dolazi do potrebe za novim podacima koji se nisu mogli predvidjeti u ranijim fazama. S obzirom da je prikupljanje podataka opsežan i dugotrajan posao, poželjno ga je započeti što je ranije moguće.
- **Osnivanje računalnog modela;** nakon što su definirani problem i ciljevi, projekt se isplanirao i koncept modela osmislio te inicijalni podaci prikupili, kreće se u osnivanje modela na računalu, obično u jednom od specijaliziranih softvera za tu namjenu, u ovom slučaju *eM-Plant*.
- **Verifikacija računalnog modela;** ova je faza u suštini provjera da li računalni model funkcionira kako se očekuje. Dakle, da li je stabilan, da li se ponaša logički, da li su rezultati razumni ima li grešaka u kodu i sl.
- **Provjera simulacijskog modela;** U ovoj fazi je posebno bitna suradnja sa ekspertnim timom te se zajednički procjenjuje kvaliteta i logika osnovanog modela. U tom se procesu računalni model doraduje, unapređuje, rješavaju se uočene greške, nelogičnosti i nepravilnosti. Postupak se ponavlja dok kvaliteta i točnost računalnog modela ne dostigne prihvatljivu razinu za problem koji se rješava. Valja naglasiti da je ovo vjerojatno i najvažniji korak u čitavom procesu, jer ukoliko se u ovoj fazi "propusti" model koji je loš ili neispravan, svaka slijedeća faza će biti neispravna, a rješenja i zaključci krivi odnosno neprimjenjivi.
- **Izbor scenarija za simulaciju;** računalnim modelom može teoretski biti simuliran beskonačan broj scenarija, međutim, u praksi potrebno je izabrati razuman broj projektnih alternativa koje će biti simulirane, a koje će to biti ovisi o mnogo čimbenika, primjerice, o problemu koji se rješava, o ciljevima, o zaključcima izvedenih iz već provedenih simulacija na sličnim scenarijima i sl.

- **Simulacija i analiza scenarija;** odabrani scenariji se potom simuliraju, promatraju, rezultati analiziraju i izvode unapređenja i zaključci.
- **Dodatne simulacije istih scenarija ili novih scenarija;** temeljem prethodnog koraka se odlučuje da li je potrebno provesti još simulacija istog scenarija ili je potrebno uključiti neki novi scenarij.
- **Dokumentiranje i prezentacija;** Proces izrade računalnog modela je poželjno kvalitetno popratiti dokumentacijom kako bi i nakon završetka projekta postojale informacije kako je model napravljen, a što može biti od velike pomoći u slučaju potrebe za korekcijama istog ili pri projektiranju nekog novog, sličnog, sustava.
- **Implementacija odabranog rješenja;** uspjeh implementacije naravno ovisi o kvaliteti svih prethodnih koraka. Dobra komunikacija tijekom čitavog projekta između projektanta modela i korisnika stvarnog sustava, povećava kvalitetu faze implementacije rješenja. Nakon implementacije slijedi potvrda modela i dorade po potrebi.



Slika 17. Koraci u postupku simulacijskog modeliranja

## 4.2 Postupak predložene metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa

Temeljem prethodno opisane općenite strukture postupka simulacijskog modeliranja, za potrebe ovog istraživanja, postupak metode simulacijskog modeliranja kao osnove metodologije za projektiranje i vrednovanje potpuno novog proizvodnog procesa, definira se u sljedećih sedam koraka:

1. **Definiranje problema i ciljeva projekta;** upoznavanje i razumijevanje sa procesom koji će se modelirati te definiranje ciljeva i rokova.
2. **Definiranje ulaznih podataka i idejno osmišljavanje modela;** prikupljanje potrebnih podataka o proizvodu, procesu i proizvodnoj opremi i ostalim resursima relevantnim za projekt te idejno osmišljavanje budućeg računalnog modela.
3. **Osnivanje računalnog simulacijskog modela;** osnivanje simulacijskog modela promatranog proizvodnog procesa.
4. **Verifikacija simulacijskog modela:** procjena vjerodostojnosti i realnosti modela glede realizacije postavljenih ciljeva. Nakon što se model kao takav potvrdi može se krenuti u ostvarivanje projektnih ciljeva te potom i u implementaciju postignutih rješenja i zaključaka projekta.
5. **Analiza i unapređenje simulacijskog modela;** analizira se inicijalni scenarij predložene konfiguracije linije, te se po potrebi uvode novi scenariji i postavke značajki linije s ciljem postizanja projektnih zadatka ili unapređenja.
6. **Dokumentiranje provedbe i rezultata;** rezultati se moraju pregledno i razumljivo dokumentirati s naglaskom na rezultate vezane uz projektni zadatak.
7. **Implementacija projektnog rješenja;** konačno rješenje se implementira u stvarni proces te se po potrebi osnovani model doraduje.

U nastavku, svaki će se od ovih sedam koraka postupka simulacijskog modeliranja novog, još nepostojećeg, proizvodnog procesa pojedinačno opisati, ta na kraju i dodatno

objasniti kroz konkretan primjer projektiranja, vrednovanja i unapređenja nove robotske linije za obradu profila.

#### **4.2.1 Definiranje problema i ciljeva projekta proizvodnog procesa**

Osnovni cilj ove faze jest analizirati postojeći proces, definirati probleme i njihove uzroke te ciljeve projektiranja novog brodograđevnog proizvodnog procesa.

##### **4.2.1.1 Zadaci**

Osnovni zadaci ove faze jesu sljedeći:

1. **definirati problem i uzroke;** treba jasno definirati što je problem sa postojećim proizvodnim procesom te koji su uzroci tome, odnosno što se želi unaprijediti.
2. **definirati ciljeve projekta;** u skladu sa definiranim problemom i očekivanjima potrebno je postaviti jasne ciljeve projekta odnosno što se očekuje od novog proizvodnog procesa u odnosu na onaj koji se mijenja ili nadomješta.
3. **definirati odgovornosti i rokove;** u početku rada na projektu utvrđuju se odgovornosti, način pristupa problemu kao i koraci u rješavanju problema. Također, kako bi se postavili određeni vremenski okviri, potrebno je procijeniti trajanje rada na projektu te izraditi okvirni terminski plan kojim se definiraju rokovi za provođenje pojedinih aktivnosti u okviru rada na projektu.

Pri tome, potrebno je da svi sudionici na projektu u potpunosti razumiju postavljeni problem koji se obrađuje, definirane ciljeve, te zbog čega se projekt uopće pokreće. Takva jasna slika o projektu vrlo je važna za uspješnost projekta. Naime, to osigurava da svi sudionici na projektu u svojoj domeni rada cijelo vrijeme imaju jasan fokus na ono što je bitno za provođenje projekta.

#### 4.2.1.2 Prijedlog metoda i alata

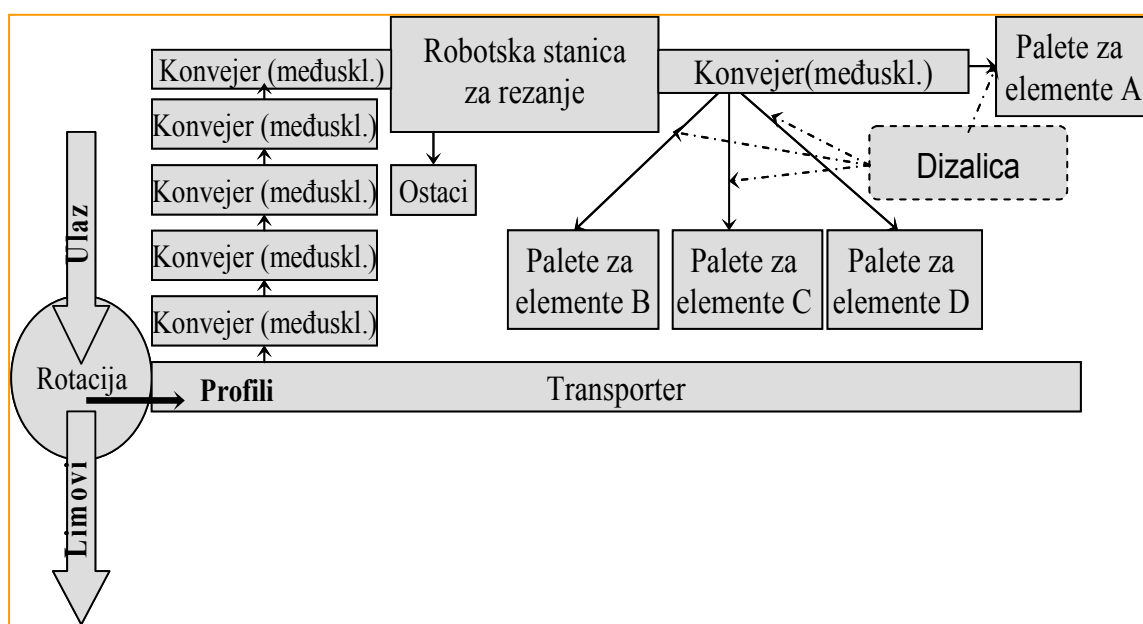
Metode i alati ove faze projektiranja prikazani su u tablici 11:

**Tablica 11.** Metode i alati faze definiranja problema i ciljeva

Zadatak	Prijedlog metode/alata
<b>1. Definiranje problema</b>	- Grafički prikaz toka procesa - Uzročno-posljedični dijagram - Brainstorming - Pareto dijagram
<b>2. Definiranje ciljeva projekta</b>	- Benchmarking
<b>3. Definiranje odgovornosti i rokova projekta</b>	- Gantogram

**1. Definiranje problema** se prvenstveno temelji na intenzivnoj komunikaciji sa stručnjacima iz užeg područja postojećeg procesa koji se mijenja ili unapređuje.

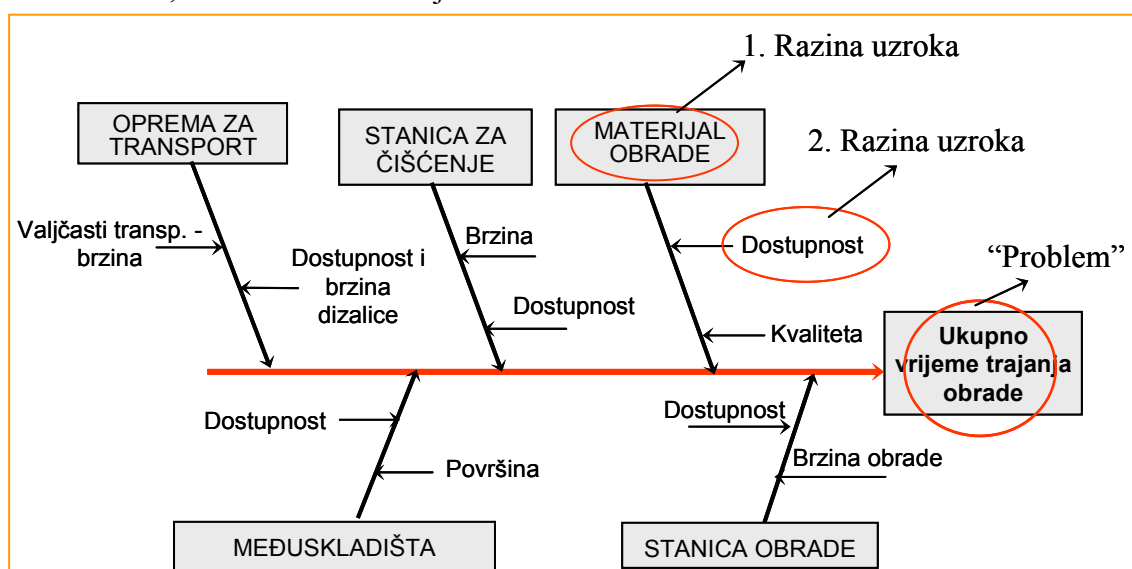
Za opisivanje postojećeg procesa koristi se uobičajeni grafički prikaz toka procesa koji služi za bolje predočavanje svih elemenata proizvodnog procesa, njihovih veza, aktivnosti, toka materijala u procesu i sl. Pri tome je jedan pojednostavljeni grafički prikaz proizvodnog procesa robotske linije za rezanje dat na slici 18.



**Slika 18.** Primjer grafičkog prikaza toka procesa



Nadalje, za potrebe daljnje analize i identifikaciju potencijalnih problema i njihovih uzročnika u procesu, predlaže se i formiranje uzročno-posljedičnog dijagrama (eng. Cause and Effect Diagram), kao alata za opisivanje uzročno-posljedičnih veza u postojećem procesu. Na slici 19 prikazan je pojednostavljeni prikaz jednog uzročno-posljedičnog dijagrama na kojem se skiciraju sve značajke promatranog procesa koji utječe na ukupno vrijeme trajanja obrade. Pri tome, element na kraju glavne strelice jest primarni problem koji se analizira, a elementi na kraju manje strelice su potencijalni uzročnici problema i to uzročnici prve razine (npr. materijal obrade), i uzročnici druge razine (npr. problemi s dostupnošću materijala obrade). Prikazano na ovaj način, svaki od problema može se bolje identificirati, a uzročnici efikasnije analizirati.



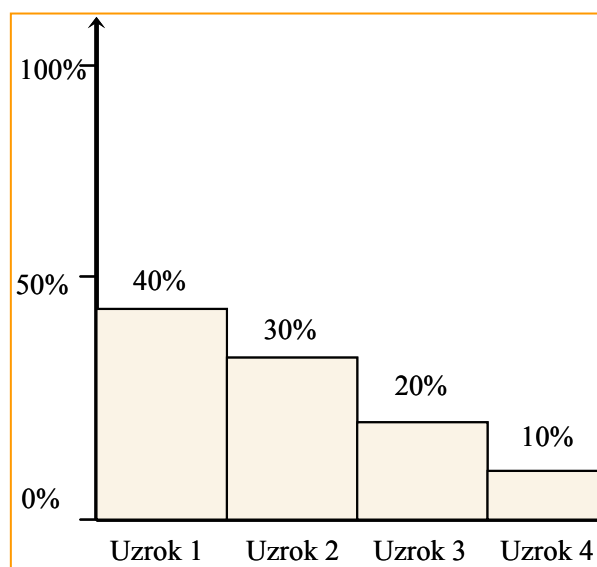
Slika 19. Primjer uzročno-posljedičnog dijagrama proizvodnog procesa

Dodatno, za analizu i raspravu o pitanjima proizašlih iz definiranog grafičkog toka procesa i uzročno-posljedičnog dijagrama promatranog proizvodnog procesa predlaže se primjena *brainstorming* metode. Pri tome, metoda *brainstorming* jest metoda koja potiče kreativno razmišljanje u početnoj fazi rješavanja problema, [112], na način da se potiče donošenje što većeg broja ideja od svih članova tima, bez ocjenjivanja i kritiziranja istih za vrijeme trajanja *brainstorminga*. Tek kada *brainstorming* završi pristupa se analizi ideja i prijedloga. Pri tome, metoda ima pet osnovnih pravila, [112]:

1. Kritiziranje ideja nije dozvoljeno tijekom trajanja *brainstorminga*.
2. Poticati neuobičajene ideje, pa i pretjerivanje.
3. Bitna je brojnost ideja, a manje njihova kvaliteta.
4. Ideje i prijedloge treba nadograđivati i koristiti kao temelj za daljnja istraživanja
5. Sve ideje od svih sudionika diskusije imaju jednaku vrijednost.

Osnovni preduvjet za uspješan *brainstorming* je prisutnost što većeg broja kvalitetnih pojedinaca sa vještinama iz različitih područja, ne nužno uvijek bliskih s promatranim problemom. Primjena ove metode nije nužna, ali može biti korisna u situacijama kada struktura proizvodnog procesa nije dovoljno poznata ili postoji nedostatna količina informacija o procesu. U tom slučaju takva slobodna metoda poput *brainstorminga* koja kao rezultat ima velik broj ideja, pogotovo u početnoj fazi, može biti efikasnija od više formalne i strukturno čvršće metode uzročno-posljedičnog dijagrama.

Nadalje, za utvrđivanje onih uzroka koji su najvjerojatniji uzročnici promatranog problema predlaže se upotreba *Pareto* dijagrama. *Pareto* dijagram jest alat kojim se identificiraju najvjerojatniji uzročnici problema, odnosno oni koji najviše utječu na problem, [113]. Na slici 20 prikazan je karakterističan *Pareto* dijagram. Pri tome dijagram prikazuje da je "Uzrok 1" u 40% slučajeva uzročnik promatranog problema, a "Uzrok 2" je 30% slučajeva uzročnik promatranog problema, itd. Pri tome, podaci koji su potrebni da se ovakav dijagram formira prikupljeni su kroz komunikaciju sa stručnjacima iz područja u kojem se projektira, a koji raspolažu klasičnim statističkim podacima iz proizvodnje, ili pomoću prethodno spomenute *brainstorming* metode.



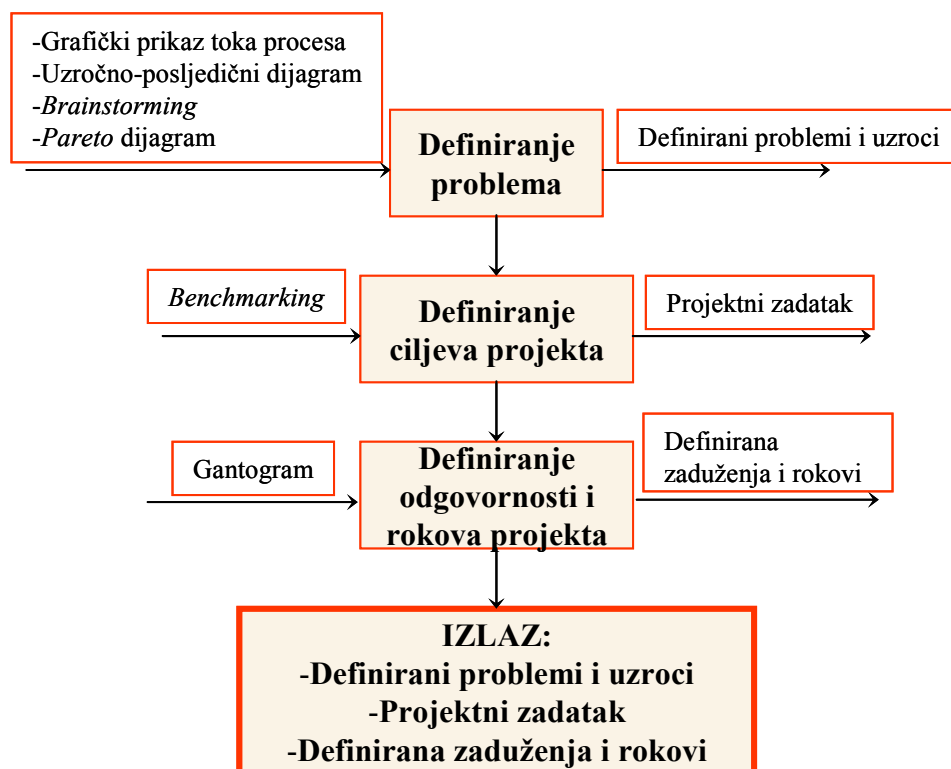
Slika 20. Primjer *Pareto* dijagrama

**2. Definiranje ciljeva projekta.** Faza definiranja ciljeva projekta temelji se na intenzivnoj komunikaciji sa stručnjacima iz užeg područja postojećeg procesa i novog projektiranog procesa. Naime, temeljem analize postojećeg procesa i njegovih problema, treba definirati što se od novog procesa očekuje u odnosu na stari proizvodni proces, odnosno treba definirati projektni zahtjev.

Uobičajeno se u ovoj fazi koristi iskustvo suradnika odnosno menadžmenta firme koji su direktno povezani s promatranim proizvodnim procesom i dobro upoznati s ciljevima svoga razvoja. Međutim, ukoliko projektni zahtjev nije dostupan eksplicitno kao definirani ulazni podatak, za potrebe definiranja ciljeva i očekivanja predlaže se primjena elemenata metode *benchmarkinga*. *Benchmarking* se definira kao proces kojim se prikupljaju podaci u cilju utvrđivanja vlastitih realnih proizvodnih ili poslovnih ciljeva, [115]. Uobičajeno to u praksi znači postupak usporedbe svojeg proizvodnog procesa, ili njegovih elemenata, sa sličnim proizvodnim procesom. Pri tome se definirani projektni zadatak (primjerice količina obrade u jedinici vremena) uspoređuje sa sličnim proizvodnim procesom kako bi se odabrani ciljevi mogli dodatno vrednovati odnosno korigirati prema iskustvima iz drugih, sličnih proizvodnih procesa. Tako prikupljena saznanja mogu se pritom uključiti u vlastite projektne zahtjeve odnosno procese.

**3. Definiranje odgovornosti i rokova projekta:** Odgovornosti na projektu se dijele prema stručnosti i vještinama pojedinaca u timu, a za definiranje i prikaz rokova se predlaže primjena tradicionalnog alata gantogram (poglavlje 2.2.6, slika 11).

Na kraju, na slici 21 prikazana je struktura, metode i alati ove faze projektiranja, prema tablici 11.



**Slika 21.** Struktura, metode i alati faze definiranja problema i ciljeva projektiranja

## 4.2.2 Definiranje ulaznih podataka i idejno osmišljavanje simulacijskog modela proizvodnog procesa

Osnovni cilj ove faze jest, nakon što je u prethodnoj fazi definiran problem i projektni zadatak, preliminarno osmisliti projektno rješenje te prikupiti i definirati relevantne ulazne podatke i idejno osmisliti budući simulacijski model predloženog projektnog rješenja brodograđevnog proizvodnog procesa.

### 4.2.2.1 Zadaci

Nakon utvrđenog problema i ciljeva koje budući proizvodni proces treba ispuniti, pristupa se preliminarnom definiranju novog projektnog rješenja od kojeg se očekuje da ispuni projektne zahtjeve. Pri tome, definira se oprema nove linije, značajke te raspored opreme, kao i preliminarni prikaz toka procesa i operacija. Dakle, u ovoj fazi potrebno je definirati preliminarni projekt budućeg proizvodnog procesa koji će služiti kao osnova za izradu simulacijskog modela nad kojim će se vršiti eksperimenti sa ciljem vrednovanja tog predprojekta te, prema potrebi, njegove modifikacije odnosno unapređenja.

Osnovni zadaci ove faze su:

#### 1. Definiranje ulaznih podataka i preliminarnog projektnog rješenja, što uključuje:

- definiranje opreme novog procesa i njihovih značajki,
  - vremena trajanja operacija obrade (strojevi za rezanje, brušenje...),
  - ulazne značajke transportnih sredstava (dizalice, valjčasti transporteri...),
  - dimenzije uređaja, kapaciteti površina i transportnih sredstava (valjčasti transporteri, skladišta i međuskladišta...), itd.
- CAD nacrt novog proizvodnog procesa,
- grafički prikaz toka procesa i opis operacija novog proizvodnog procesa

Nakon što su podaci prikupljeni, pristupa se njihovom analiziranju, a prikupljanje potrebnih podataka se nastavlja i tijekom cijelog projekta, kako nove potrebe i spoznaje nailaze jer se nisu mogle predvidjeti u početnoj fazi.

**2. Idejno osmišljavanje simulacijskog modela proizvodnog procesa.** Temeljem definiranog preliminarnog projektnog rješenja, projektnog zadatka, definirane opreme i njenih značajki može se pristupiti idejnom osmišljavanju simulacijskog modela predloženog projektnog rješenja novog proizvodnog procesa, a što u osnovi uključuje:

- koji simulacijski jezik/softver će se koristiti,
- strukturu i logiku modela,
- osmišljavanje postupka modeliranja,
- razinu detaljiziranosti modela,
- ograničenja koja u model moraju biti uključena, itd.

Ovdje valja naglasiti da je projektiranje, odnosno modeliranje potpuno novog, a još nepostojećeg proizvodnog procesa, vrlo složen postupak karakteriziran specifičnim poteškoćama. Vjerojatno je najznačajnija poteškoća nedostatak stvarnih proizvodnih podataka iz stvarnog proizvodnog procesa, jer projektanti na raspolaganju imaju samo podatke dobavljača opreme i preliminarni projekt brodogradilišta te ciljeve i očekivanja koji se vezuju uz novu opremu.

S obzirom na to da uspješnost simulacijskog modeliranja uvelike ovisi o kvaliteti i potpunosti prikupljenih podataka s kojima se računalni model definira i opisuje, nedostatak stvarnih informacija o sustavu, a kakve postoje kada se modelira postojeći proces, može znatno komplicirati postupak simulacijskog modeliranja takvog novog procesa. Pri projektiranju novog, nepostojećeg procesa, uspješnost projekta uvelike ovisi o kvaliteti poduzetih pretpostavki, potpunosti i kvaliteti informacija osiguranih od dobavljača opreme, iskustvu stručnjaka brodogradilišta s kojim se surađuje te naravno i o iskustvu samog projektanta koji simulacijski model osniva. Zasigurno, jedan od osnovnih izvora podataka bit će podaci proizvođača opreme, nadalje tu su podaci i postojeća dokumentacija kojom raspolaže samo brodogradilište, te raspoloživi iskustveni podaci.

Stoga se parametri projektiranog procesa u ovoj fazi često definiraju prema inicijalno favoriziranom dobavljaču. Prikupljeni podaci u ovoj fazi projektiranja proizvodnog procesa služe kao osnova za početak simulacijskog modeliranja, odnosno oni se mogu smatrati osnovnim ulazom u simulacijski model.

#### 4.2.2.2 Prijedlog metoda i alata

Sažeto, predložene metode i alati ove faze projektiranja prikazani su u tablici 12:

**Tablica 12.** Metode i alati za fazu definiranja ulaznih podataka i idejnog osmišljavanja simulacijskog modela

Zadatak	Prijedlog metoda/alata
<b>1. Definiranje ulaznih podataka i preliminarnog projektnog rješenja</b>	- CAD alati - grafički prikaz procesa - <i>benchmarking</i>
<b>2. Idejno osmišljavanje simulacijskog modela proizvodnog procesa</b>	- metoda simulacije - simulacijski jezik <i>SimTalk</i>

Metode koje se u ovoj fazi mogu koristiti su pretežito tradicionalne metode projektiranja procesa potrebnih da se osnuje preliminarni projekt i njegov CAD nacrt, koji će se nadalje vrednovati i unapređivati metodom simulacijskog modeliranja.

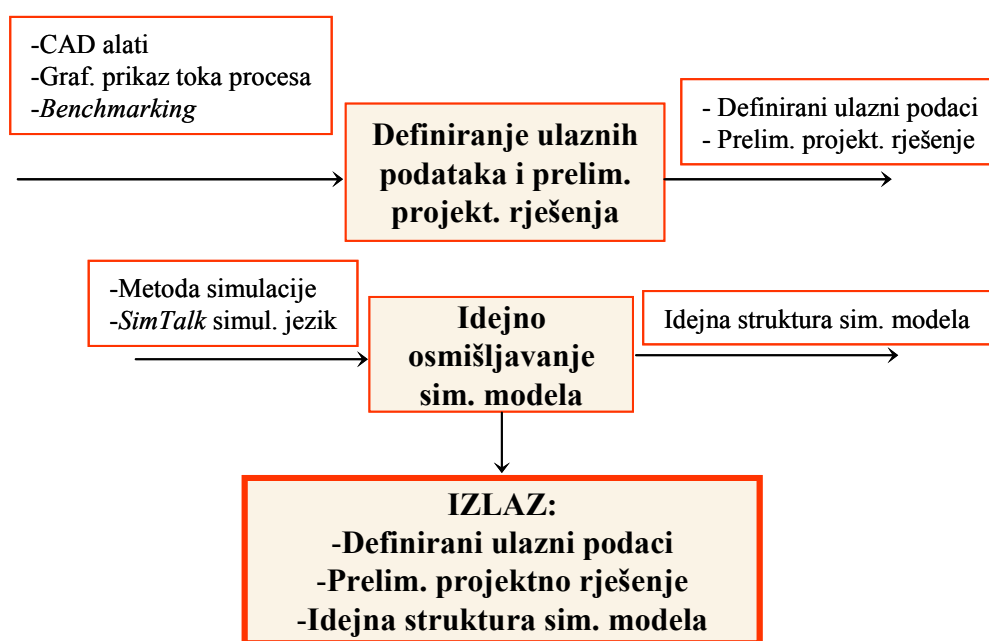
Također, kao i u prethodnoj fazi definiranja problema, slika 18, grafičkim prikazom toka procesa predloženog projektnog rješenja novog proizvodnog procesa, opisuje se tok materijala, opisuju se operacije, transportna sredstva, ograničenja i sl.

Nadalje, za ovu fazu može se koristiti metoda *benchmarkinga*, opisana u prethodnom poglavlju, odnosno usporedbe sa sličnim proizvodnim procesima. U ovoj fazi, *benchmarking* metoda će služiti kao pomoć pri definiranju opreme, značajki opreme i rasporeda opreme, pogotovo u slučajevima nedostupnosti određenih podataka, kada se usporedbom sa sličnim procesima može doći do potrebnih podataka. Međutim, valja naglasiti da će ona služiti samo za preliminarno definiranje značajki koje će nadalje biti vrednovane i korigirane metodom simulacijskog modeliranja u sljedećim fazama projektiranja.

Nadalje, struktura i logika modela se osmišljava prema principima metode simulacijskog modeliranja, opisane u poglavlju 3, odnosno programskog jezika *SimTalk* kojim se programira logika funkcioniranja simulacijskog modela. Pri tome, prvenstveno treba osmisliti poveznice između dijelova projektiranog procesa poput obradnih elemenata, transportnih sredstava, opreme i njenih značajki sa odgovarajućim elementima simulacijskog modeliranja, odnosno entitetima, atributima i aktivnostima, pa je tako primjer karakteristične strukture sljedeći:

- obradni elementi, predmeti rada, strojevi u proizvodnom procesu će biti entiteti u njegovom simulacijskom modelu,
- značajke opreme u proizvodnom procesu, poput brzine obrade, nosivosti i sl., biti će atributi entiteta u simulacijskom modelu,
- vrijeme obrade u proizvodnom procesu je aktivnost u simulacijskom modelu, itd.

Na kraju, na slici 22 prikazana je struktura, metode i alati ove faze projektiranja, prema tablici 12.



**Slika 22.** Struktura, metode i alati faze definiranja ulaznih podataka i idejnog osmišljavanja simulacijskog modela

U sljedećoj fazi, temeljem izlaza iz ove faze, pristupa se osnivanju simulacijskog modela projektiranog proizvodnog procesa.

#### 4.2.3 Osnivanje računalnog simulacijskog modela brodograđevnog proizvodnog procesa

Osnovni cilj ove faze jest osnovati funkcionalan simulacijski model projektiranog brodograđevnog proizvodnog procesa.

### **4.2.3.1 Zadaci**

Do sada prikupljeni podaci se sistematiziraju, organiziraju i analiziraju uzimajući cijelo vrijeme u obzir prethodno osmišljenu strukturu u logiku budućeg simulacijskog modela te se pristupa osnivanju simulacijskog modela procesa.

Osnovni zadaci ove faze su:

**1. Organiziranje i sistematizacija prikupljenih podataka.** Pri tome, ulazni podaci koji u ovoj fazi trebaju biti dostupni su:

- Definicija problema i ciljeva projekta proizvodnog procesa, (faza 1, poglavlje 4.2);
- CAD nacrt predložene opreme i rasporeda opreme linije, (primjer CAD nacrta u Prilogu 1);
- Grafički prikaz toka procesa, (vidi sliku 18);
- Opis procesa i operacija;
- Tehničke značajke opreme i ograničenja;

**2. Definiranje ulaznog proizvodnog asortimana.** Nadalje, predstoji detaljna analiza i definicija ulaznog asortimana, koji također u određenom obliku već može postojati, ali u ovoj fazi ga treba detaljno definirati i organizirati prema osmišljenoj logici simulacijskog modeliranja odnosno formatirati na način kako odgovara korištenom diskretnom simulacijskom softveru. Pri tome, detaljnom analizom proizvodnog programa treba definirati obim i vrstu ulaznog obradnog asortimana (onoga koji se planira obrađivati i u stvarnom procesu nakon realizacije investicije i projekta) u simulacijski model.

**3. Osnivanje simulacijskog modela proizvodnog procesa.** Naposljetku, temeljem do sada prikupljenih podataka, definiranog proizvodnog asortimana započinje se sa osnivanjem simulacijskog modela projektiranog proizvodnog procesa u odabranom diskretnom simulacijskom softveru. Pri tome, model se definira odnosno programira tako da odgovarajuće opisuje ponašanje stvarnog sustava sa svim realnim vremenima, brzinama obrada, brzinama transporta, skladištima, prostornim dimenzijama, itd.



#### 4.2.3.2 Prijedlog metoda i alata

Sažeto, predložene metode i alati ove faze projektiranja prikazani su u tablici 13:

**Tablica 13.** Zadaci i metode faze osnivanja računalnog simulacijskog modela brodograđevnog proizvodnog procesa

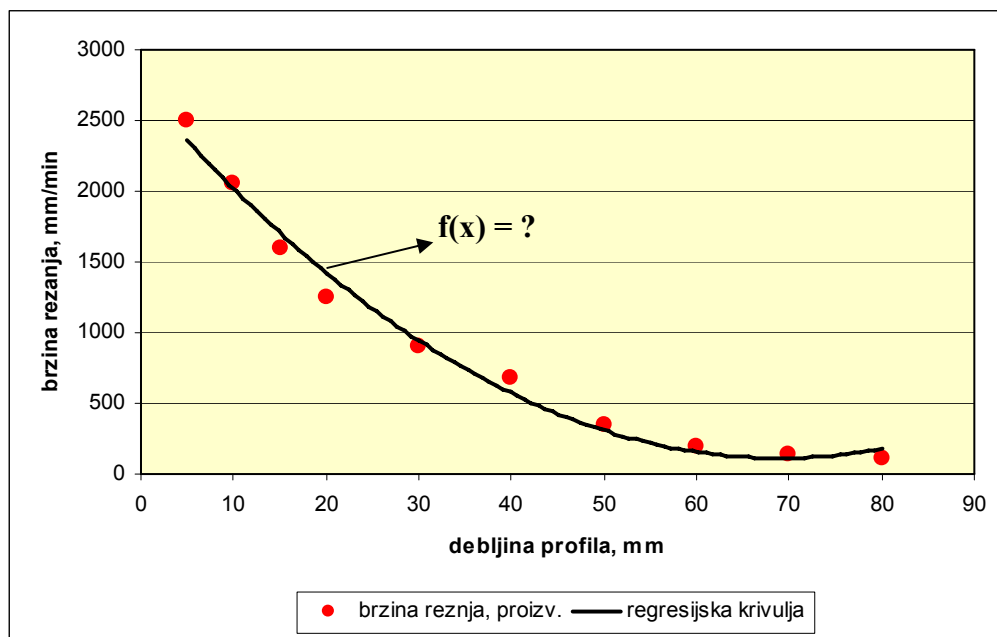
Zadatak	Prijedlog metoda/alata
<b>1. Organiziranje i sistematizacija prikupljenih podataka</b>	- regresijska analiza - metoda simulacije
<b>2. Definiranje ulaznog proizvodnog asortimana</b>	- statistička analiza - histogram - <i>brainstorming</i>
<b>3. Osnivanje simulacijskog modela proizvodnog procesa.</b>	- metoda simulacije - <i>eM-Plant</i> - <i>SimTalk programski jezik</i>

Pri tome, se za organiziranje i sistematizaciju koriste uobičajeni alati prikupljanja i organizacije podataka poput tabličnih kalkulatora, sortiranja i sl., uvažavajući mogućnosti i način rada odabranog softvera za diskretno simulacijsko modeliranje.

Međutim, u kontekstu spomenute problematike nepotpunosti podataka u fazi njihova prikupljanja, za normalizaciju takvih podataka predlaže se primjena metode regresijske analize, [113]. Naime, temeljem onih dostupnih podataka, metodom regresijske analize, će se definirati krivulja koja zadovoljavajuće dobro opisuje karakter poznatih podataka, što može biti polinom drugog, trećeg ili višeg stupnja, zatim eksponencijalna funkcija, logaritamska funkcija i dr. Odabrana krivulja će se tada izraziti svojom funkcijom pomoću koje će se izračunati i ostale vrijednosti, između onih dobivenih od proizvođača, dobavljača, drugih brodograđilišta i sl.

Pri tome, za svrhu definiranja funkcije regresijske krivulje koristiti će se *Excel* i ugrađena funkcija regresijske analize koja temeljem poznatih podataka definira krivulju koja ih najbolje opisuje te joj dodjeljuje i odgovarajući analitički izraz. Primjer obrade podataka primjerom regresijske analize prikazan je na slici 23, gdje točke predstavljaju poznate vrijednosti brzina rezanja za određene debljine profila dobivenih od proizvođača. Međutim, kako je bilo naglašeno, za potrebe izrade kvalitetnog simulacijskog modela potrebno je znati primjerice brzine obrade i za ostale međuvrijednosti debljina obradnog materijala. Stoga se prema poznatim točkama, korištenjem spomenute funkcije u softveru

Excel, povlači krivulja koja zadovoljavajuće opisuje. Nadalje, pomoću pridruženog joj odgovarajućeg analitičkog izraza, moguće je za bilo koju vrijednost primjerice debljine obradnog materijala izračunati brzinu obrade.



**Slika 23.** Regresijska analiza krivulje brzine rezanja ovisno o debljini profila

Nadalje, u okviru zadatka definiranja ulaznog proizvodnog asortimana, odabrani proizvodni asortiman temeljem kojeg će se na simulacijskom modelu proizvodnog procesa vršiti simulacije može biti:

- cjelovit asortiman u jedinici vremena (primjerice svi obradni elementi koji se obrade u jednom mjesecu ),
- cjelovit asortiman potreban za izradu proizvoda (primjerice svi obradni elementi koji su potrebni za izgradnju cijelog broda),
- statistički odabrani uzorak asortimana (primjerice odabrani manji prosječni uzorak temeljem cjelovitog asortimana obrade) ili
- karakteristična tehnološka grupa elemenata, (primjerice odabrani karakterističan uzorak obrade koji odgovarajuće opisuje cjelovit asortiman obrade).

Ukoliko se odabire cjeloviti asortiman za obradu, on će naravno omogućiti najdetaljniju situaciju prilikom provedbe simulacija na modelu procesa. Međutim, nije uvijek moguće doći do svih podataka, ili ih jednostavno ima previše, pa je uputnije glede zadanih ciljeva i posebno vremenskih rokova projekta, odabrati karakterističnu ili

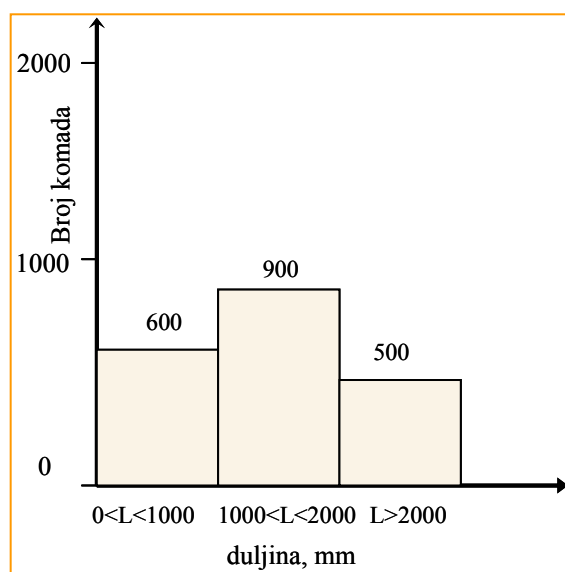
statističku grupu koja dovoljno dobro odgovara cjelovitom asortimanu.

Pri tome, odabir statističke grupe se i prema osobnom iskustvu autora, [42], [43], te i prema iskustvu drugih autora, [65], smatra pojednostavljenjem koje nedovoljno dobro obuhvaća sve karakteristike i svu složenost koju cjeloviti asortiman obrade u sebi sadržava.

Stoga se, u svrhu definiranja ulaznog asortimana, u ovom istraživanju predlaže odabir određenog karakterističnog asortimana obrade koji bi trebao, koliko je to najbolje moguće, opisivati karakteristike i složenost cjelovitog obradnog asortimana. U ovom dijelu vrlo je važna dobra suradnja sa stručnjacima koji su detaljno upoznati s promatranim proizvodnim procesom.

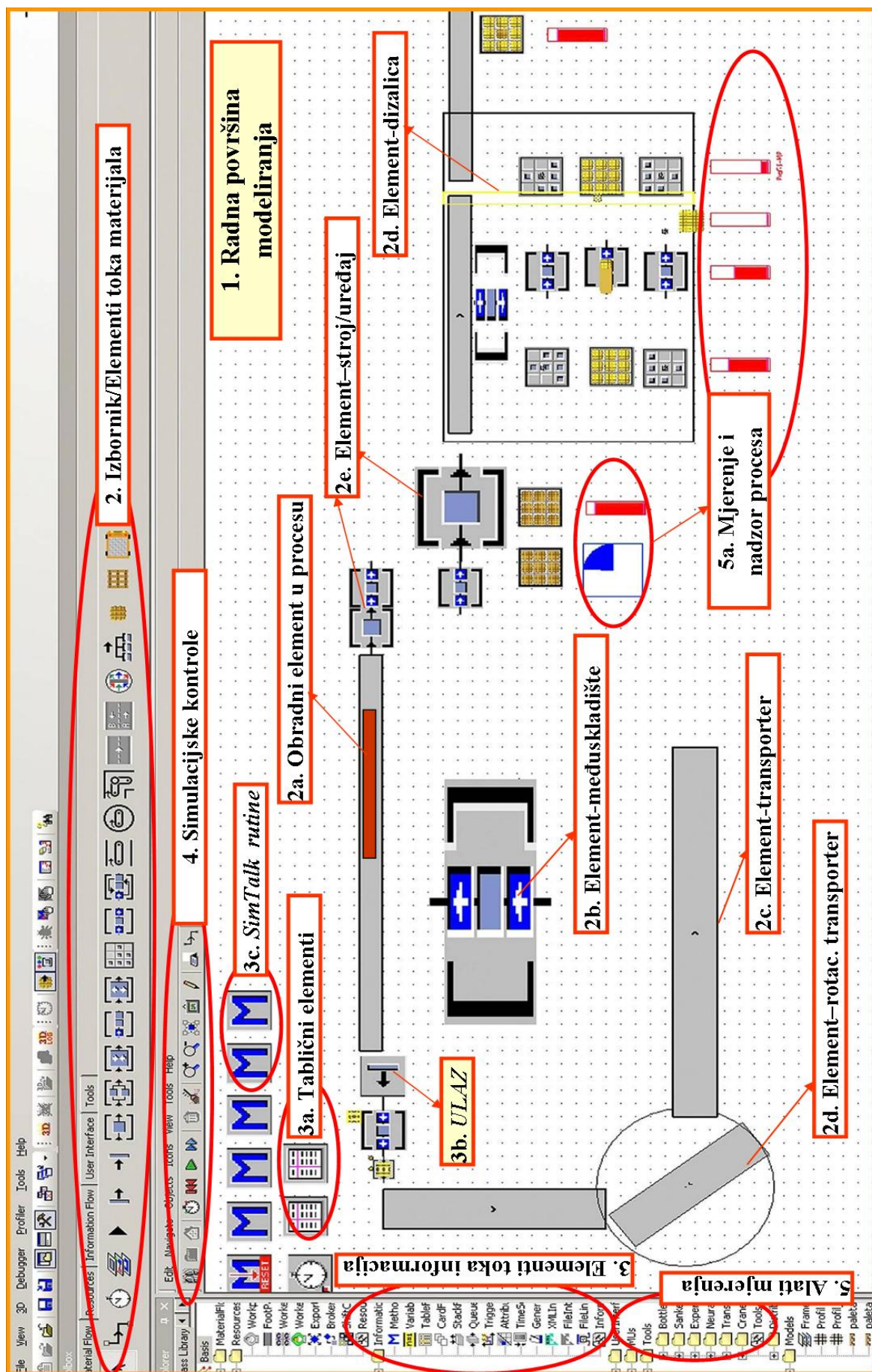
Pri tome se, za analizu cjelovitog ulaznog asortimana, a u svrhu odabira onog karakterističnog, koriste uobičajene metode i alati statističke analize za obradu podataka, među kojima je koristan alat histogram, [113], kojim se može pregledno prikazati zastupljenost, odnosno frekvencija pojavljivanja pojedinih vrsta obradnog materijala u cjelovitom asortimanu. Primjer histograma prikazan je na slici 24, na kojem je prikazana frekvencija pojavljivanja pojedinih raspona duljina obradnog materijala u ukupnom asortimanu obrade.

U ovom primjeru radi se o različitim duljinama profila, kao obradnog elementa u brodograevnom proizvodnom procesu, u dvodnu broda. Na taj način mogu se izvući korisni zaključci koje se mogu primijeniti na konfiguraciju odabranog asortimana. Pri tome, za analizu podataka, diskusiju, a potom i definiranje karakterističnog asortimana predlaže se primjena *brainstorming* metode s kojom se u suradnji sa stručnjacima iz užeg područja projektiranog procesa, može doći do kvalitetnijeg izbora upravo odgovarajućeg asortimana.



**Slika 24.** Frekvencija pojedinih raspona duljina u ukupnom asortimanu obrade

Nadalje, osnovna metoda koja se koristiti za osnivanje simulacijskog modela projektiranog proizvodnog procesa jest metoda simulacijskog modeliranja temeljem objektno orijentiranog diskretnog simulacijskog softvera *eM-Plant*. Također, koristi se i simulacijski programski jezik *SimTalk* kojim se programira logika funkcioniranja modela te definiraju odnosi i posebne karakteristike svih sastavnica simulacijskog modela. Pomoću programskog jezika *SimTalk* moguće je postići gotovo neograničenu fleksibilnost i raznolikost mogućnosti pri kreiranju simulacijskog modela projektiranog proizvodnog procesa. Pri tome, softver *eM-Plant* koji se koristi u ovom istraživanju, temelji se na objektnom pristupu modeliranja, što znači da za razliku od tradicionalnih softvera, atributi, entiteti, rutine i sl., čine tzv. osnovnu klasu (eng. *class*) određenog tipa, npr. stroj za rezanje limova. Temeljem te osnovne klase, kreiraju se specifični objekti (eng. *object*), koji su u osnovi ta klasa od koje su nastali, ali se razlikuju u nekim elementima, npr. stroj za plinsko rezanje limova i stroj za plazma rezanje limova. Tako jednom definirana klasa ili objekt može se pohraniti i koristiti i u drugim modelima što čini pristup modeliranja jednostavnijim i fleksibilnijim. Pri tome su osnova takvog modela statički i dinamički elementi odnosno događaji, aktivnosti i resursi vezani uz njih. Na slici 25, prikazano je sučelje korištenog simulacijskog softvera *eM-Plant* te su na njemu označeni osnovni elementi, a koji su u nastavku ovog poglavlja i sažeto opisani, dok je detaljan opis obrađen u [95].



Slika 25. Radno sučelje simulacijskog softvera eM-Plant

Pri tome, na slici 25, zaokruženi su i označeni oni osnovni elementi i parametri koji su nužni za razumijevanje postupka modeliranja te će u nastavku biti i opisani.

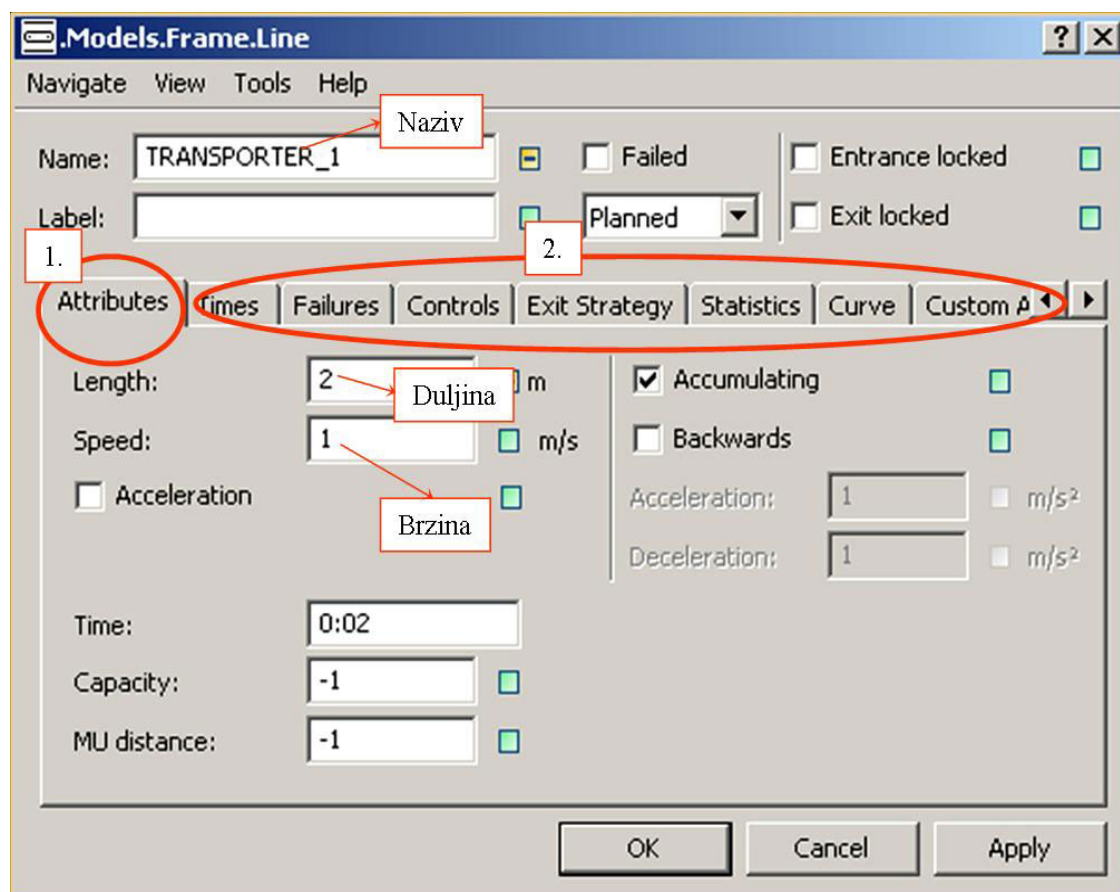
**Područje 1. (slika 25) - Radna površina modeliranja:** Radna površina jest prostor na kojem se model gradi odnosno osniva, a temeljem već opisane strukture diskretnog simulacijskog modela u poglavlju 3.3.1. Model je glavni element simulacijskog modeliranja, odnosno model projektiranog proizvodnog procesa, koji je ujedno i izlazni rezultat ove faze projektiranja. Na radnu površinu se pozicioniraju, opisuju i povezuju odgovarajući elementi putem pripadajućih izbornika.

**Područje 2. (slika 25) – Izbornik/elementi toka materijala:** Ovaj izbornik sadržava elemente toka materijala, entitete, a to su primjerice:

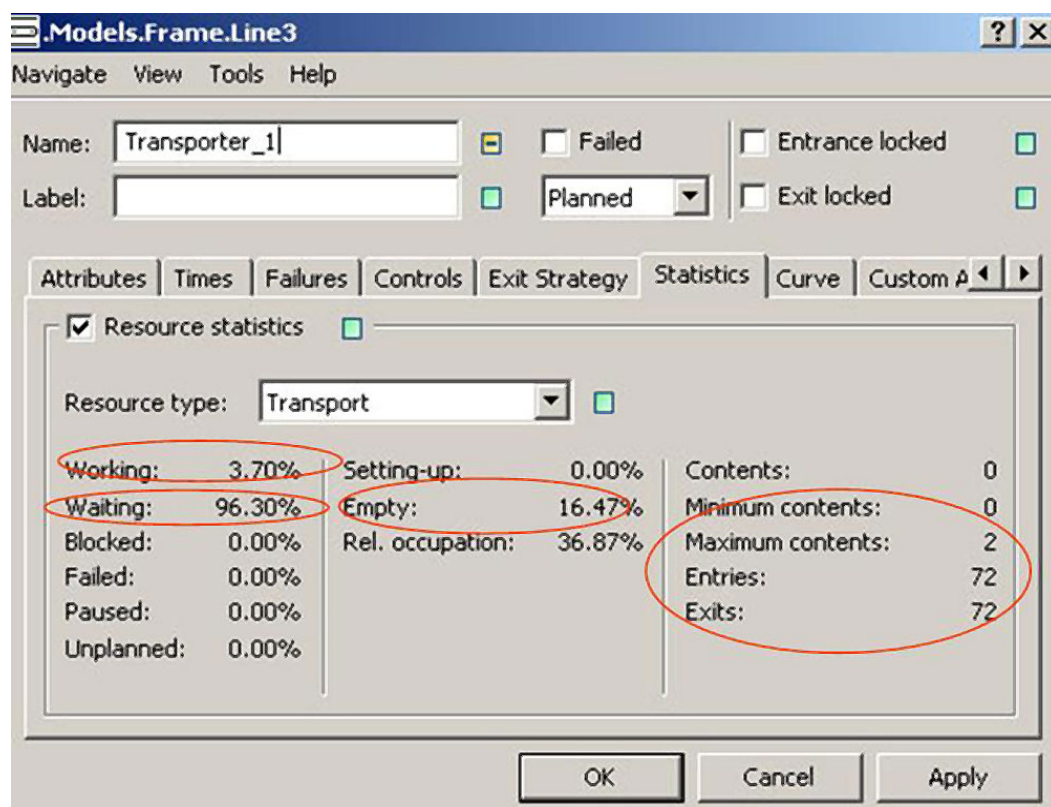
- obradni element procesa (oznaka 2a),
- skladišta i međuskladišta (oznaka 2b),
- transporteri (oznaka 2c),
- dizalice (oznaka 2d),
- strojevi (oznaka 2e), itd.

Prema potrebi, izabire se odgovarajući element i smješta ga se na radnu površinu modela, povezuje se sa drugim elementima te mu se dodjeljuju njegova obilježja odnosno atributi. Atributi, odnosno obilježja elemenata modela su primjerice brzina obrade, dimenzije transportera, itd. Svaki element ima svoje sučelje putem kojeg mu se unose potrebni podaci koji ga opisuju. Na slici 26 je prikazano sučelje za unos obilježja elementa transportera. Pri čemu:

- **Oznaka 1** označava sučelje za unos osnovnih atributa elementa, poput naziva, brzine i duljine transportera.
- **Oznaka 2** označava sučelje za brojna druga obilježja kojima se element može još detaljnije opisati poput određenih vremena kvarova, zastoja, zatim specifičnih kontrola, radnih strategija i sl. Također, svaki element posjeduje i svoju osobnu statistiku kojom se bilježe njegova obilježja rada, zastoja, blokiranosti, kapaciteta i sl., među kojima su neka od značajnijih za element transporta na slici 27 zaokružena (rad, čekanje, postotak vremena dok je transporter prazan, maksimalni kapacitet, broj ulaza, broj izlaza, itd.).

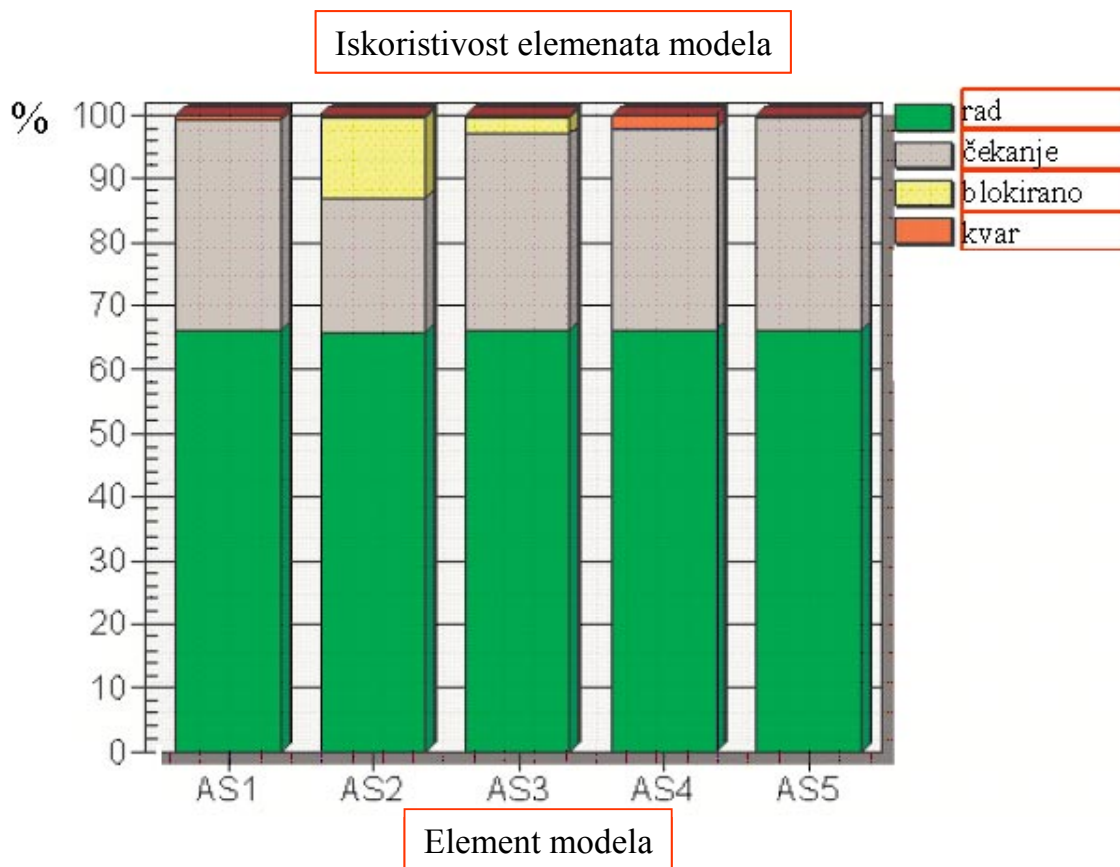


Slika 26. Sučelje za unos obilježja elementa transportera



Slika 27. Sučelje za prikaz statistike elementa transportera

Pri tome, statistika se može radi bolje preglednosti i potreba analize prikazati i grafom kakav je prikazan na slici 28.



**Slika 28.** Grafički prikaz iskoristivosti elemenata modela

**Područje 3. (slika 25) – Elementi toka informacija:** kada se osnovna struktura modela posložila, elementi postavili, međusobno se povezali te im se dodijelili osnovni atributi odnosno obilježja, treba pristupiti definiranju toka informacija i aktivnosti, pri tome osnovni elementi toka procesa su:

- **Područje 3a (slika 25) - Tablični elementi:** putem tabličnih elemenata unose se u model različite informacije vezane za funkcioniranje modela, među kojima i onaj osnovni ulazni asortiman obrade temeljem kojeg će se simulacije provoditi. Primjer organizirane tablice za učitavanje ulaznog asortimana obrade u simulacijski model dan je na slici 29.



	string 1	length 2	length 3	length 4
	naziv	length	visina	debljina
1	HP370x15	12	0.37	0.015
2	HP370x15	12	0.37	0.015
3	HP370x15	12	0.37	0.015
4	HP370x15	12	0.37	0.015
5	HP400x14	12	0.4	0.014
6	HP340x14	12	0.34	0.014
7	HP340x14	12	0.34	0.014
8	HP340x14	12	0.34	0.014
9	HP340x14	12	0.34	0.014
10	HP340x14	12	0.34	0.014

**Slika 29.** Primjer ulazne datoteke za simulacijski model

Pri tome stupci u tablici označavaju sljedeće:

**Stupac 1:** Označava vrstu profila prema standardima koji se koriste u brodogradnji, pa tako u oznaci HP370x15, HP označava vrstu profila, 370 njegovu visinu u milimetrima i 15 njegovu debljinu struka u milimetrima.

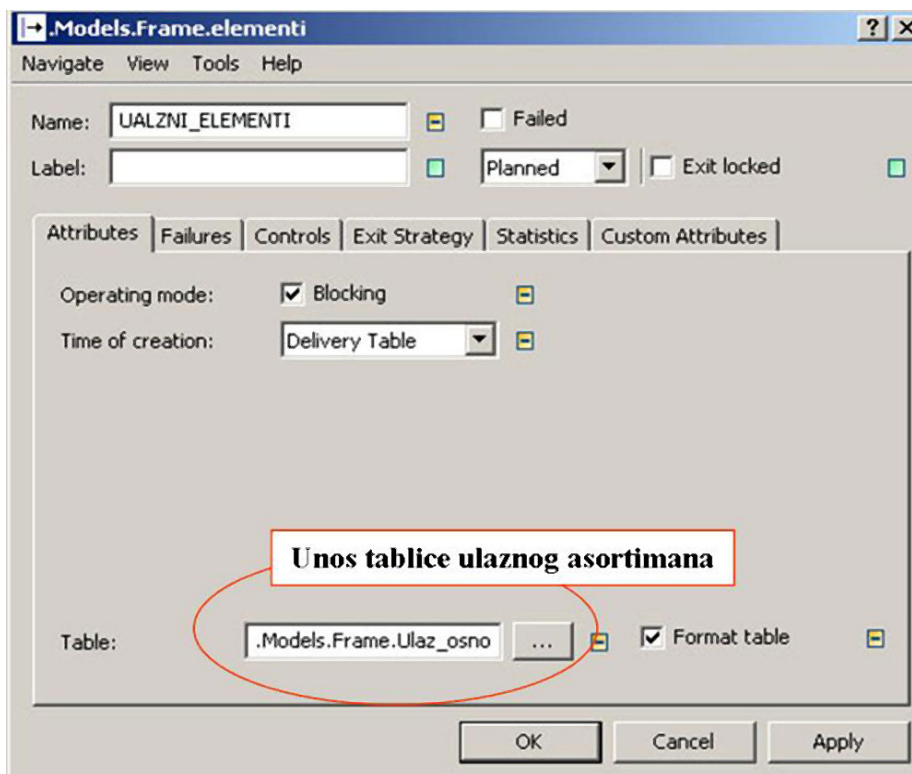
**Stupac 2:** Dužina profila, u metrima.

**Stupac 3:** Visina profila, u metrima.

**Stupac 4:** Debljina struka profila, u metrima.

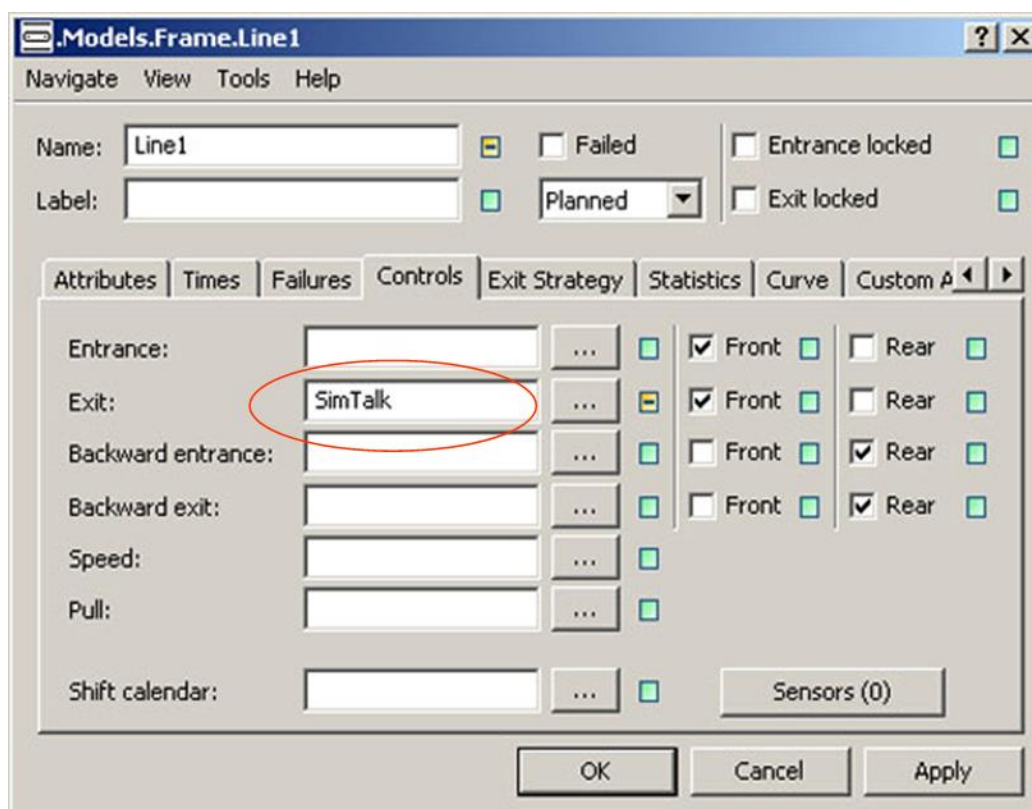
Pri tome ove je samo primjer kako i za koju svrhu tablica može biti korištena. Naime, svaki stupac se može formatirati drugačije, svaki redak ili stupac mogu sadržavati drugačije podatke, primjerice vezane uz raspored radova, smjerove toka materijala samo određenog elementa, podatke o obradi, itd.

**Područje 3b (slika 25) – Ulaz:** Nadalje, tako formirana tablica uvodi se u simulacijski model, a uvodi se putem objekta Ulaz (eng. *Source*), slika 30, na slici je označena pozicija gdje se poveznica na kreiranu tablicu postavlja.



Slika 30. Sučelje elementa *Source* za definiranje ulaza u model

**Područje 3c (slika 30) – *SimTalk* rutine:** *SimTalk* jest simulacijski programski jezik s kojim se funkcionalnost i fleksibilnost simulacijskog modeliranja podiže na praktički neograničenu razinu. Naime, korištenjem do sada opisanih sučelja i pred programiranih opcija može se definirati puno toga, pa i različite specifične potrebe, ali kako složenost procesa raste, a zahtjevi pred funkcionalnost i logiku modela se kompliciraju, takve prethodno programirane opcije postaju nedostatne. Tada je potrebno koristiti objektni programski jezik *SimTalk* (unutar softvera *eM-Plant*) s kojim se gotova svaka od spomenutih opcija može dodatno modificirati i programirati prema praktički bilo kakvim zahtjevima korisnika (eng. customize). U sljedećih nekoliko redaka biti će na relativno jednostavnom primjeru prikazan princip upotrebe takve rutine za potrebe razdiobe elemenata prilikom izlaska sa elementa transporter, a prema kriteriju njihove duljine. Pri tome, na slici 31 prikazano je sučelje koje kontrolira događaje na izlazu sa transportera, a zaokruženo je mjesto poziva *SimTalk* rutine (izlazna strategija - eng. exit strategy) i to na način da kada obradni element dođe do izlaza transportera, on aktivira opciju „izlazna strategija“ (eng. exit strategy) koja poziva odgovarajuću rutinu u kojoj je definirano da se sa obradnog elementa pročita atribut o njegovoj duljini i ovisno o njegovoj duljini distribuira dalje u odgovarajuće skladište. Na slici 32 je prikaz jednostavne rutine koja izvršava taj zadatak.



Slika 31. Sučelje elementa transportera za definiranje kontrole izlaza

```

Models.Frame.line1_exit *
File Edit Navigate Run Template View Tools Help
is
l:length;    --definirana varijable
do
  l:=@.length; --citanje vrijednosti atributa duljina s elementa

  if l >=0 and l<= 2.99 then -- if petlja
    @.move(.model.skladiste1); -- element ide na skladiste 1

  elseif l > 2.99 and l<= 6.99 then -- elseif petlja
    @.move(.model.skladiste2); -- element ide na skladiste 2

  else --
    @.move(.model.skladiste3); -- element ide na skladiste 3

  end;
end;

```

Slika 32. *SimTalk* rutina za kontrolu izlaza sa transportera

**Područje 4. (slika 25) – Simulacijske kontrole:** Nakon što je model postavljen, ulazni asortiman definiran, elementi povezani, njihove značajke definirane, a potrebna logika funkcioniranja programirana, pristupa se simulaciji i analizi. Pri tome ove simulacijske kontrole služe za ubrzavanje ili usporavanje realnog vremena, zaustavljanja vremena i tome sl. Na slici 33 prikazano je sučelje osnovnih simulacijskih kontrola.



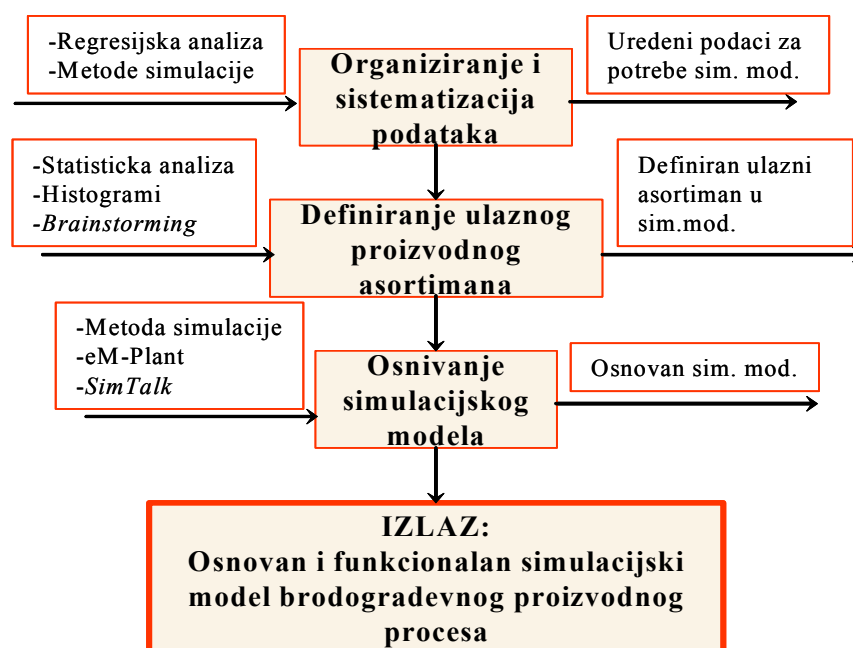
Slika 33. Sučelje osnovnih simulacijskih kontrola

**Područje 5. (slika 25) – Alati mjerenja:** Provedene simulacije treba analizirati, a za to između ostalih postoje alati mjerenja i kontrole procesa kojima se mogu gotovo neograničeno te iz bilo kojeg dijela modela izvući bilo koji podaci, a jedno od osnovnih pozicija jest statistika svakog elementa procesa, kako je prethodno bilo prikazano na slici 27 i slici 28, koji se potom formiraju u klasične dijagrame, tablice i pisane izvještaje.

Prema slici 25, se na zaokruženim grafovima u **području 5a**, primjerice nadzire trenutna količina materijala u skladištima.

Tako prikupljeni podaci se onda analiziraju s ciljem utvrđivanja potencijalnih problema i područja unapređenja.

Na kraju, na slici 34 prikazana je struktura, metode i alati ove faze projektiranja, prema tablici 13.



**Slika 34.** Struktura, metode i alati faze osnivanja računalnog simulacijskog modela brodograđevnog proizvodnog procesa

Izlaz ove faze je osnovani i funkcionalan simulacijski model. U sljedećoj fazi pristupa se verifikaciji simulacijskog modela na primjeru robotske linije za obradu profila.

#### 4.2.4 Verifikacija osnovanog simulacijskog modela

Osnovni cilj ove faze projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa jest verificirati osnovani simulacijski model kako bi se nadalje nastavio koristiti u svrhu analize i unapređenja procesa.

##### 4.2.4.1 Zadaci

Osnovni i jedini zadatak ove faze projektiranja jest:

**Verifikacija simulacijskog modela:** Nakon što je simulacijski model osnovan pristupa se njegovoj verifikaciji. Verificirati model znači:

- otkloniti sve logičke pogreške iz modela
- osigurati funkcionalnost modela.

Nadalje, koliko je potrebno treba izvršiti potrebne popravke u modelu kako bi se otklonile sve uočene pogreške i nelogičnosti u funkcioniranju modela, ispravno definirali potrebni podaci, te da slijed odvijanja aktivnosti u modelu bude kako je očekivano.

Kada je simulacijski model verificiran, ako je moguće provodi se i potvrđivanje modela na stvarnom sustavu, ako on postoji. Potvrđivanje modela predstavlja postupak utvrđivanja da li model, uz iste vrijednosti ulaznih značajki, daje iste, ili u određenim granicama, rezultate kao i stvarni proces. Međutim, za takav postupak stvarni proces bi trebao postojati, što naravno nije uvijek slučaj.

#### 4.2.4.2 Prijedlog metoda i alata

Sažeto, zadaci, metode i alati ove faze projektiranja prikazani su u tablici 14:

**Tablica 14.** Zadaci i metode faze verifikacije simulacijskog modela

Zadatak	Prijedlog metoda/alata
<b>Verifikacija simulacijskog modela</b>	-metoda simulacije - analiza osjetljivosti <i>-brainstorming</i>

Primarna metoda koja se koristi u ovoj fazi je metoda simulacije odnosno provođenja eksperimenata na modelu projektiranog procesa kojima se procjenjuje logičnost i funkcionalnost modela, primjerice mjereći da li se uslijed određenih promjena ulaznih podataka u model dobivaju očekivani i logični izlazni podaci iz modela.

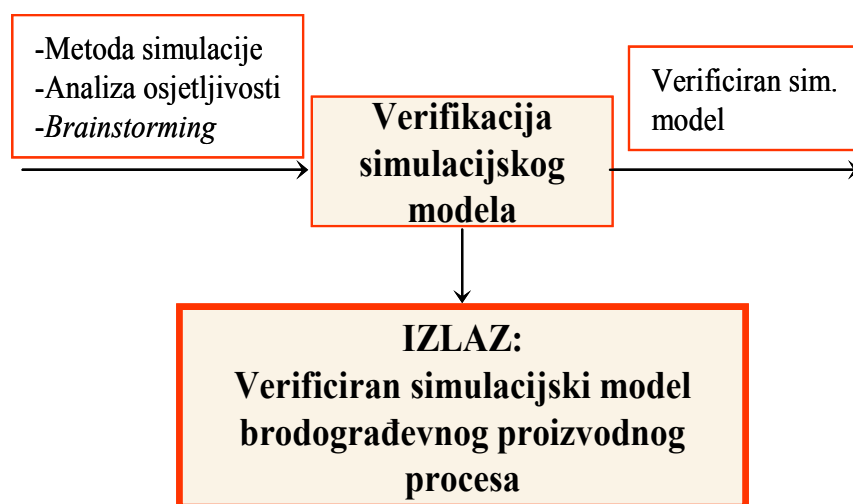
Provjeru modela je dobro napraviti zajedno s stručnim pojedincima odgovornima za određeni proces u brodogradilištu, te na taj način još jednom provjeriti da li model dobro opisuje promatrani proces, kako bi se potvrdilo da je ponašanje modela odgovarajuće te da se stekne povjerenje u njegove performanse.

S obzirom na takvu komunikaciju s stručnjacima brodogradilišta, predlaže se primjena *brainstorming* metode koja svojim relativno slobodnim i neformalnim pristupom može pripomoći uočavanju nekih problema i nelogičnosti modela. Dodatno, model, ideje i

prijedlozi će se pri tome vrednovati, a model testirati i metodom analize osjetljivosti uz primjenu metode simulacije za provođenje eksperimenata. Naime, neki od rezultata tako provedene analize osjetljivosti mogu ukazati na nepravilnosti i probleme i to primjerice:

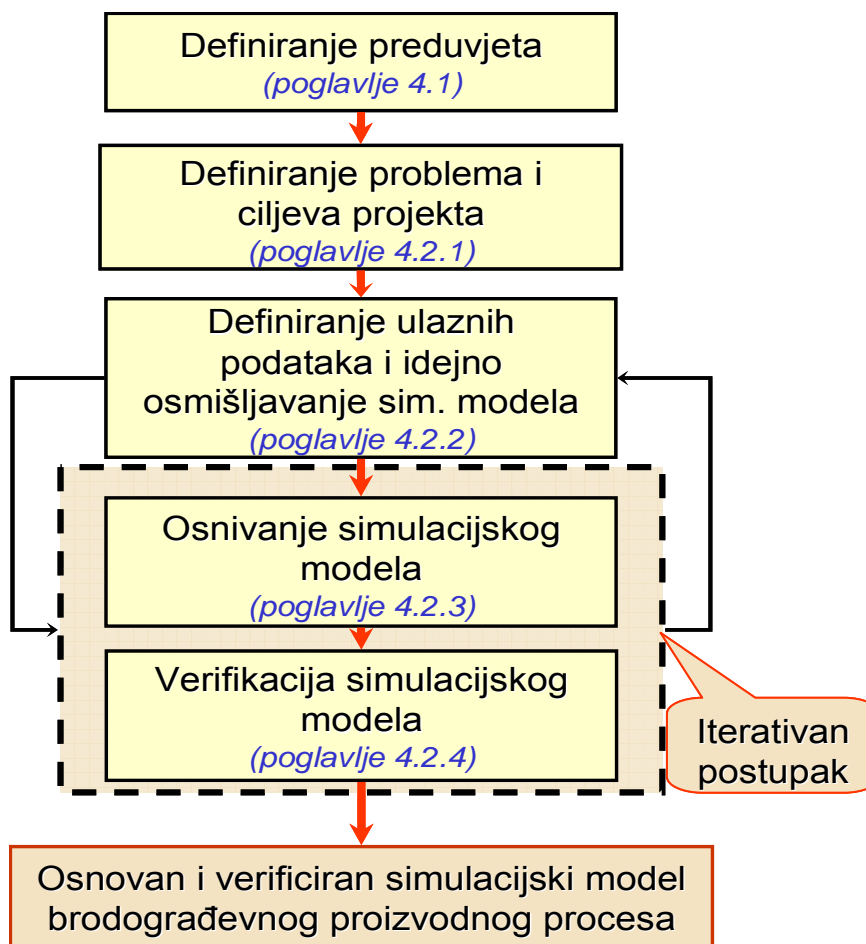
- sustav može biti preosjetljiv na promjene vrijednosti značajki na koje korisnik u stvarnosti nema kontrolu, a to može ukazivati na greške u logici modeliranja,
- rezultat analize osjetljivosti može biti iznenađujući i možda neočekivan za većinu sudionika projekta, to može također ukazivati na potencijalni problem,
- rezultati analize osjetljivosti modela mogu se razlikovati od rezultata analize osjetljivosti na stvarnom sustavu. To također može ukazivati na potencijalno loš model sustava, itd.

Na kraju, na slici 35 prikazana je struktura, metode i alati ove faze projektiranja, prema tablici 14.



**Slika 35.** Struktura, metode i alati faze verifikacije osnovanog računalnog simulacijskog modela brodograđevnog proizvodnog procesa

Izlaz ove faze je verificirani simulacijski model. Na taj je način simulacijski model prihvaćen kao pogodan za daljnje analiziranje i unapređivanje procesa koje slijedi u narednoj fazi. Nadalje, na slici 36 prikazan je hodogram odvijanja osnovnih zadataka u do sada opisanim fazama, koje čine jezgru ovog postupka, odnosno njihovim kompletiranjem simulacijski model promatranog proizvodnog procesa je osnovan i verificiran.



Slika 36. Hodogram aktivnosti do faze osnovanog i verificiranog simulacijskog modela

#### 4.2.5 Analiza proizvodnih scenarija i unapređenje simulacijskog modela

Osnovni cilj ove faze jest prvenstveno metodom simulacije vrednovati osnovani simulacijski model predloženog projektnog rješenja te utvrditi da li ono udovoljava postavljenim ciljevima projekta. Ukoliko ne udovoljava, treba pristupiti analizi modela, odnosno projektnog rješenja, s ciljem njegova unapređenja.

##### 4.2.5.1 Zadaci

Osnovni zadaci ove faze projektiranja su sljedeći:

1. **Analiza i vrednovanje simulacijskog modela predloženog projektnog rješenja;** svrha ovog zadatka jest utvrđivanje da li projektno rješenje kao takvo ispunjava postavljeni projektni zadatak.
2. **Analiza i unapređenje simulacijskog modela predloženog projektnog rješenja;**



Ukoliko je u prethodnom koraku utvrđeno da simulacijski model predloženog projektnog rješenja ne udovoljava postavljenom projektnom zadatku, treba pristupiti daljnjoj analizi simulacijskog modela s ciljem unapređivanja simulacijskog modela projektiranog brodograđevnog proizvodnog procesa.

#### 4.2.5.2 Prijedlog metoda i alata

Sažeto, metode i alati ove faze projektiranja prikazani su u tablici 15.

**Tablica 15.** Zadaci i metode faze analize i unapređenja simulacijskog modela

Zadatak	Prijedlog metoda/alata
<b>1. Analiza i vrednovanje simulacijskog modela predloženog projektnog rješenja</b>	- metoda simulacije
<b>2. Analiza i unapređenje simulacijskog modela predloženog projektnog rješenja</b>	- metoda simulacije - analiza osjetljivosti - <i>brainstorming</i>

Pri tome predložene metode i alati koriste se kako slijedi :

- a) za vrednovanje simulacijskog modela predloženog rješenja koristiti će se metoda simulacije kojom će se utvrditi da li inicijalno osnovani simulacijski model ispunjava projektni zadatak.
- b) Za analiziranje simulacijskog modela predloženog rješenja, primijenit će se metoda simulacije s ciljem utvrđivanja toka materijala, opterećenja elemenata linije, vremena čekanja i sl., sa svrhom da se odrede mogući uzroci zbog kojih predloženo rješenje ne ispunjava projektne ciljeve.
- c) Nadalje, među tako utvrđenim značajkama i karakteristikama linije, a u slučaju velikog broja značajki, koristiti će se metoda analize osjetljivosti, kojom će se ispitivati osjetljivost ciljnog rezultata na promjene vrijednosti značajki proizvodnog procesa, te na taj način izabrati nekoliko najutjecajnijih. Pri tome, za definiranje raspona vrijednosti značajki unutar kojih će se one varirati, za potrebe analize osjetljivosti, koristiti će se *brainstorming* metoda, odnosno intenzivna suradnja i komunikacija s suradnicima koji su usko povezani s proizvodnim procesom koji se projektira.

d) Nadalje, odabrane značajke i njihove definirane vrijednosti, simulirati će se u potpunom planu pokusa odnosno scenarija. Dakle, simulirati će se sve moguće kombinacije odabranih značajki i njihovih vrijednosti koristeći se metodom računalne simulacije. Za tu svrhu, koristiti će se ugrađeni i prilagođeni alat (eng. experiment manager) za provođenje kompletnog plana pokusa u softveru *eM-Plant*. Na taj način, korištenjem sprege simulacijskog modela, računalne snage i integriranog alata za provođenje kompletnog plana pokusa moguće je u određenom vremenu simulirati veliki broj scenarija, odnosno velik broj značajki i njihovih vrijednosti. O tome koliki će se broj značajki simulirati, odlučuje se spomenutom analizom osjetljivosti, a o rasponu unutar kojih će se varirati vrijednosti tih odabranih značajki, odlučuje se temeljem *brainstorming* metode.

Po završetku ovog postupka analize i unapređenja simulacijskog modela projektiranog proizvodnog procesa, očekuje se odabir takvih vrijednosti značajki proizvodnog procesa, da minimalno ispunjavaju postavljene ciljeve projekta, a potencijalno i više od toga, te unutar postavljenih ograničenja brodogradilišta.

#### ***4.2.5.3 Analiza proizvodnog scenarija osnovanog simulacijskog modela metodom simulacije***

Temeljem osnovanog i verificiranog simulacijskog modela pristupa se analizi preliminarnog scenarija predložene konfiguracije linije te se procjenjuje da li ona zadovoljava postavljene ciljeve projekta. Ukoliko ne zadovoljava, ili su se ciljevi projekta u međuvremenu promijenili, ili pak postoji zahtjev za dodatnim unapređenjem i optimiziranjem projektiranog proizvodnog procesa, pristupa se analizi postojećeg stanja.

Pri tome, a prije početka postupka unapređenja, metodom simulacije analizira se simulacijski model predloženog rješenja s ciljem utvrđivanja toka materijala, opterećenja elemenata linije, vremena čekanja i sl., a sa svrhom da se odrede mogući uzroci zbog kojih predloženo rješenje ne ispunjava projektne ciljeve. Za tu svrhu u okviru simulacijskog modela koriste se prvenstveno statistika svakog elementa linije kakva je bila prethodno prikazana na slici 27 i grafom na slici 28. Isti se podaci pritom, radi bolje preglednosti, mogu organizirati kako je prikazano u tablici 16, gdje se za jedan dio konkretne linije navode stanja rada, blokiranosti i čekanja promatranog elementa simulacijskog modela.

**Tablica 16.** Analiza opterećenosti predložene konfiguracije linije

Objekt linije	Stanje		
	Rad, %	Blokiran, %	Čekanje, %
Valjčasti transporter, VT <sub>1</sub>	1.3	76.75	21.9
Rotacioni trans. RT	1.4	79.8	18.7
Valjčasti transporter, VT <sub>2</sub>	2.98	0	97

Kada se metodom simulacije identificiraju uska grla i kritična mjesta linije potrebno je iznaći načine njihova uklanjanja. U tu svrhu, pristupa se uvođenju novih scenarija i variranja značajki proizvodnog procesa, a sa ciljem unapređenja proizvodnog procesa te postizanja rješenja projektnih zadataka. Pri tome, potrebno je odrediti jedan significantan broj scenarija, treba odrediti najutjecajnije značajke koje će se varirati, te logičan raspon vrijednosti značajki unutar kojih se one variraju, a što će biti opisano u sljedećem poglavlju.

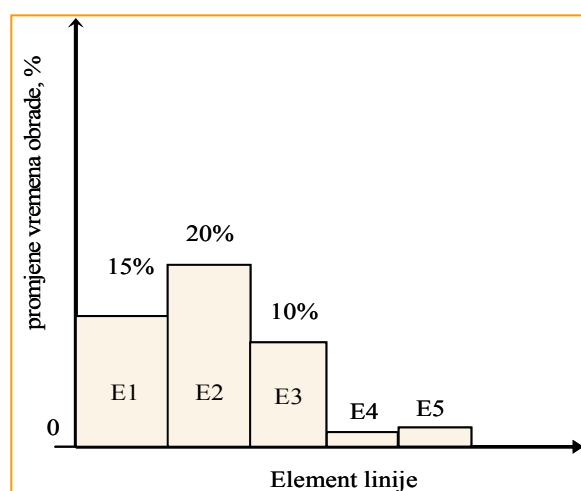
#### **4.2.5.4 Primjena prilagođene metode analize osjetljivosti kao osnove za utvrđivanje kriterija odabira utjecajnih značajki i broja scenarija**

Ukoliko se analizom predloženog simulacijskog modela utvrdi da on ne ispunjava zadane projektne ciljeve, te se nakon provedene analize takvog simulacijskog modela identificiraju mogući uzroci zbog kojih predloženo rješenje ne ispunjava projektne ciljeve, potrebno je pristupiti optimiziranju odnosno unapređenju simulacijskog modela projektiranog proizvodnog procesa.

Pri tome, prvi korak jest utvrditi koje su to značajke linije koje su najutjecajnije na ciljnu funkciju, odnosno osnovni cilj projekta, primjerice ukupno vrijeme trajanja obrade materijala, sa ciljem da se smanji broj mogućih scenarija, odnosno parametara za optimizaciju. U tu svrhu koristi se empirijska vrsta metoda analize osjetljivosti u kombinaciji s metode simulacije, kojom se provode eksperimenti nad simulacijskim modelom, a s ciljem analize intenziteta promjene ciljne funkcije u ovisnosti o promjenama vrijednosti značajki. Na taj način će se eliminirati one značajke čiji je utjecaj slab ili nepostojeći, a daljnji proces analiziranja scenarija i unapređenja nastaviti će se samo sa odabranim značajkama. Više o primjeni prilagođene metode analize osjetljivosti biti će

rečeno u poglavlju 4.9.4. Pri tome, za definiranje raspona vrijednosti značajki unutar kojih će se one varirati, za potrebe analize osjetljivosti, i određivanja kriterija kojima će se rangirati razina značaja utjecaja značajki te njihov odabir, koristiti će se *brainstorming* metoda. Broj odabranih značajki i raspon unutar kojih se variraju njihove vrijednosti, definira i broj scenarija koji će se poduzeti u sljedećem koraku.

Primjer rezultata analize osjetljivosti provedene metodom simulacije na simulacijskom modelu predloženog projektnog rješenja prikazan je na slici 37. Pri tome, stupci E1...E5 predstavljaju pet elemenata simulacijskog modela kojima je promijenjena odabrana značajka za odabranu vrijednost, te u ovisnosti o toj promjeni promatra se utjecaj na ukupno vrijeme obrade. U ovom slučaju, odabiru se najutjecajnije značajke E1, E2 i E3, a preostale se zanemaruju za daljnje korake optimizacije jer ne utječu značajno na ciljnu funkciju. Pri tome, koja će se vrijednost značajke elementa odabrati i koliko će se promijeniti odlučeno je u suradnji sa stručnjacima direktno uključenim u proizvodni proces te sa dobavljačima opreme.



**Slika 37.** Primjer rezultata analize utjecaja promjene značajke elementa modela na vrijeme obrade

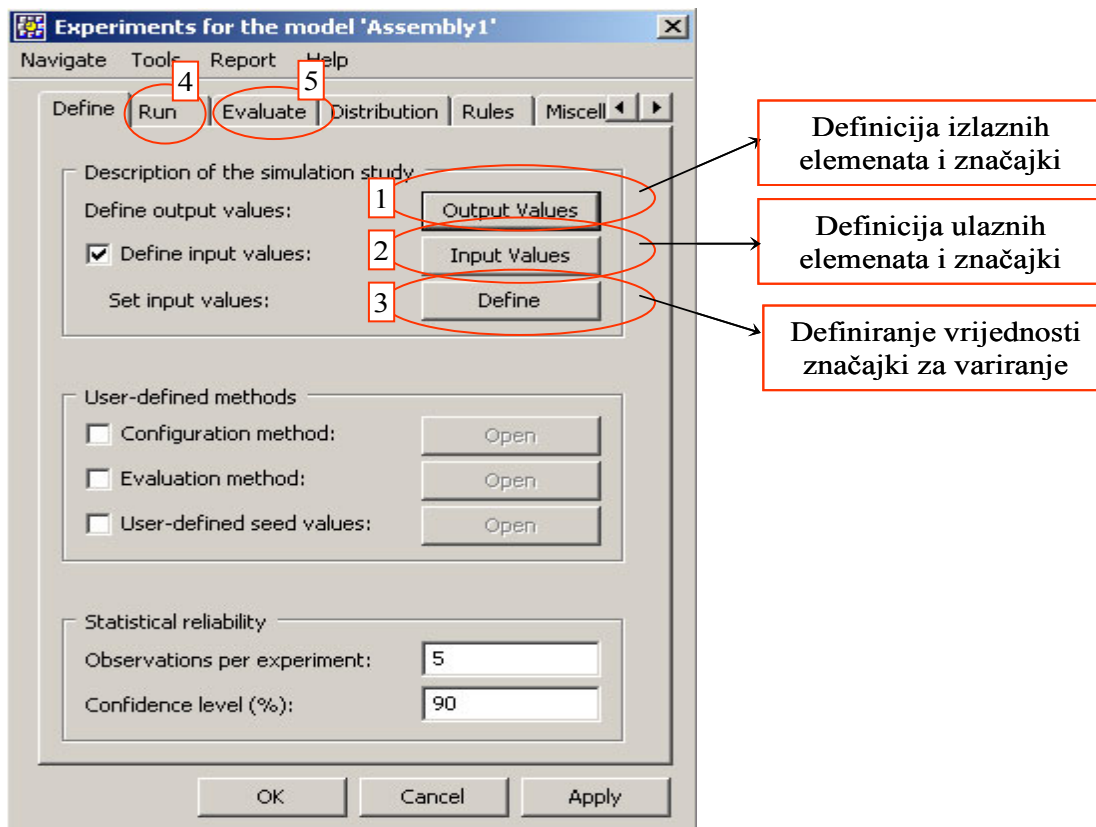
#### 4.2.5.5 Optimiziranje značajki linije provođenjem kompletnog plana scenarija metodom simulacije

Temeljem odabranih najutjecajnijih značajki i raspona unutar kojih se variraju njihove vrijednosti, provodi se odgovarajući broj pokusa odnosno scenarija, što znači da se ispituju sve kombinacije i značajki i njihovih vrijednosti koristeći se metodom računalne simulacije. Za tu svrhu, koristi se integrirani i prilagođeni alat (eng. experiment manager) za provođenje kompletnog plana scenarija, odnosno eksperimenata ili pokusa, u softveru

eM-Plant, slika 38. Pri tome na slici su označena osnova područja za unos potrebnih podataka za provođenje eksperimenta i to:

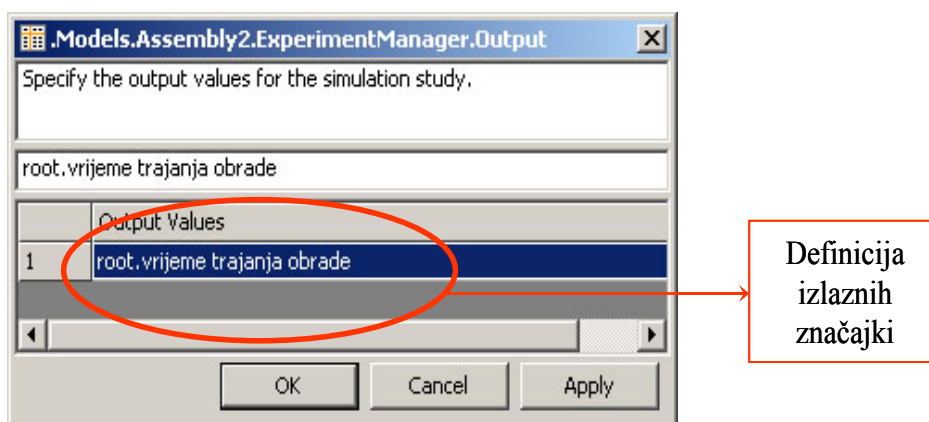
- **područje 1, slika 38:** definiranje izlaznih elemenata i njegovih značajki na koje će se učinak promjena promatrati (primjerice, ukupno vrijeme trajanja obrade),
- **područje 2, slika 38:** definiranje prethodno odabranih ulaznih elemenata i njegovih značajki koji će se varirati (primjerice brzina rezanja),
- **područje 3, slika 38:** definiranje prethodno odabranih vrijednosti značajki koje će se varirati, odnosno broja eksperimenata/scenarija koje će se provesti.
- **područje 4, slika 38:** izbornik putem kojeg se pokreće i nadzire tijek provedbe eksperimenta,
- **područje 5, slika 38:** izbornik putem kojeg se vrši procjena rezultata provedenih eksperimenata.

U ovom alatu se pored ovog opisanog načina provođenja pokusa i unosa osnovnih parametara za njihovo izvršenje može definirati i niz drugih parametara, elemenata, statističkih vrijednosti, ograničenja i pravila prema kojima se pokusi provode, a ovom alatu tako osiguravaju iznimne mogućnosti i fleksibilnost. Pri tome, u ovom poglavlju je definiran osnovni princip i mogućnosti korištenja ovog alata.



Slika 38. Prikaz sučelja za definiranje plana eksperimenata

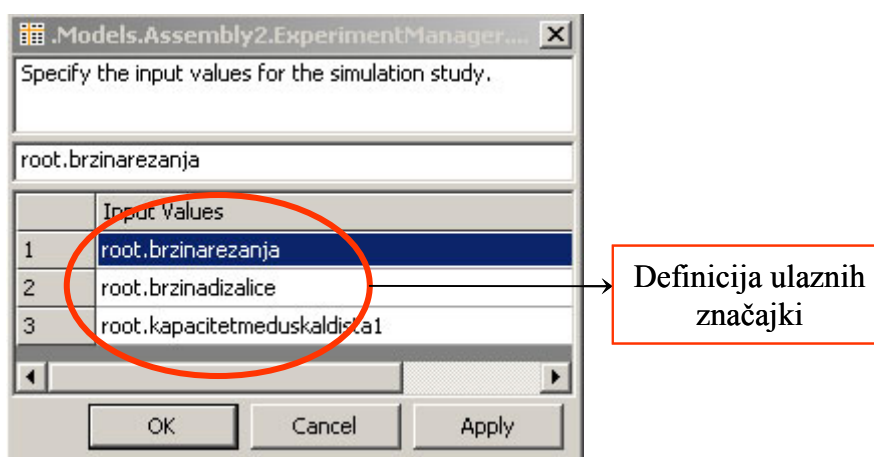
Pri tome, sučelje za unos izlaznih elemenata, (područje 1, slika 38), na koje će se učinci promjena promatrati prikazano je na slici 39, na kojoj je prikazan unos ukupnog vremena trajanje obrade kao parametra koji će se prvenstveno promatrati.



**Slika 39.** Sučelje za definiranje izlaznog elementa za kojeg se analizira učinak promjena

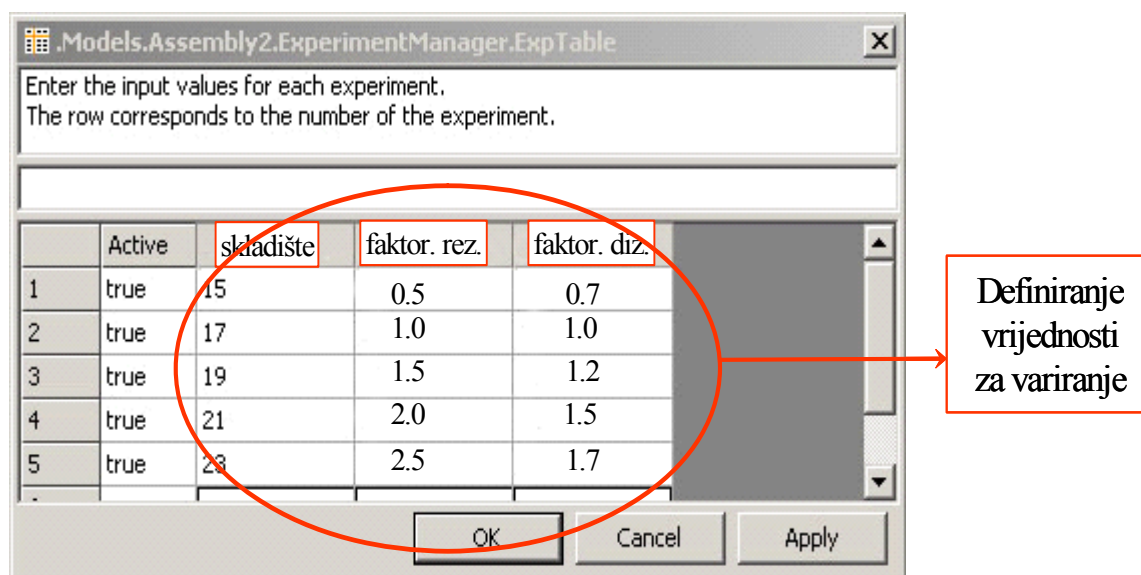
Nadalje, sučelje za unos ulaznih elemenata i njihovih značajki (područje 2, slika 38) prikazano je na slici 40, na kojoj je prikazan unos jedne značajke za tri različita elementa modela i to:

- značajka brzine rezanja na obradnom stroju,
- značajka brzine dizalice i
- značajka kapaciteta međuskladišta 1.



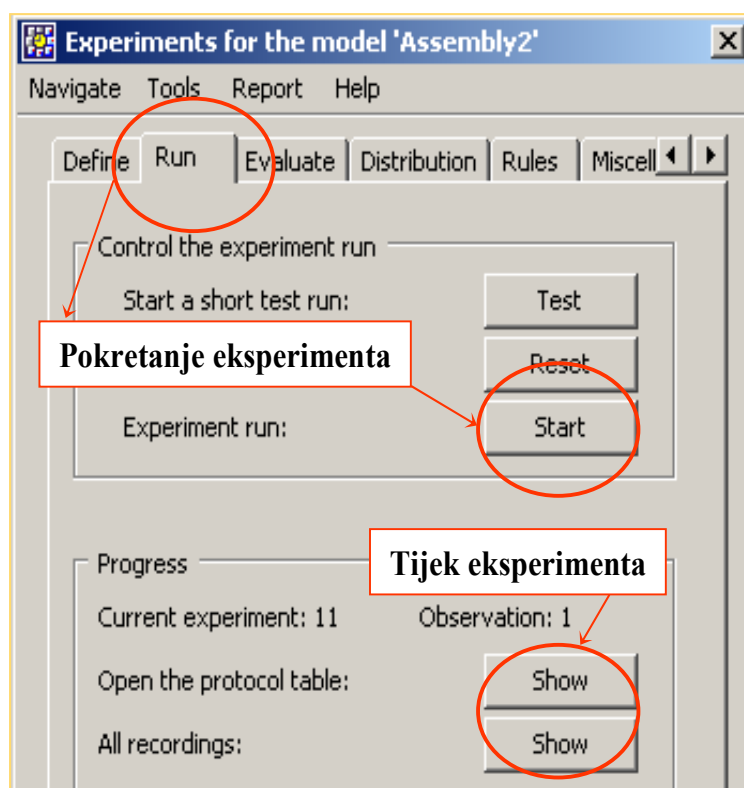
**Slika 40.** Sučelje za definiranje značajki elemenata koje će se varirati

Nadalje, sučelje za unos vrijednosti značajki koje će se varirati (područje 3, slika 38) za svaki od elemenata prikazano je na slici 41.



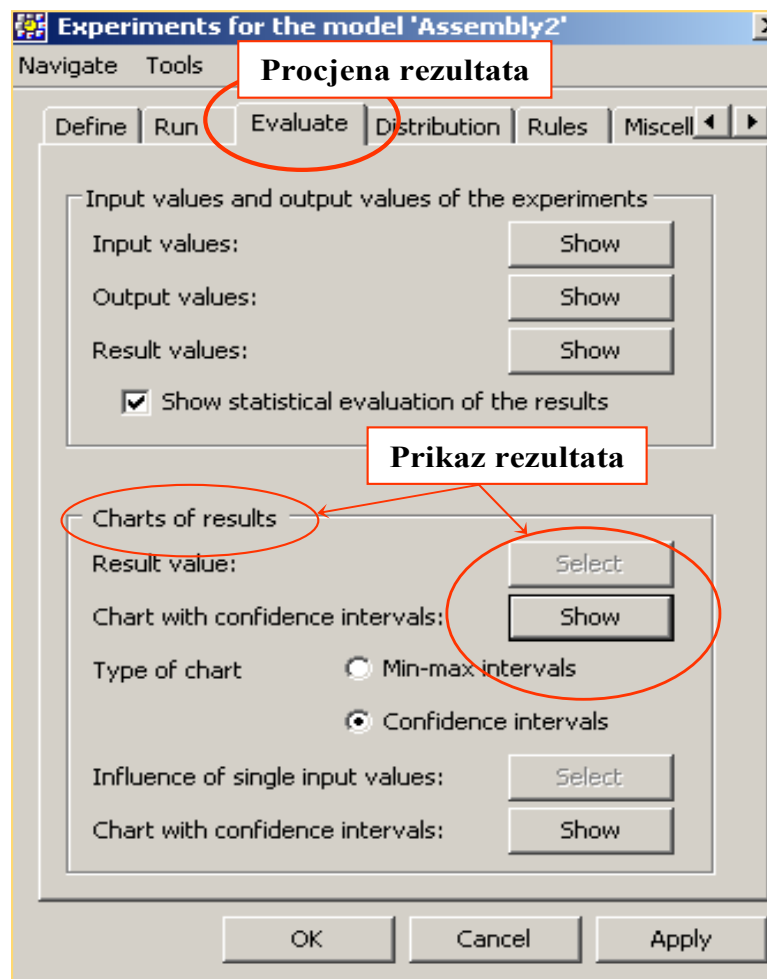
Slika 41. Sučelje za definiranje vrijednosti značajki koje će se varirati

Sučelje za definiranje parametara za pokretanje i nadzor tijeka eksperimenta, (područje 4, slika 38), prikazano je na slici 42.



Slika 42. Sučelje za definiranje parametara za pokretanje i nadzor tijeka eksperimenta

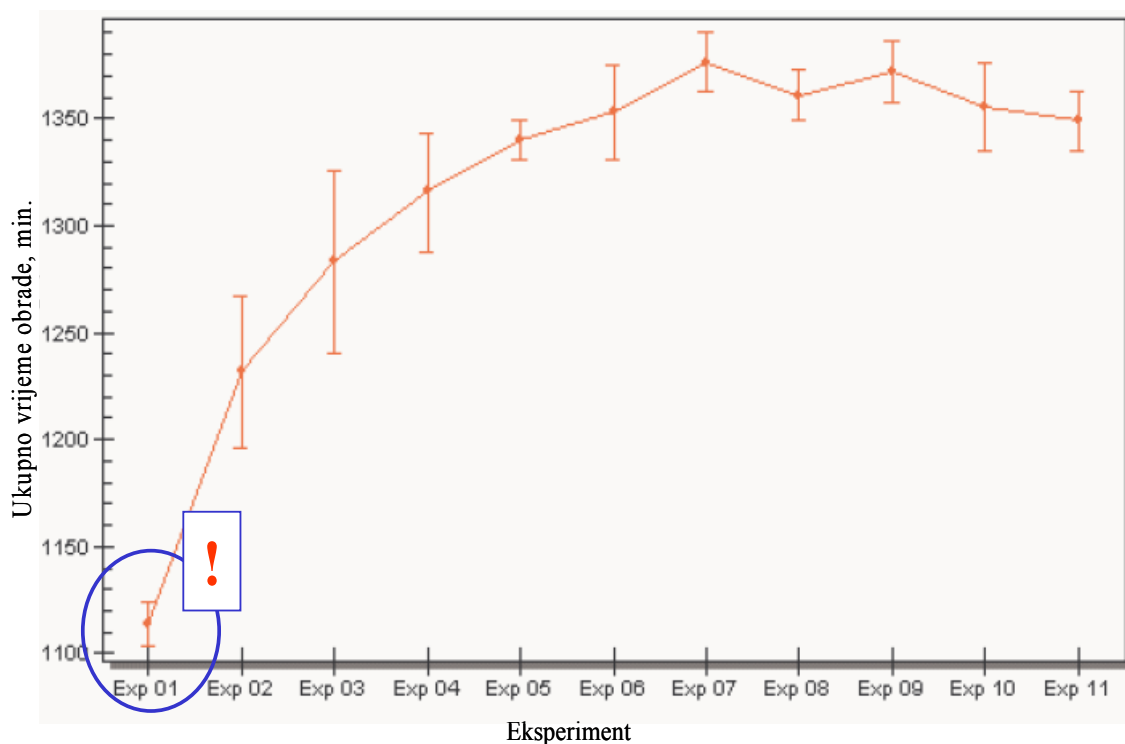
Sučelje za procjenu i prikaz rezultata eksperimenta, (područje 5, slika 38), prikazano je na slici 43.



Slika 43. Sučelje za procjenu i prikaz rezultata eksperimenta

Pri tome, jedan od praktičnijih načina prikaza rezultata pokusa je pomoću grafa na kojem se prikazuju vrijednosti izlazne varijable za svaki eksperiment u ovisnosti o mijenjanim značajkama. Na slici 44 vidi se jedan takav prikaz rezultata provedbe eksperimenata na kojem se može uočiti da je vrijeme trajanja obrade bilo najkraće u eksperimentu broj 1. Nadalje, potrebno je analizirati za koje elemente i njihove značajke je taj rezultat postignut.





**Slika 44.** Prikaz rezultata provedenih eksperimenata

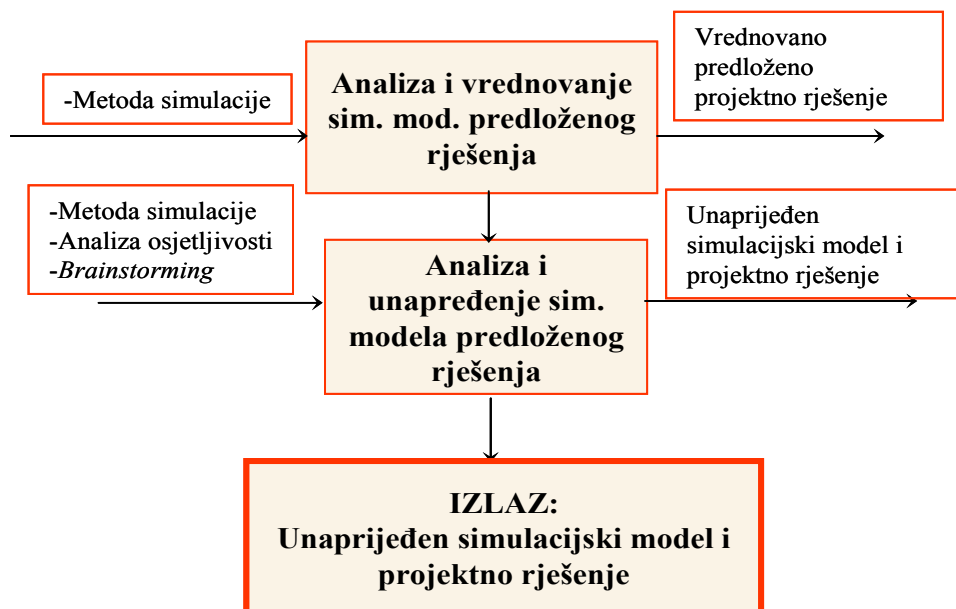
Koristeći se ovim alatom, a korištenjem sprege simulacijskog modela, računalne snage i integriranog alata za provođenje kompletnog plana pokusa moguće je u određenom vremenu simulirati kompletan broj scenarija. Pri tome, broj scenarija ovisi o broju odabranih značajki i broju vrijednosti za koje se značajke variraju. O tome koliki će se broj značajki simulirati, odlučuje se spomenutom analizom osjetljivosti, a o rasponu unutar kojih će se varirati vrijednosti tih odabranih značajki odlučuje se temeljem *brainstorming* metode. Primjer odabranih elemenata modela i raspona unutar kojih će se varirati njihove značajke prikazan je u tablici 17.

**Tablica 17.** Značajke linije koje se mijenjaju i moguć raspon promjene značajke

Element modela	Min. vrijednost značajke	Početna vrijednost značajke	Maks. vrijednost značajke
Brzina valjčastog transportera, $VT_2$	0.225 m/s	0.3 m/s	0.375 m/s
Međuskладиште $MS_1$	35 elemenata	40 elemenata	45 elemenata

Temeljem tako simuliranih scenarija, prateći izlazne rezultate pokusa, a u ovisnosti o definiranoj ciljnoj funkciji, izabire se optimalni scenarij odnosno ona kombinacija

značajki i njihovih vrijednosti koja najbolje odgovara postavljenim ciljevima projekta unutar zadanih ograničenja brodogradilišta, primjerice minimalnom ukupnom vremenu trajanja rezanja. Nadalje, po potrebi, i ovisno o zadacima i ciljevima projekta, temeljem simulacijskog modela mogu se dati odgovori i na različita specifična pitanja vezana za neke specifične podatke, kapacitete, vremena, uska grla, količine i tome sl. Na kraju, na slici 45 prikazana je struktura, metode i alati ove faze projektiranja, prema tablici 15.



Slika 45. Struktura, metode i alati faze analize proizvodnih scenarija i unapređenja simulacijskog modela

Izlaz ove faze je detaljno analiziran i unaprijeđen simulacijski model. Nadalje projekt treba detaljno dokumentirati i pripremiti za potencijalnu implementaciju u stvarni proizvodni proces.

## 4.2.6 Dokumentiranje provedbe i rezultata projekta

Osnovna zadaća ove faze jest dokumentirati postupak provođenja projekta, dokumentirati donesene rezultate projekta.

### 4.2.6.1 Zadaci

Osnovni zadatak ove faze projektiranja je:

**Dokumentiranje provedbe i rezultata projekta:** Nakon analize provedenih scenarija i donesenih zaključaka glede ciljeva projekta određeni međurezultati, konačni rezultat i ostali pokazatelji trebaju se prikazati i dokumentirati i to na jasan i pregledan način. Sve to doprinosi boljem razumijevanju dinamike i logike promatranog procesa.

#### 4.2.6.2 Prijedlog metoda i alata

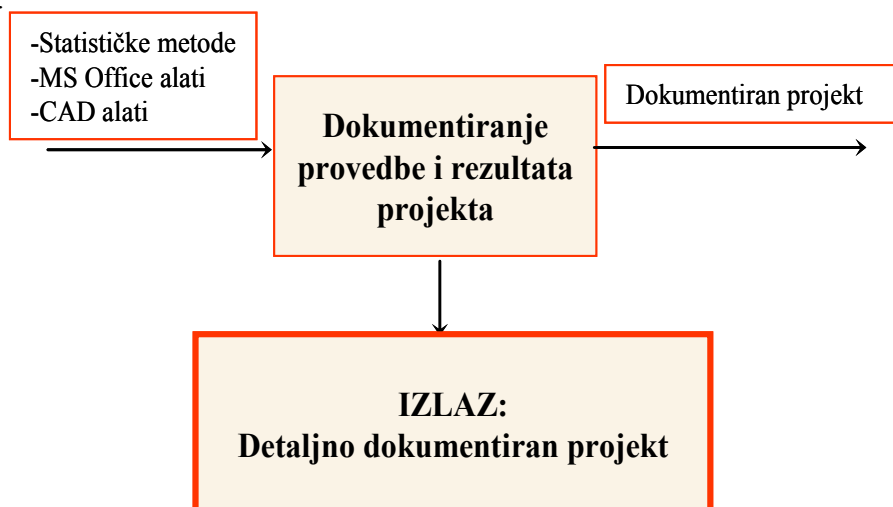
Sažeto, zadaci i metode ove faze projektiranja dani su u tablici 18.

**Tablica 18.** Zadaci, metode i alati faze dokumentiranja provedbe i rezultata

Kratak opis zadataka	Prijedlog metoda/alata
<b>Dokumentiranje provedbe i rezultata projekta</b>	-statističke metode -MS Office alati -CAD alati

Za potrebe dokumentiranja postupka provođenja projekta i njegovih rezultata uglavnom se koriste uobičajeni alati za predočavanje i organiziranje podataka. Primjerice, to su grafovi, dijagrami, Office alati kao što su Excel i Word, zatim CAD alati poput ACADa. Pri tome, do podataka se dolazi temeljem izlaznih podataka iz simulacijskog modela koji se mogu prikazati kakvi jesu ili se prema potrebi statistički obrađuju.

Na kraju, na slici 46, prikazana je struktura, metode i alati ove faze projektiranja, prema tablici 18.



**Slika 46.** Struktura, metode i alati faze dokumentiranja provedbe i rezultata projekta

Izlaz ove faze je detaljno opisan projekt s svim relevantnim podacima za postavljene ciljeve projekta, ali i ostali koji mogu biti od posebnog interesa naručitelju odnosno menadžmentu.

#### **4.2.7 Implementacija projektnog rješenja**

Osnovni cilj ove faze jest realizirati predloženo projektno rješenje temeljem predložene metodologije projektiranja, odnosno instalirati ga u stvarni brodograđevni proizvodni proces te povratnim informacijama iz procesa dodatno unaprijediti i poboljšati osnovani simulacijski model.

##### **4.2.7.1 Zadatak**

Osnovni zadaci ove faze projektiranja jesu sljedeći:

**1. Implementacija projektnog rješenja u stvarni brodograđevni proces:** Po završetku prethodnih faza projektiranja novog proizvodnog procesa temeljem metode simulacijskog modeliranja, može se pristupiti realizaciji investicije odnosno implementaciji definiranih rješenja i zaključaka u stvarni proizvodni proces.

**2. Dorada simulacijskog modela prema stvarnim podacima iz proizvodnje:** Simulacijski model se dodatno može, s povratnim informacijama iz stvarnog procesa, doraditi te se u svom konačnom obliku može koristiti za potrebe planiranja i praćenja stvarne proizvodnje, dodatnog unapređivanja proizvodnog procesa, predviđanja događaja i pojave uskih grla u procesu ovisno o proizvodnom planu itd.

Ovako dodatno dorađeni i prilagođeni model, temeljem stvarnih podataka koji su prikupljeni mjerenjem i analizom događaja u stvarnom proizvodnom procesu nakon implementacije, može se koristiti u svakodnevnoj proizvodnji kao alat za planiranje proizvodnje. Pri tome, takav simulacijski model se posebice može koristiti u svrhu predviđanja radnog opterećenja strojeva, radnih površina i skladišta te procjene potrebnih radnih sati za ostvarenje ciljanog proizvodnog plana. Nadalje, na taj način se unaprijed mogu uočiti potencijalni problemi u proizvodnom procesu, u smislu preopterećenja resursa, nedostatnih radnih sati, ili pojave uskih grla. Pravovremeno uklanjanje uzroka tako uočenih problema, prije nego se oni dogode u stvarnoj proizvodnji, bitno poboljšava

efikasnost proizvodnog procesa te značajno smanjuje troškove proizvodnje.

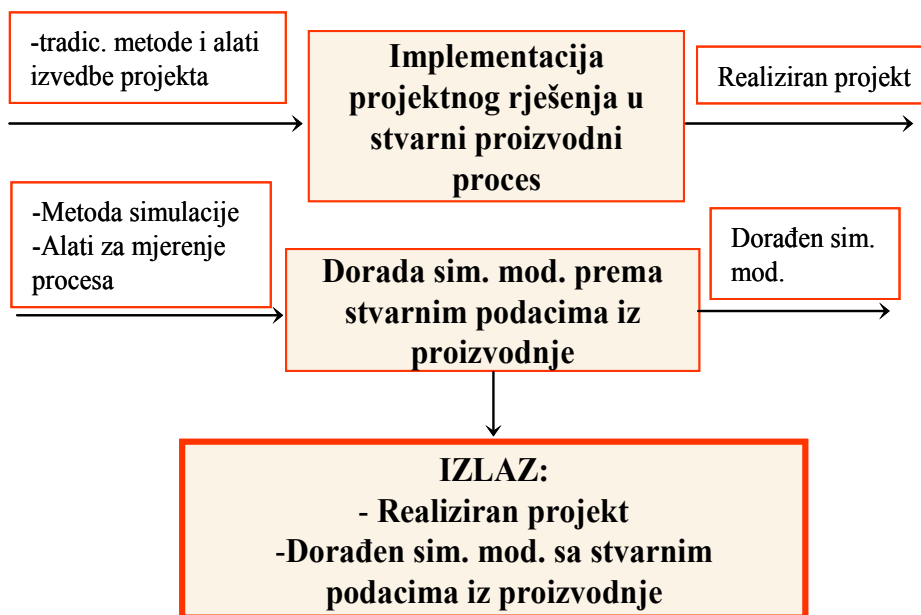
#### 4.2.7.2 Prijedlog metoda i alata

Sažeto, zadaci, metode i alati ove faze projektiranja prikazani su u tablici 19.

**Tablica 19.** Zadaci, metode i alati faze implementacije projektnog rješenja

Kratak opis zadataka	Prijedlog metoda/alata
<b>1. Implementacija projektnog rješenja u stvarni brodograđevni proces</b>	- tradic. alati i metode izvedbe projekta
<b>2. Dorada simulacijskog modela prema stvarnim podacima iz proizvodnje</b>	-alati za mjerenje procesa -metoda simulacije

Za potrebe ove faze koriste se uobičajene metode prikupljanja podataka iz stvarnog procesa u obliku mjerenja performansi, kapaciteta, količina i sl. Pri tome se podaci mogu obraditi i prikazati konvencionalnim statističkim alatima. Nadalje, izmjereni podaci stvarnog procesa, povratno se uključuju u simulacijski model te se koristeći metodom simulacije vrednuju, a model prema potrebi i doraduje. Na kraju, na slici 47 prikazana je struktura, metode i alati ove faze projektiranja, prema tablici 19.



**Slika 47.** Struktura, metode i alati faze implementacije projektnog rješenja

### 4.3 Pregled strukture, metoda i alata predložene metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa

Osnovne metode i alati koji se predlažu za korištenje u okviru ovdje predložene metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa su kako slijedi:

1. Metoda simulacije kao osnova predložene metodologije;
2. *Brainstorming* metoda,
3. *Benchmarking* metoda,
4. Regresijska analiza i
5. Analiza osjetljivosti.

Pri tome, među predloženim alatima izdvajaju se sljedeći:

1. Grafički prikaz procesa (slika 18); primjenjuje se za prikaz i opis toka procesa, toka materijala i operacija promatranog proizvodnog procesa.
2. Uzročno-posljedični dijagram (slika 19); primjenjuje se za analizu uzročno-posljedičnih veza u promatranom proizvodnom procesu s ciljem utvrđivanja uzroka uočenih problema što je posebno prikladno za razumijevanje veza i odnosa u procesu, što vodi do njegova boljeg razumijevanja, analize i u konačnici otkrivanja uzroka problema.
3. *Pareto* dijagram (slika 20); primjenjuje se za analizu i utvrđivanje vjerojatnosti da je određeni promatrani element ili značajka uzrok analiziranog problema, što je još jedan alat prikladan za analizu i razumijevanje proizvodnog procesa s svrhom utvrđivanja problema i prvenstveno njihovih uzročnika.

Nadalje, dati će se kratak osvrt na gore navedene korištene metode.

#### 4.3.1 Metoda simulacije kao osnovna metoda predložene metodologije

Metoda simulacije odabrana je kao osnovna metoda predložene metodologije projektiranja brodograđevnih proizvodnih procesa iz razloga koji su proizašli iz detaljne analize u poglavljima 2.2.7, 3.2.1. i 3.2.2., te mojeg osobnog iskustva iz dosadašnjeg istraživanja, [42], [43], [52], [59] i [87], a ovdje će se još jednom naglasiti ono najvažnije.

Brodograđevni proizvodni proces karakteriziraju sljedeći elementi koji ga razlikuju od većine drugih sličnih industrija:

- radno intenzivna djelatnost,
- složen tok materijala i postupci upravljanja njime,
- potreban je vrlo velik radni prostor, površine su vrlo važan resurs,
- proizvod je gotovo uvijek jedinstven i vrlo složen,
- vrlo velik broj međuproizvoda, ali zbog njihove iznimne raznolikosti gotovo je nemoguće primijeniti principe velikoserijske masovne proizvodnje, itd.

Klasičnim matematičkim relacijama praktički je nemoguće opisati svu složenost i posebno dinamiku takvih procesa i one ubrzo postaju daleko presložene i nepregledne te praktički neprimjenjive za primjenu u proizvodnji i za potrebe menadžmenta.

Metoda simulacijskog modeliranja, sa druge strane, je posebno pogodna za analizu takvih složenih proizvodnih procesa, pa stoga i za brodograđevni, jer se za opisivanje i analizu proizvodnog procesa služi metodom modeliranja, ali računalno podržanog modeliranja u specijaliziranim diskretnim simulacijskim softverima koji se temelje na odgovarajućim objektno orijentiranim simulacijskim jezicima. Pri tome softveri za simulacijsko modeliranje pružaju velike mogućnosti eksperimentiranja, variranja parametara, analize, a sve na dinamičkom modelu proizvodnog procesa, u ovisnosti o vremenu i uz vizualni prikaz dinamike modela. Takav pristup omogućava mnoge prednosti, među kojima su one najznačajnije kako slijedi:

- Simulacijski je model relativno vjeran prikaz realnog sistema;
- Simulacijskim modeliranjem moguće je uočavanje "uskih grla" na modelu prije nego se ona dogode u stvarnom procesu;
- Simulacijsko modeliranje može se koristiti za eksperimentiranje sa različitim inačicama novog dizajna (*what-if* scenariji), prije konačne odluke o tome u što će se investirati i bez zadiranja u stvarni proces;
- Simulacijsko modeliranje se može koristiti za verifikaciju predloženih rješenja nekog problema u proizvodnji, ili za eksperimentiranje sa nekim kritičnim elementima u njihovom kritičnom području rada.

Realizacija, odnosno implementacija gore navedenih prednosti u postupak

projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa, rezultirati će takvim projektnim rješenjem koje će:

- posjedovati bolju razinu prilagođenosti promatranom brodogradilištu, posebno sa stajališta definiranih proizvodnih zahtjeva i interakcije s postojećim dijelovima proizvodnog procesa,
- sadržavati znatno manju razinu rizika kod odlučivanja,
- rezultirati manjim troškovima projektiranja, implementacije, eksploatacije i održavanja projektiranog proizvodnog procesa,
- u tako projektirani proizvodni proces uključiti višu razinu fleksibilnosti i kontrole tijekom eksploatacije,
- rezultirati kraćim vremenom trajanja gradnje broda te nižim troškovima gradnje broda, i
- u konačnici, rezultirati brodograđevnim procesom koji sadrži znatno višu razinu efikasnosti i konkurentnosti na brodograđevnom tržištu.

#### **4.3.2 Prilagođena *brainstorming* metoda kao osnova za potrebe kritičke analize, definiranja problema i ciljeva projektiranja**

*Brainstorming* metoda u svojem punom obimu jest metoda koja obuhvaća širi skup postupaka kojima je zajedno cilj poticati timski rad te ga učiniti kreativnijim i efikasnijim.

Posebno je pogodna u početnoj fazi rješavanja problema, [112]. S obzirom da u brodogradnji postupak projektiranja podrazumijeva u pravilu intenzivan timski rad, u kojem često, pogotovo u početnim fazama, postoji mnogo nepoznanica na koje je moguće naći odgovor samo kreativnim razmišljanjem unutar osnovanog tima, i kada je nemoguće doći do uobičajenih egzaktnih rješenja, pokazatelja i informacije, *brainstorming* metoda se često nameće kao logičan izbor. Također, moja osobna iskustva iz dosadašnjih istraživanja, [42], [43], [52], [59] i [87] su vrlo pozitivna i primjena elemenata ove metode na svakodnevne zadatke u tijeku procesa projektiranja pokazala se vrlo plodonosnom i efikasnom. Posebice je smatram pogodnom kada provođenje projekta zahtjeva s jedne strane puno komunikacije s suradnicima i stručnjacima iz područja koje se projektira, a s druge strane zahtjeva donošenje odluka koje vezane uz različita pitanja na koje odgovore treba tražiti prvenstveno u iskustvu suradnika, a ne toliko u direktnom izvoru podataka kojeg ili nema ili je nedostatan. Ova metoda tada potiče okupljanje stručnjaka različitih



vještina koji u direktnoj diskusiji i razmjeni mišljenja praktički dolaze do novih ideja i rješenja, a do kojih se drugačije nije moglo niti doći.

Osnovni princip, ili kvaliteta ove metode je da potiče donošenje što većeg broja ideja od svih članova tima, bez ocjenjivanja i kritiziranja istih za vrijeme trajanja *brainstorminga*. Tek se po završetku pristupa analizi ideja i prijedloga. Pri tome, metoda ima pet osnovnih pravila, [112]:

1. **Kritiziranje ideja nije dozvoljeno tijekom trajanja *Brainstorminga***; Osnovna ideja ovog pravila je da su sve ideje potencijalno dobre i da mogu poslužiti, iako možda sama po sebi i nije rješenje problema, kao poticaj za drugu, bolju, ideju istog člana tima ili drugih članova tima.
2. **Poticati neuobičajene ideje, pa i pretjerivanje**; Princip ovog pravila je da se iznošenje različitih pa i neuobičajenih ideja može promatrati kao vrsta interaktivnog postupka. Naime, svaka ideja uvijek može poslužiti kao temelj za nadogradnju, svaka ideja je uvijek bolji početak od nikakve ideje. Osim toga, ovim pravilom se potiče i nekonvencionalno razmišljanje članova tima koje nekada može dovesti do originalnih i nekonvencionalnih rješenja, pravih otkrića.
3. **Bitna je brojnost ideja, a manje njihova kvaliteta**; Osnovni princip ovog pravila, kao i cijele *brainstorming* metode, jest stvaranje i prikupljanje što više ideja koje u kasnijoj fazi čini valoriziranje ideja kvalitetnijim, a time i usvojeno rješenje. Naime, zasigurno je veća vjerojatnost da će iz veće količine ideja proizaći bolje rješenje od onoga proizašlom iz manje količine ideja. Također, nekada je poželjno i vremenski ograničiti vrijeme razmišljanja, kako bi broj ideja time bio još veći, a članovi tima aktivniji i slobodniji.
4. **Ideje i prijedloge treba nadograđivati i koristiti kao temelj za daljnja istraživanja**; Svaku ideju treba „pohraniti“ i uzeti je obzir pri razmišljanju i donošenju drugih ideja, bilo kao samostalna ideja ili u kombinaciji s drugim idejama.
5. **Sve ideje od svih sudionika diskusije imaju jednaku vrijednost**; Ovo pravilo je važno kako bi se svaki član tima osjećao jednako vrijedno, samopouzđano i opušteno, što onda dovodi do većeg broja kvalitetnijih ideja.

Prikupljene ideje se nakon provedene rasprave moraju obraditi. Pri tome, ideje se mogu obraditi na način da se najprije grupiraju prema problemu odnosno cilju na koji su usmjerene, svojoj međusobnoj sličnosti, itd. Ideje se tako grupiraju u određene skupine sa nekim od spomenutih zajedničkim nazivnicima. Ideje tada treba vrednovati prema nekim

kriterijima, primjerice može se za određeni problem voditi evidencija koliko je i kakvih rješenja predloženo, ukoliko određeni broj istih ili dovoljno sličnih rješenja prevladava, takvo se rješenje uzima ili kao konačno rješenje, ili se temeljem njega reducira broj inicijalnih ideja na manji broj, te se ulazi u drugi krug vrednovanja. Pri tome, moguće je u svakoj fazi dopunjavati ideje odnosno rješenja, a prema potrebi i krenuti u potpuno novi krug *brainstorminga*.

Nadalje, važni preduvjet za uspješan *brainstorming* je da u timu postoji što veći broj kvalitetnih pojedinaca, iz različitih područja, ne nužno uvijek bliskih s promatranim problemom. Primjena ove metode nije nužna, ali može biti korisna u situacijama kada struktura proizvodnog procesa nije dovoljno poznata ili postoji nedostatna količina informacija o procesu. U tom slučaju takva metoda koja kao rezultat ima velik broj ideja, pogotovo u početnoj fazi, može biti efikasnija od više formalnog i strukturno čvršćeg uzročno-posljedičnog dijagrama. Pri tome, s obzirom da ova metoda nema kruta i precizno strukturirana pravila, što i jest jedna od njenih prednosti, ona se može promatrati i primjenjivati u njezinom slobodnom obliku, potpuno otvorenom i fleksibilnom, što možda više odgovara nekim drugim primjenama, ali u slučaju o kakvom se radi u ovom istraživanju, dakle za projektiranje brodograđevnog proizvodnog procesa, predlaže se ipak više formalan pristup, preferirajući nešto čvršću strukturu.

U tom smislu, za potrebe ovog istraživanja, a i uopće za potrebe projektiranja proizvodnih procesa, predlaže se prilagođen pristup u odnosu na gore navedena pravila. Stoga, predlažu se modificirana osnovna pravila, prema mišljenju autora više prilagođena inženjerskom tipu posla, konkretno projektiranju proizvodnih procesa.

Tako modificirana osnovna struktura metode predviđa u timu okupljati prvenstveno ljude usko vezane uz promatrani projektirani proces, ali i određeni broj stručnjaka povezanih sa ekonomskim aspektima problematike. Nadalje, ne predlaže se intenzivno poticanje pretjerivanja, iako je to jedno od osnovnih pravila metode, već će se predlaže diskusiju voditi opušteno i neopterećeno pravilima, ali je ipak zadržati unutar realnih inženjerskih okvira, ekonomskih okvira i ograničenja proizvodnog procesa specifičnog brodogradilišta za koje se projekt provodi. Nadalje, osnovno se pravilo, da sve ideje svih sudionika diskusije imaju istu vrijednost, u osnovi zadržava, ali se starijim i iskusnijim članovima ipak na određen način, ovisno o konkretnoj situaciji i problematici, pridaje veća težina njihovoj ideji ili prijedlogu rješenja, a posebice u uvjetima kada je potrebno donijeti neku konačnu odluku.

Na ovaj način očekuje se prilagoditi metodu koja više odgovara inženjerskoj primjeni, ali pri tome zadržavajući njenu slobodnu i fleksibilnu karakteristiku, što je i čini

posebno prikladnom za primjenu u situacijama projektiranja potpuno novog proizvodnog procesa, s uključenim mnogim nepoznanicama, složenostima i nepotpunim podacima.

#### 4.3.3 Elementi *benchmarking* metode kao osnova definiranja značajki opreme i ciljeva projekta

*Benchmarking* se definira kao proces kojim se prikupljaju podaci u cilju utvrđivanja vlastitih realnih proizvodnih ili poslovnih ciljeva, [115]. U osnovi, ova metoda nosi ideju kako uspoređivanje s drugim, sličnim konkurentskim procesima dovodi do unapređenja vlastitog procesa. Ideja u osnovi naravno nije nova, ali je ovom metodom ona dotjerana i formalizirana. Lako je zaključiti da je metoda doživjela procvat upravo u novije vrijeme, kada su konkurencija na svjetskom tržištu i globalna utrka za profitom dosegle vršne razine u povijesti, a svaka i najmanja komparativna prednost prema konkurenciji postala iznimno važna.

Pri tome, *benchamrking* metoda obuhvaća mnogo više elemenata od onih koji se predlažu primijeniti za potrebe ovog istraživanja te oni nisu nužni za ostvarivanje ciljeva projektiranja proizvodnih procesa. *Benchmarking* je u širem smislu gledano metoda za sveobuhvatno unapređenje i osiguravanje kvalitete proizvoda, procesa, usluga i uopće cjelokupne strategije poslovanja tvrtke. U osnovi, postoje sljedeće vrste *benchmrkinga*, [116]:

- **Interni;** upravljanje znanjem, informacijama i resursima unutar vlastite tvrtke, a provodi se na način da se objekti usporedbe uspoređuju međusobno. Cilj takve usporedbe jest unapređenje vlastitog procesa, ali temeljem rezultata i informacija proizašlih iz internog uspoređivanja.
- **Konkurentski;** vlastita se tvrtka uspoređuje sa konkurentskom tvrtkom. U slučaju ovog istraživanja, uspoređuje se proizvodni proces jednog brodogradilišta s proizvodnim procesom konkurentskog brodogradilišta. Naravno, problemi mogu nastati zbog toga što su podaci konkurentskih tvrtki redovito zaštićeni propisima o tajnosti podataka. Unatoč tome, suradnjom i dogovorom s obostranim interesom, takvi se problemi u određenoj mjeri mogu prevazići. Pri tome, primjena ove vrste *benchmarkinga* se predlaže u okviru metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa.
- **Funkcijski;** uspoređuju se određeni postupci ili operacije sa istim ili sličnim postupcima i operacija u drugim proizvodnim procesima. Pri tome, ti drugi

proizvodni procesi mogu biti iz istog područja poslovanja, ali i iz nekog drugog sličnog područja. Primjerice, kao u slučaju ovog istraživanja, operacije obrade profila na robotiziranoj liniji uspoređivale su se sa sličnom robotiziranom linijom za obradu profila u drugom domaćem brodogradilištu, što je doprinijelo donošenju određenih zaključaka u okviru definiranja karakteristika novo projektirane linije za promatrano brodogradilište.

Dakle, funkcijska vrsta *benchmarkinga* se također predlaže za primjenu u okviru predložene metodologije.

- **Opći;** usporedba vlastitog proizvodnog procesa s proizvodnim procesima s potpuno drugačijom proizvodnom djelatnošću s kojom nema konkurentski odnosa, ali ipak postoje određene sličnosti iz kojih se stoga mogu izvući korisni zaključci za unapređenje vlastitog procesa.

Dakle, kako je spomenuto u prethodnoj raščlambi vrsta *benchmarkinga*, za potrebe ovog istraživanja, odnosno primjene u okviru predložene metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa, koristiti će se **konkurentski benchmarking** i **funkcijski benchmarking**.

Naime, odabrani elementi metode u primjeru će primarno služiti za usporedbu postojećeg proizvodnog procesa i operacija, odnosno procesa i operacija za novu proizvodnu liniju koja se projektira, sa sličnim proizvodnim procesima i operacijama u konkurentskim poduzećima.

S obzirom da se u ovom istraživanju radi o brodograđevnom proizvodnom procesu, usporedba će primarno biti usmjerena prema drugim brodogradilištima, ali ne isključuje se usporedba i s nekim drugim industrijama. Pri tome, svrha takve usporedbe jest osiguravanje dodatnih informacija pri vrednovanju postojećeg brodograđevnog proizvodnog procesa, kao i pri donošenju odluka vezanih za karakteristike budućeg procesa koji se projektira. Naravno, s obzirom da se radi o usporedbi sa sličnim procesima rezultati se ne mogu smatrati egzaktnima i izravno primjenljivima, ali mogu, i služe, kao dobra osnova u početnoj fazi projektiranja, kada postoji mali broj podataka, saznanja i spoznaja o tome kakav projekt treba biti i što uopće najbolje odgovara definiranom projektnom zahtjevu i ciljevima, te se primarno za tu svrhu i predlaže u okviru ovog istraživanja. Tako prikupljena saznanja mogu se pritom uključiti u vlastite projektne zahtjeve, odnosno proces, a za daljnji razvoj, prilagođavanje i unapređivanje rješenja koristi se metoda simulacijskog modeliranja.

#### 4.3.4 Prilagođena metoda analize osjetljivosti kao osnova za utvrđivanje kriterija odabira utjecajnih značajki i scenarija

Prije definiranja onih elemenata metode analize osjetljivosti koji se predlažu za primjenu u okvirima potreba ovog istraživanja, u nastavku će se dati pregled osnovnih elemenata i principa metode analize osjetljivosti.

Metoda analize osjetljivosti je metoda operacijskih istraživanja skupine linearnog programiranja, koja proučava kako promjene parametara modela, odnosno vrijednosti značajki, utječu na optimalno rješenje linearnog programiranja, [114].

Analiza osjetljivosti može biti korisna u različitim slučajevima, primjerice:

- pri projektiranju novog proizvodnog procesa,
- pri analizi postojećeg proizvodnog procesa,
- kao pomoć u procesu donošenja odluka,
- za potrebe procjene rizika, itd.

Nadalje, u postupku provođenja analize osjetljivosti promjenljive varijable su:

- vrijednosti ulaznih parametara modela proizvodnog procesa,
- vrijednosti značajki elemenata modela proizvodnog procesa i
- ostale vrijednosti koje definiraju ili ograničavaju osnovani model proizvodnog procesa.

Svrha i rezultati primjene metode analize osjetljivosti mogu biti sljedeći:

- verifikacija modela,
- identificiranje nelogičnosti u ponašanju modela proizvodnog procesa,
- pojednostavljivanje modela,
- identificiranje novih vrijednosti značajki i eksperimenata,
- definiranje vrijednosti značajki elemenata modela,
- utvrđivanje kritičnih značajki modela, itd.

Prema načinu provođenja, razlikuju se dvije varijante metode analize osjetljivosti, a odluka često ovisi o karakteristikama slučaja na koji se primjenjuje, i to, [117]:

- **Analitička analiza osjetljivosti**

- za dobro definirane sustave,
- rješavanju problema pristupa se parcijalnom derivacijom, (2):

$$S_x^F = \frac{\partial F}{\partial x}, \quad (2)$$

pri čemu  $S$  definira osjetljivost funkcije  $F$ , odnosno promjenu, promatrane funkcije  $F$  ovisno o promjeni parametra  $x$ .

- **Empirijska analiza osjetljivosti:**

- eksperimentiranjem se analiziraju promjene na modelu sustava uslijed promjena parametara modela,
- prikladnija za složene sustave i one koji nisu precizno definirani.

Prema načinu variranja vrijednosti, funkcija osjetljivosti može biti:

- **Apsolutna analiza osjetljivosti;** Pri čemu je apsolutna analiza osjetljivosti ona u kojoj se vrijednosti značajke variraju u određenim apsolutnim iznosima i koristi se za:

- procjenu promjena izlaznih parametara zbog promjena ulaznih parametara u model i vrijednosti značajki modela,
- identificiranje onih parametara koji imaju najjači utjecaj te za koju vrijednost značajke.

- **Relativna analiza osjetljivosti;** Pri čemu je relativna analiza osjetljivosti ona kojoj se vrijednosti značajki mijenjaju relativno u postotnim iznosima. Na ovaj se način uočavaju najutjecajnije značajke za neku postotnu promjenu njene vrijednosti. Također, služi i za uspoređivanje i identificiranje međuzavisnosti značajki.

Kako je bilo u opisu metodologije spomenuto, predlaže se primjena prilagođene metode analize osjetljivosti kao osnove za utvrđivanje kriterija za utvrđivanje utjecaja značajki procesa.

Za potrebe ovog istraživanja, predlažu se određene prilagodbe standardne metode analize osjetljivosti, i to:

- 1. Za procjenu utjecaja promjena vrijednosti značajki procesa na osnovnu funkciju cilja u preliminarnoj fazi projektiranja;** metoda analize osjetljivosti primarno se ne koristi za procjenu utjecaja promjene parametara, odnosno vrijednosti značajki, na ono optimalno rješenje, već se koriste principi metode analize osjetljivosti za procjenu utjecaja promjena vrijednosti značajki procesa na osnovnu funkciju cilja, dakle ne nužno na optimalno rješenje, već na ono predloženo projektno rješenje s kojim se ulazi u simulacijsko modeliranje. Na taj način će se eliminirati one značajke čije je utjecaj slab ili nepostojeći, a daljnji proces analiziranja scenarija i unapređenja nastaviti će se samo sa odabranim značajkama. Ovakav pristup se predlaže za situaciju kada postoji velik broj elemenata procesa koji nisu nužno svi važni za analizu i postizanje definiranih projektnih ciljeva pa ih treba identificirati i eliminirati iz daljnjeg procesa projektiranja.
- 2. Koristi se empirijska vrsta analize osjetljivosti s metodom simulacijskog modeliranja;** prilagodba se odnosi i na to da će se koristiti empirijska vrsta analize osjetljivosti, pomoću metode simulacije temeljem osnovanog simulacijskog modela projektiranog proizvodnog procesa i provođenja eksperimenata nad njime, a ne analitička koja u osnovi spada pod klasičan problem linearnog programiranja i identificiranja robusnosti definiranog optimalnog rješenja.

Također, prema potrebi, metoda analize osjetljivosti predlaže se koristiti i za:

**Utvrđivanje robusnosti predloženog rješenja;** kada se model unaprijedi i projektno rješenje predloži kao konačno, metoda analize osjetljivosti se, prema potrebi, predlaže primijeniti, ovaj puta upravo za njezinu osnovnu namjenu, a to je utvrđivanje robusnosti predloženog optimalnog rješenja. Naime, za predloženo optimalno rješenje će se, metodom analize osjetljivosti, utvrditi utjecaj promjena parametara značajki na ciljnu funkciju, odnosno za koji raspon promjena vrijednosti značajki, rješenje modela i dalje ostaje unutar definiranih granica (npr. ukupno trajanje vremena rezanja).

**Provjeru i verifikaciju modela;** osim samo za određivanje robusnosti predloženog rješenja metoda analize osjetljivosti može poslužiti kao koristan alat za provjeru i verifikaciju modela. Naime, ukoliko se metodom analize osjetljivosti primijeti određeni

nelogični ili preintenzivni ili čak nepostojeći odzivi na promjene vrijednosti značajki, to može implicirati na postojanje određenog problema kojeg treba analizirati. Primjerice neki od rezultata analize osjetljivosti, a koji mogu ukazati na nepravilnosti i probleme u modelu su sljedeći:

- sustav je preosjetljiv na promjene vrijednosti značajki i to onih na koje korisnik nema značajnog utjecaja i kontrole, što može ukazivati na greške u logici modeliranja,
- ukoliko je rezultat analize osjetljivosti iznenađujući i neočekivan za većinu sudionika projekta, isto može također ukazivati na potencijalni problem,
- ukoliko se rezultati analize osjetljivosti modela značajno razlikuju od rezultata analize osjetljivosti na stvarnom sustavu, isto također može ukazivati na potencijalno loš model sustava, itd.

#### **4.3.5 Regresijska analiza kao osnova za normalizaciju ulaznih podataka**

Više puta do sada je naglašen problem nepostojanja ili nedostatnosti podataka i to zato jer je to vrlo čest problem u praktičnim projektima. Pri tome se za slučajeve nepotpunosti podataka, u fazi njihova prikupljanja, za njihovu normalizaciju odnosno definiranje onih nužnih za nastavak projekta, predlaže primjena metode regresijske analize.

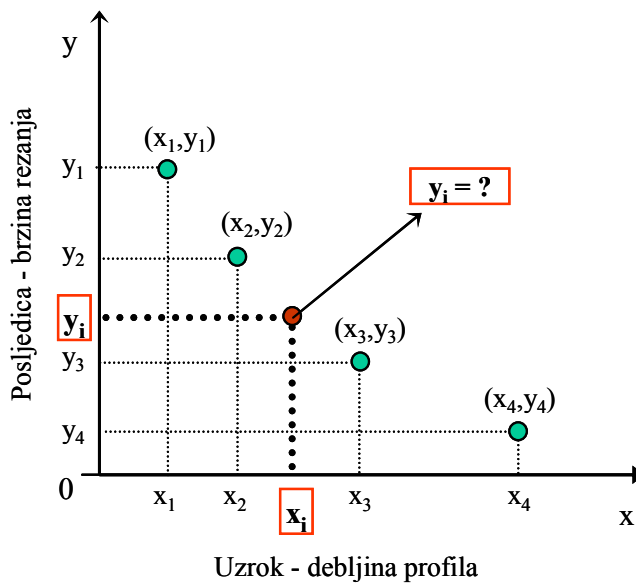
Regresijska analiza jest metoda kojom se analitički objašnjava veza između promatranih pojava. U okviru regresijske analize istražuje se uzročno posljedični karakter veze. Jedna je varijabla uzrok, a druga posljedica te se koristi kada se želi procijeniti vrijednost jedne varijable-posljedice ovisno o vrijednosti varijable-uzroka. U primjeru u ovom istraživanju:

- uzrok = debljina profila
- posljedica = brzina rezanja

Pri tome, vrijednosti mjerenja, očitavanja ili podataka dobivenih od proizvođača prikazani su kao parovi podataka koji se sastoje od podataka za nezavisnu varijablu (obično uzrok, odnosno debljina profila u primjeru ovog rada) i od podataka za zavisnu varijablu (obično posljedica, u primjeru ovog istraživanja to je brzina rezanja). Parovi rezultata prikazani su kao točke u koordinatnom sustavu koji na osi  $x$  ima vrijednost za



varijablu uzroka (debljina), a na osi  $y$  ima vrijednost za varijablu posljedice (brzina rezanja), slika 48.



**Slika 48.** Parovi rezultata ovisnosti brzine rezanja o debljini profila prikazani kao točke u koordinatnom sustavu

Problem koji je trebalo riješiti u ovom istraživanju je taj da više od određenog ograničenog broja podataka nije niti bilo dostupno. Međutim, za potrebe kvalitetnog definiranja odnosno modeliranja brzina rezanja robota potrebno je poznavati i vrijednosti brzina rezanja  $y_i$  za ostale međuvrijednosti debljina profila. Pri tome, međudebljine profila su naravno poznate, ali za nju treba odrediti odgovarajuću brzinu rezanja prema poznatim podacima.

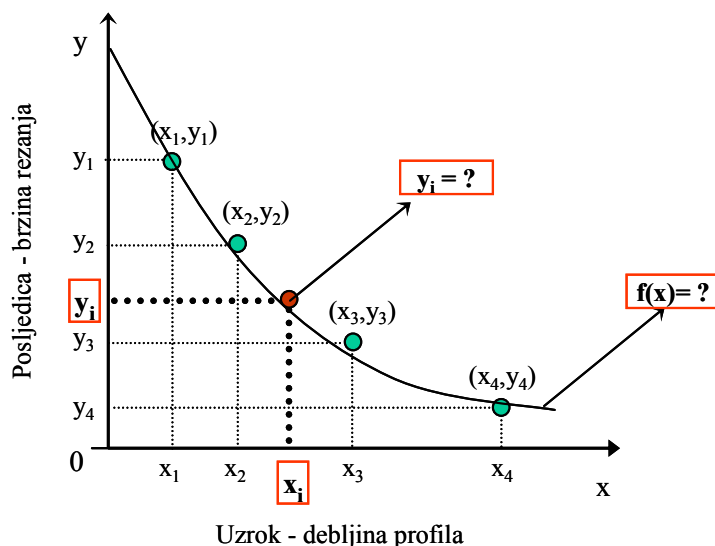
Dakle, za neku drugu, ali poznatu međuvrijednost debljine profila  $x_i$  potrebno je odrediti odgovarajuću brzinu rezanja  $y_i$ .

U tu svrhu, potrebno je, koristeći se poznatim točkama, definirati pravac ili krivulju koja zadovoljavajuće povezuje odnosno opisuje poznate točke odnosno poznate podatke.

Pri tome oblik povezanosti varijabli može biti:

- linearna povezanost, odnosno pravac:  $y = ax + b$
- krivolinijska povezanost:
  - eksponencijalna krivulja:  $y = ae^{bx}$ ,
  - logaritamska krivulja:  $y = a + b \ln x$ ,
  - polinom drugog reda:  $y = ax^2 + b$ , itd.

Odabir krivulje ovisi o tome kakav je karakter ponašanja poznatih podataka. Ukoliko je raspršenost poznatih podataka eksponencijalnog karaktera, za njihovo opisivanje će odgovarati eksponencijalna krivulja i sl. U primjeru sa slike 48, može se primijetiti da će krivulja koja najbolje opisuje ponašanje poznatih točaka biti polinom drugog stupnja, kako je prikazano na slici 49.



**Slika 49.** Prikaz funkcije,  $f(x)$ , koja opisuje zadane podatke

Nadalje slijedi osnovni problem regresijske analize, a to je definiranje funkcije  $f(x)$ , odnosno njezinih koeficijenata koji se nazivaju i koeficijentima regresije. O načinu kako se analitičkim putem dolazi do koeficijenata regresije odnosno same funkcije regresije opisano je u literaturi matematičke analize, [27], [29], [114], [117], itd.

Međutim, za potrebe ovog istraživanja i rješavanje praktičnog problema nepotpunosti podataka neće se ići u daljnju analizu određivanja regresijske metode, niti se korištenje takvog pristupa predlaže u okviru ove metodologije.

U okviru ove metodologije, za potrebe rješavanja ovakvog i sličnih praktičnih problema nepotpunosti podataka predlaže se korištenje Excel softverskog paketa te njegovog ugrađenog modula za regresijsku analizu. Naime, korištenjem takvog modula, temeljem poznatih podataka može se doći do izraza za regresijsku krivulju, pomoću koje se kasnije izračunavaju i ostali potrebni podaci. Na taj način se relativno jednostavno, temeljem dostupnih podataka i ovako definirane krivulje koja zadovoljavajuće dobro opisuje karakter poznatih podataka, mogu izračunati i oni podaci koji inicijalno nisu bili dostupni. Pri tome, u svojoj dosadašnjoj praksi sam često vrlo uspješno primjenjivao ovu metodu za normalizaciju nepotpunih podataka ili za potrebe ekstrapolacije postojećih

podataka, [42], [43], [52], [59] i [87], i smatram je korisnom metodom za rješavanje čestog praktičnog problema nedostatnosti ili nepotpunosti podataka. Sam postupak korištenja je već bio opisan u poglavlju 4.2.3.2, pa se ovdje neće ponavljati.

#### **4.3.6 Grafički i tablični prikaz strukture, metoda i alata predložene metodologije projektiranja**

Na kraju, kao zaključak cijelog poglavlja 4.3., struktura predložene metodologije organizirana je i prikazana tablično, u tablici 20., a na slici 50 blok dijagramom je prikazana struktura predložene metodologije projektiranja procesa koja je temeljena na metodi simulacijskog modeliranja. Primjena ove metodologije biti će prikazana u sljedećem poglavlju na primjeru projektiranja potpuno nove robotizirane linije za obradu profila u brodograđevnom proizvodnom procesu.

Ovdje valja naglasiti da je to osnovna struktura koja ne mora kruto biti primjenjena na konkretan primjer. Određene manje modifikacije su moguće, ovisno o specifičnostima projekta, ograničenjima i ciljevima.

**Tablica 20.** Skupni prikaz zadataka te pripadajućih metoda i alata metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa

Faza projekt.	Zadatak	Prijedlog metode/alata
1.	1. Definiranje problema	- grafički prikaz toka procesa - uzročno-posljedični dijagram - <i>brainstorming</i> - <i>pareto</i> dijagram
	2. Definiranje ciljeva projekta	- <i>benchmarking</i>
	3. Definiranje odgovornosti i rokova projekta	- gantogram
2.	1. Definiranje ulaznih podataka i preliminarnog projektnog rješenja	- CAD alati - grafički prikaz procesa - <i>benchmarking</i>
	2. Idejno osmišljavanje simulacijskog modela proizvodnog procesa	- metoda simulacije - simulacijski jezik <i>SimTalk</i>
3.	1. Organiziranje i sistematizacija prikupljenih podataka	- regresijska analiza - metoda simulacije
	2. Definiranje ulaznog proizvodnog asortimana	- statistička analiza - histogram - <i>brainstorming</i>
	3. Osnivanje simulacijskog modela proizvodnog procesa	- metoda simulacije - <i>eM-Plant</i> - <i>SimTalk</i> programski jezik
4.	Verifikacija simulacijskog modela	-metoda simulacije -analiza osjetljivosti - <i>brainstorming</i>
5.	1. Analiza i vrednovanje simulacijskog modela predloženog projektnog rješenja	- metoda simulacije
	2. Analiza i unapređenje simulacijskog modela predloženog projektnog rješenja	- metoda simulacije - analiza osjetljivosti - <i>brainstorming</i>
6.	Dokumentiranje provedbe i rezultata projekta	-statističke metode -MS Office alati -CAD alati
7.	1. Implementacija projektnog rješenja u stvarni brodograđevni proces	- tradic. alati i metode izvedbe projekta
	2. Dorada simulacijskog modela prema stvarnim podacima iz proizvodnje	-alati za mjerenje procesa -metoda simulacije



Slika 50. Osnovna struktura predložene metodologije projektiranja brodograđevnog procesa

## **5. PRIMJENA SIMULACIJSKOG MODELIRANJA KOD PROJEKTIRANJA ROBOTSKE LINIJE ZA OBRADU PROFILA**

U ovom poglavlju, prezentirati će se primjena metode simulacijskog modeliranja za projektiranje procesa i to na realnom primjeru razvojno istraživačkog investicijskog projekta implementacije nove automatizirane linije za obradu profila i traka u stvarnom brodogradilištu. Linija predstavlja sastavni dio jedne faze u procesu gradnje brodske trupa. Svrha investiranja u novu robotiziranu liniju za obradu profila i traka jest unapređenje trenutne proizvodnosti i opće efikasnosti u tom dijelu proizvodnje. Za tu svrhu u ovom primjeru traženo je da se u sklopu projektiranja nove robotizirane linije za rezanje ravnih profila za odabrano brodogradilište, razvije računalni simulacijski model kao potpora procesu odlučivanja vezano za investiciju u novu tehnologiju.

Stoga, na temelju predložene konfiguracije linije razrađen je grafički prikaz procesa te su identificirani relevantni parametri. Izvršeno je modeliranje proizvodne linije za rezanje ravnih profila i traka primjenom metode simulacije. Nakon provjere i potvrde simulacijskog modela linije, temeljem tako osnovanog modela odnosno simulacijom proizvodnog programa na osnovu odabrane karakteristične grupe, izvršila se provjera pretpostavljenog projektnog rješenja brodogradilišta u kontekstu zadovoljavanja projektnih zahtjeva, koristeći se preliminarnim projektom pretpostavljenih parametara linije.

Nadalje, na osnovanom računalnom modelu koji simulira promatranu liniju za rezanje profila, provesti će se analiza s ciljem utvrđivanja pojave "uskih grla", utvrđivanja optimalnih parametara linije, te dimenzija i kapaciteta pojedinih resursa linije, a u okviru projektnih ciljeva i ograničenja. Na osnovu provedene analize i donesenih zaključaka sugerirale bi se određene modifikacije i moguća unapređenja konfiguracije linije sa stajališta proizvodnje. Također, očekuje se da odluka o konačnoj konfiguraciji razmatrane linije sadrži manji rizik u procesu donošenja projektnih i investicijskih odluka od one temeljene na konvencionalnom pristupu.

Pri tome, od modela se očekuje da ne služi samo u svrhu potpore projektiranju novog proizvodnog procesa, već i da se kasnije temeljem tog modela vrši kontinuirano planiranje, kontrola i unapređivanje proizvodnje.

## 5.1 Definiranje problema i ciljeva projekta robotske linije

Postojeći proizvodni proces za obradu ravnih profila nedostatne je propusnosti i zastarjele tehnologije te okupira previše prostora, radne snage i ostalih resursa. Od predložene nove robotske linije za obradu profila, u odnosu na stari proizvodni proces, primarno se očekuje:

- skraćanje ukupnog vremena potrebnog za obradu profila odnosno povećanje propusnosti linije,
- smanjenje troškova proizvodnje i racionalizacija korištenja resursa,
- bitna redukcija potrebnog prostora za obavljanje istog posla u odnosu na staru proizvodnu liniju u kojoj su prevladavali ručni i polu-automatizirani postupci rezanja i obrade profila i traka,
- poboljšanje postupka dokumentiranja, praćenja i označavanja profila što će doprinijeti efikasnijem postupku sortiranja.

### **Ciljevi i svrha projekta simulacijskog modeliranja robotske linije za obradu profila:**

Osnovni cilj primjene metode simulacijskog modeliranja za projektiranje nove linije za obradu profila jest, već u projektnoj fazi izrade promatrane linije, izvršiti simulaciju proizvodnog programa na osnovu odabrane karakteristične tehnološke grupe proizvoda kako bi se provjerilo i vrednovalo pretpostavljeno projektno rješenje brodogradilišta u kontekstu zadovoljavanja projektnih zahtjeva koristeći se inicijalnim, preliminarnim projektom i parametrima linije.

Nadalje, na osnovanom računalnom modelu koji simulira novu robotiziranu liniju za obradu profila, provesti će se analiza niza scenarija uz variranje odabranih parametara linije, s ciljem analize pojave "uskih grla", utvrđivanja optimalnih parametara linije, te dimenzija i kapaciteta pojedinih resursa linije, a u okviru projektnih ciljeva i ograničenja. Na osnovu provedene analize i donesenih zaključaka sugerirale bi se određene modifikacije i moguća unapređenja konfiguracije linije sa stajališta proizvodnje.

Nadalje, očekuje se primjena osnovanog modela i za planiranje i unapređenje proizvodnje jednom kada se investicija realizira i linija implementira u stvarni proces.

Također, posljednja, ali ne i manje važna svrha izrade simulacijskog modela jest da se potakne i dodatno proširi upotreba simulacijskog modeliranja u brodograđevnom

proizvodnom procesu i za njegove druge dijelove i namjene.

Stoga, temeljem navedenoga, ciljevi ovog konkretnog projekta mogu se podijeliti kako slijedi:

1. **Cilj A;** temeljem osnovanog i potvrđenog računalnog simulacijskog modela, provjeriti će se inicijalno predloženo projektno rješenje od strane brodogradilišta glede projektnog zahtjeva za unapređenje produktivnosti kao posljedice uvođenja nove robotske linije i to tako da:
  - ukupno vrijeme trajanja rezanja odabranog asortimana proizvoda mora biti na razini 11000 komada mjesečno,
  - u slučaju neispunjavanja primarnog cilja locirati "uska grla" linije i potencijalno problematične točke glede propusnosti te analizirati tok materijala.
  
2. **Cilj B;** temeljem provedbe i analize različitih proizvodnih scenarija, dodatno (ili nužno ukoliko predložena konfiguracija ne ispunjava primarni cilj) sugerirati odabir vrijednosti značajki robotske linije, takvih da se postigne kraće ukupno trajanje rezanja odabranog asortimana proizvoda, uz maksimalnu korištenost stanice za automatizirano rezanje. Pri tome, naravno vodeći računa o zadanim ograničenjima brodogradilišta i to ponajviše prostornih ograničenja koja su u ovoj fazi već fiksirana. Nadalje, nakon što se linija konfigurira s značajkama takvima da zadovoljava zadane ciljeve treba učiniti i sljedeće:
  - definirati potrebnu količinu internog skladišta za postizanje autonomije linije od 1 dana i 2 smjene, odnosno definirati količinu ulaznog materijala koja zadovoljava dnevnu propusnost linije,
  
3. **Cilj C;** Nakon provjere, potvrde i prihvaćanja konfiguracije linije te njezine implementacije u stvarni proces, prikupit će se informacije iz stvarnog procesa te njima rafinirati i dodatno poboljšati simulacijski model kako bi još bolje odgovarao stvarnom procesu te se kao takav nadalje mogao koristiti za kontinuirano praćenje, planiranje i unapređenje proizvodnje.



## 5.2 Definiranje ulaznih podataka i idejno osmišljavanje simulacijskog modela

Pri simulacijskom modeliranju, 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. U preliminarnoj fazi projekta bilo ga je neophodno definirati tako da odgovarajuće predstavlja stvarni proizvodni proces. Pri tome, analizira se proizvodni proces koji se unapređuje i popisuju se osnovne ulazne i izlazne značajke procesa, proizvodna oprema, značajke proizvodnog procesa i proizvoda, analiziraju se transportna sredstva, definira se tok materijala i odvijanje proizvodnog procesa, definiraju se operacije i dr. Kada se odredi koje je sve podatke potrebno prikupiti, potrebno je identificirati moguće izvore podataka. Zsigurno, jedan od osnovnih izvora podataka bit će podaci proizvođača opreme. Nadalje tu su podaci i postojeća dokumentacija kojom raspolaže samo brodogradilište, te raspoloživi iskustveni podaci. Nakon što su podaci prikupljeni pristupa se njihovom analiziranju, a prikupljanje potrebnih podataka se nastavlja i tijekom cijelog projekta, kako nove potrebe i spoznaje nailaze, a koje se nisu mogle predvidjeti u početnoj fazi. Tako prikupljeni podaci u inicijalnoj fazi izrade simulacijskog modela služe kao osnova za početak modeliranja. U osnovi, potrebni su slijedeći podaci, podijeljeni u dvije osnovne skupine:

### a) Podaci vezani uz operacije

- brzine rezanja, ostalo vrijeme koje je potrebno za procesiranje profila (namještanje, označavanje, micanje....)
- dimenzije stroja za rezanje, broj međuskладиšta i njihove dimenzije, potrebni ljudski resursi,
- dijagram toka procesa,
- shema procesa s prikazom postupaka i operacija koji uključuje prikaz skladišta, transport, čekanja, aktivnosti, operacije, itd.

### b) Logistika

- dizalice; dimenzije, brzine kretanja i dizanja, nosivost
- kamioneti, vagoneti; dimenzije, brzine, kapaciteti
- transporteri; dimenzije, brzine, nosivosti

- površine,
- opis kako je materijal dopremljen i otpremljen te s kojim sredstvima transporta, itd.

Temeljem provedene analize, prikupljenih podataka, opisanog procesa, operacija i tokova materijala pristupa se i inicijalnom osmišljavanju računalnog modela prije početka samog modeliranja što u osnovi uključuje:

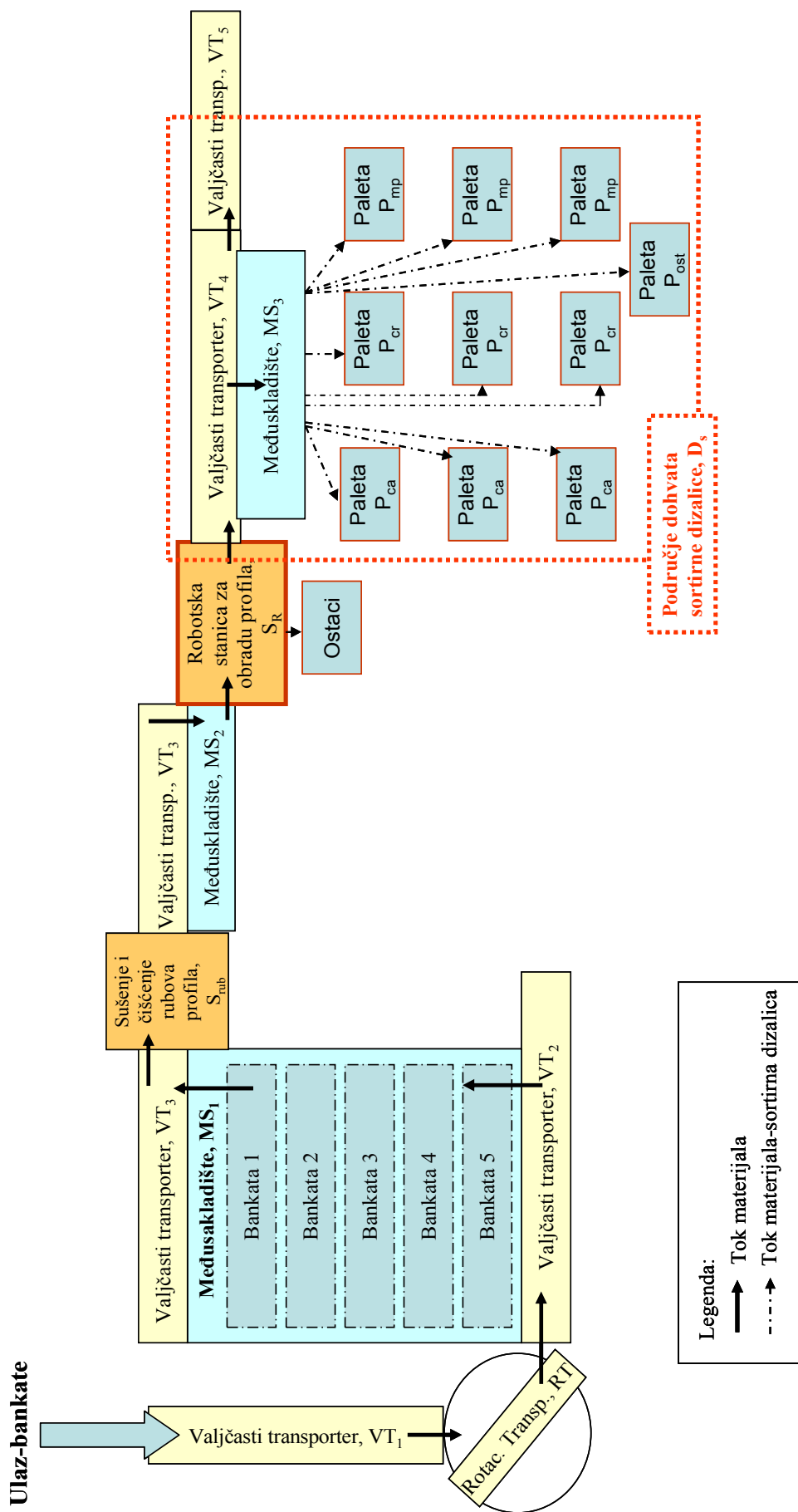
- strukturu modela,
- logiku modela,
- definiranje postupka modeliranja, itd.

### 5.2.1 Opis predložene robotizirane linije za obradu profila

Ne temelju predloženog koncepta konfiguracije robotizirane linije za obradu profila, prilog 4, te njegove detaljne razrade definira se i grafički prikaz toka procesa, slika 51. Robotizirana linija za obradu profila započinje na izlaznom dijelu rotacionog transporterera za predobradu limova i profila. Posebnost je zajednički tok limova i profila gdje i limovi i profili dijele zajednički valjčasti transporter transporter (slika 51, VT<sub>1</sub>), a na rotacionom transporteru (slika 51, RT) se razdvajaju prema radionici za obradu limova ili prema promatranj radionici za obradu profila.

Profili se na skladištu slažu u tzv. *bankate* koje se jedna za drugom ubacuju u proces predobrade. *Bankata* je količina profila istog ili različitog asortimana ukupne širine 3m, [118], prosječnog kapaciteta 8 profila. Predviđa se da količina koja se jednokratno ubacuje zadovoljava dnevnu propusnost linije za obradu profila, a definiranje te količine je i jedan od ciljeva ovog istraživanja.

Preko rotacionog transporterera, RT, *bankate* profila se slažu na uzdužni valjčasti transporter (slika 51, VT<sub>2</sub>) u radionici za obradu profila. S tog uzdužnog valjčanog transporterera *bankate* skliznu na međuskladište (slika 51, MS<sub>1</sub>) kapaciteta 5 *bankata*. Kapacitet tog međuskladišta treba vrednovati metodom simulacije temeljem osnovanog modela. Nadalje, s međuskladišta MS<sub>1</sub> profili se jedan po jedan skidaju na sljedeći uzdužni valjčani transporter (slika 51, VT<sub>3</sub>) koji profile provodi kroz uređaj za čišćenje profila (slika 51, S<sub>rub</sub>). Pretpostavljenu brzinu čišćenja profila, odnosno onu koja je sugerirana od dobavljača, također treba vrednovati metodom simulacijskog modeliranja.



Slika 51. Prikaz toka procesa robotizirane linije za obradu profila

Izlazom iz stroja za čišćenje,  $S_{rub}$ , profil se poprečno sklizne na paralelno postavljene uzdužni valjčani transporter robota koji je definiran kao međuskaladište  $MS_2$  (slika 51) na kojem se profil fiksira i uzdužno pomiče tokom postupka rezanja. Pretprojektom je predviđen transporter odnosno međuskaladište kapaciteta jednog komada profila. Simulacijskim modeliranjem će se ta odluka vrednovati i utvrditi da li zadovoljava ciljeve projekta.

Unutar radnog prostora robota (slika 51,  $S_R$ ), profil se pričvrsti kličestima i robot plazma postupkom reže različite oblike reza. Performanse tih postupaka inicijalno su uzete prema specifikaciji proizvođača za odabrani tip robota. Simulacijskim modeliranjem te će se performanse vrednovati u kontekstu ciljeva projekta te prema potrebi preporučiti drugačije unutar zadanih ograničenja.

Odrezani profili se jedan za drugim pomiču na izlazni valjčasti transporter (slika 51,  $VT_4$ ) s koje bočno skliznu na paralelno postavljene stol za odlaganje koji se promatra kako međuskaladište  $MS_3$  (slika 51). Inicijalno se pretpostavlja da će kapacitet tog međuskaladišta biti jedan profil maksimalne duljine od 12 m ili više manjih profila koji zajedno ne premašuju 12 m.

Sortirna dizalica (slika 51,  $D_S$ ) uzima profile s međuskaladišta  $MS_3$  i odlaže ih u palete za sortiranje smještene pored linije (slika 51,  $P_{ca}$ ,  $P_{cr}$ ,  $P_{mp}$  i  $P_{ost}$ ). Performanse dizalice su pretpostavljene prema specifikaciji, a simulacijskim modeliranjem će se vrednovati i po potrebi sugerirati drugačije ukoliko poboljšanja budu moguća i isplativa.

Palete na koje sortirna dizalica slaže odrezane profile nalaze se pored linije i podijeljene su prema vrsti profila koji se na njih slažu u ovisnosti za koji su nadolazeći proizvodni proces namijenjene. Pa se tako na jedan tip paleta ( $P_{ca}$ ) slažu profili koji kasnije idu na automatizirano mikropanel liniju (oznaka CA), na drugi tip paleta ( $P_{cr}$ ) profili koji idu na robotiziranu mikropanel liniju (oznaka CR) i na treći tip paleta ( $P_{mp}$ ) profili koji idu na malu predmontažu (oznaka MP). Ostaci dulji od 1m sortiraju se na paletu  $P_{ost}$ . Ovakvo sortiranje odmah nakon rezanja uvelike ubrzava manipulaciju materijalom i pripremu za nadolazeće proizvodne postupke. Predviđene su palete kapaciteta prosječno 50 komada za svaki tip profila. Simulacijskim modeliranjem vrednovati će se taj kapacitet te broj potrebnih paleta posebno u kontekstu potreba linije za rad unutar jednog dana.

Profili koji se ne odlažu na palete, a to su oni koji su duži od 7 m, odnosno oni koju su namijenjeni za panel liniju, prolaze ravno naprijed nakon rezanja na 70 m dugom valjčastom transporteru (slika 51,  $VT_5$ ) s kojeg ga, pomoću dizalice, operateri skidaju na sortirno skladište.

### 5.2.2 Tehničke karakteristike linije

Preliminarne tehničke karakteristike linije usvojene su dijelom prema specifikaciji proizvođača, kada je to bilo moguće, a dijelom prema iskustvu i usporedbi sa sličnom ili istom opremom. Tehničke karakteristike prikazane su u tablicama 21, 22, 23, 24 i 25.

**Tablica 21.** Karakteristike horizontalnog transportnog sustava

	<b>Uzdužni valjčani transporter</b>	<b>Poprečni lančani transporter</b>
<b>duljina, mm</b>	70000	14000
<b>širina, mm</b>	3000	12000
<b>brzina, <math>v_{VT}</math>, (m/s)</b>	0,5	0,33

**Tablica 22.** Uređaj za mehaničko sušenje i čišćenje rubova profila

<b>Sušenje i čišćenje rubova</b>	
<b>postupak čišćenja</b>	čelična rotaciona četka
<b>širina pojasa, mm</b>	20
<b>brzina prolaska profila, <math>v_{srub}</math>, m/s</b>	0,166

**Tablica 23.** Karakteristike robotske linije za rezanje

<b>Robot</b>	
<b>tip</b>	Staubil RX 60L
<b>stupnjevi kretanja</b>	6+2
<b>brzina izlaznog transportera, m/s</b>	0.5
<b>maks. debljina, mm</b>	60
<b>jačina, A</b>	300
<b>maks. duljina, mm</b>	14000
<b>maks. duljina odrezanog komada, mm</b>	13900
<b>min. duljina, mm</b>	3000
<b>min. duljina odrezanog komada, mm</b>	300

**Tablica 24.** Karakteristike vertikalnog transportnog sustava – sortirna dizalica

Sortirna dizalica	
brzina dizalice, $v_d$ , m/s	0,333
brzina mag. grede, $v_{dg}$ , m/s	0,266
brzina dizanja, $v_{dd}$ , m/mm	6
nosivost mag. grede, $N_d$ , kN	20
broj magneti	10
duljina grede, $L_{diz}$ , mm	6000

**Tablica 25.** Karakteristike vertikalnog transportnog sustava – paleta

Paleta	
dimenzije (dxš), $P_l \times P_d$ , mm	5900x1415
nosivost paketa, kN	100
maks. duljina profila, mm	7000
min. duljina profila, mm	300
maksimalni previjes profila, mm	1000

### 5.3 Osnivanje simulacijskog modela

Simulacijski model linije je temelj i osnovni element računalne simulacije, te ga je potrebno definirati tako da na odgovarajući način predstavlja projektirani proizvodni proces robotizirane linije za obradu profila. Nužno je modelirati samo one aspekte stvarnog sustava koji utječu na problem koji se istražuje. Stoga model mora istodobno biti jednostavan i dovoljno detaljan kako bi se mogli izvući valjani zaključci. Uspješna pomirba tih dvaju zahtjeva, detaljnosti i jednostavnosti, te izrade modela u razumnom roku, vrlo je značajna za izradu kvalitetnog modela. Za početak izrade modela projektiranog proizvodnog procesa robotizirane linije ulazni podaci nužni ulazni podaci su:

- Definicija problema i ciljeva projekta;
- CAD nacrt predložene opreme i rasporeda opreme linije;
- Skica toka procesa;
- Opis procesa i operacija;
- Prostorna i vremenska ograničenja sustava;
- Tehničke značajke opreme;

- Definicija ulaznog asortimana koji se želi simulirati na modelu linije;
- Ostali relevantni podaci.

Pri tome, definicija problema i ciljeva, CAD nacrt predložene opreme i rasporeda opreme, skica toka procesa, opis procesa i operacija te tehničke značajke linije bi u ovoj fazi već trebale biti preliminarno definirane. Nadalje predstoji definicija ulaznog asortimana, nakon koje, temeljem definiranog problema i ciljeva, temeljem prikupljenih i sortiranih podataka, temeljem grafičkog prikaza procesa i razlučenih operacija i resursa u procesu, temeljem utvrđenim vrijednostima pojedinih parametara, asortimana i dr., pristupa se programiranju odnosno modeliranju promatranog proizvodnog procesa.

### 5.3.1 Ulazni asortiman

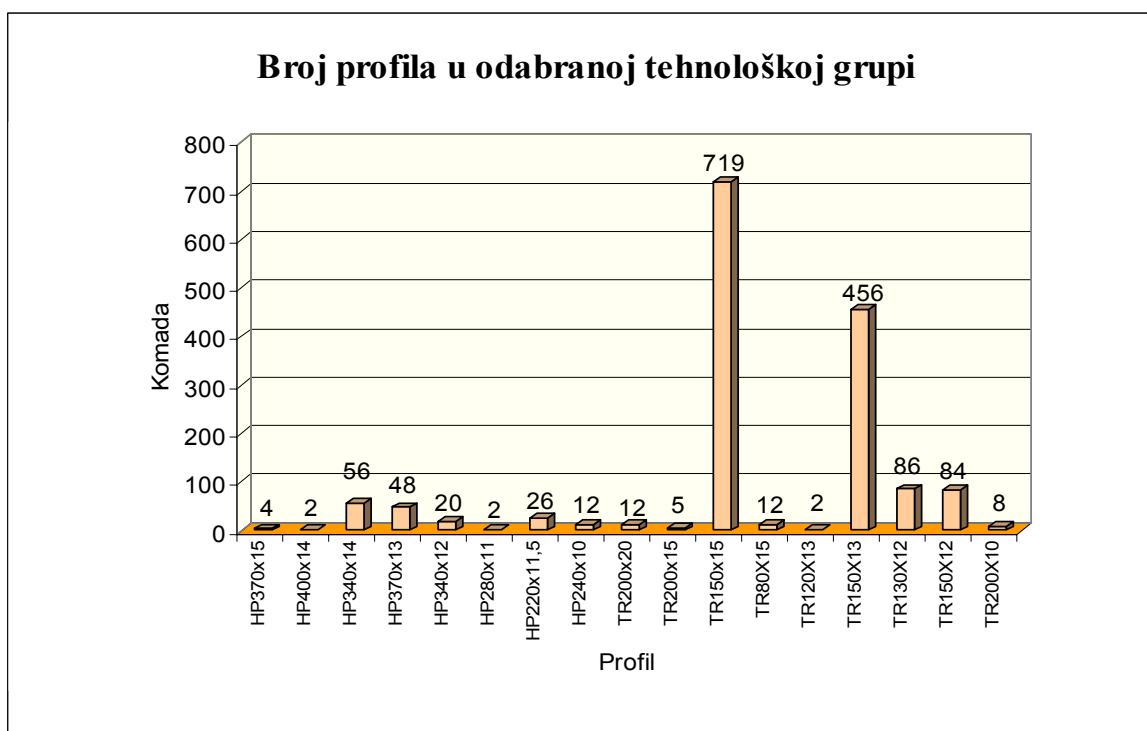
Definiran je i proizvodni asortiman linije za obradu profila, temeljem kojeg će se izvršiti modeliranje i simuliranje. Naime, analizom proizvodnog programa brodogradilišta utvrđeni su najsloženiji međuproizvodi za različite sekcije trupa broda te se za njih izvršila analiza obrađenih profila, slijedom čega je određen asortiman ulaznog materijala na model linije. Ulazni asortiman se temelji na odabranoj karakterističnoj grupi dvodna za promatrani tanker za prijevoz naftnih preradevina. Zaključeno je da takva grupa predstavlja karakterističan, i po stupnju složenosti odgovarajući uzorak temeljem kojeg će se provesti simulacijsko modeliranje.

Nadalje, u tablici 26 i na slici 52, prikazani su svi profili u odabranoj karakterističnoj tehnološkoj grupi te njihove osnovne dimenzije.

**Tablica 26.** Broj profila u odabranoj tehnološkoj grupi

Profil	visina, mm	debljina, mm	komada
HP370x15	370	15	4
HP400x14	400	14	2
HP340x14	340	14	56
HP370x13	370	13	48
HP340x12	340	12	20
HP280x11	280	11	2
HP220x11,5	220	11.5	26
HP240x10	240	10	12
TR200x20	200	20	12

<b>TR200x15</b>	200	15	<b>5</b>
<b>TR150x15</b>	150	15	<b>719</b>
<b>TR80X15</b>	80	15	<b>12</b>
<b>TR120X13</b>	120	13	<b>2</b>
<b>TR150X13</b>	150	13	<b>456</b>
<b>TR130X12</b>	130	12	<b>86</b>
<b>TR150X12</b>	150	12	<b>84</b>
<b>TR200X10</b>	200	10	<b>8</b>
<b>UKUPNO:</b>			<b>1554</b>



**Slika 52.** Broj profila u odabranoj tehnološkoj grupi

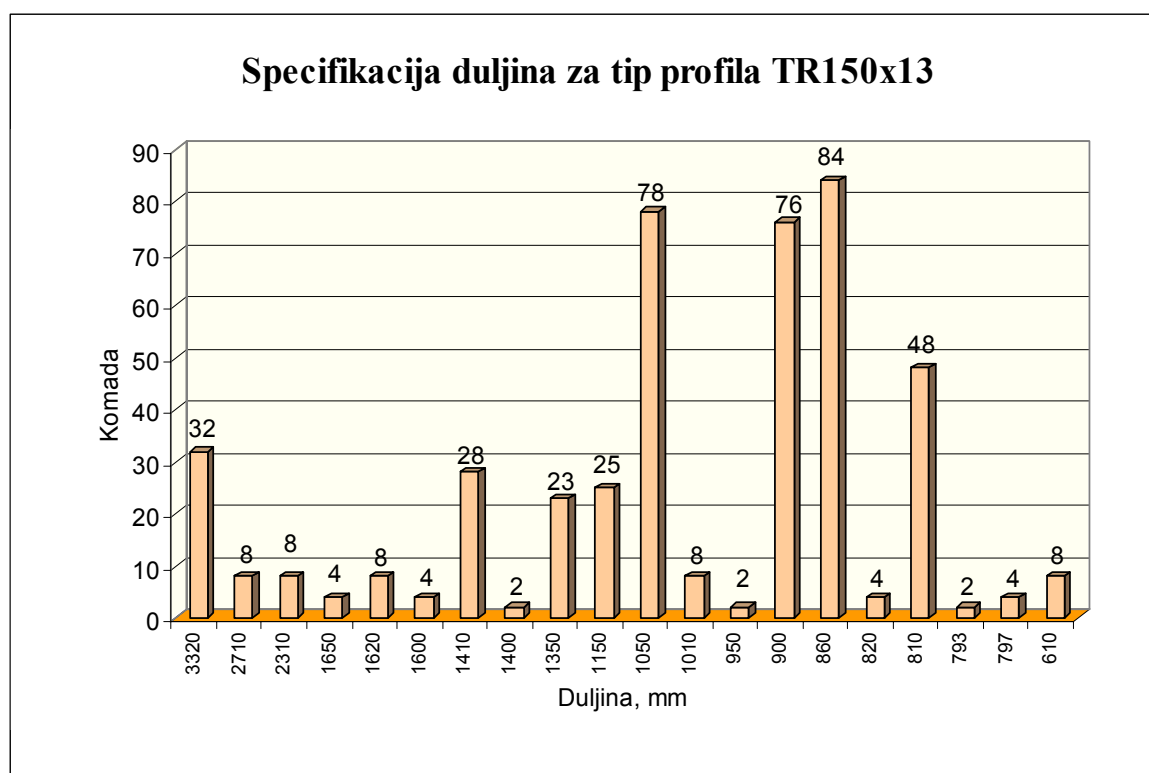
Nadalje, temeljem prethodno raščlanjene odabrane tehnološke grupe po broju i tipu profila specificiraju se i različite duljine profila od istog tipa, a koje se nalaze u odabranoj tehnološkoj grupi. U tablici 27 i na slici 53 prikazana je takva specificacija za tip profila TR150x13.

**Tablica 27.** Specificacija duljina za tip profila TR150x13

<b>TR150x13</b>	
<b>Duljina, mm</b>	<b>Komada</b>
3320	32
2710	8

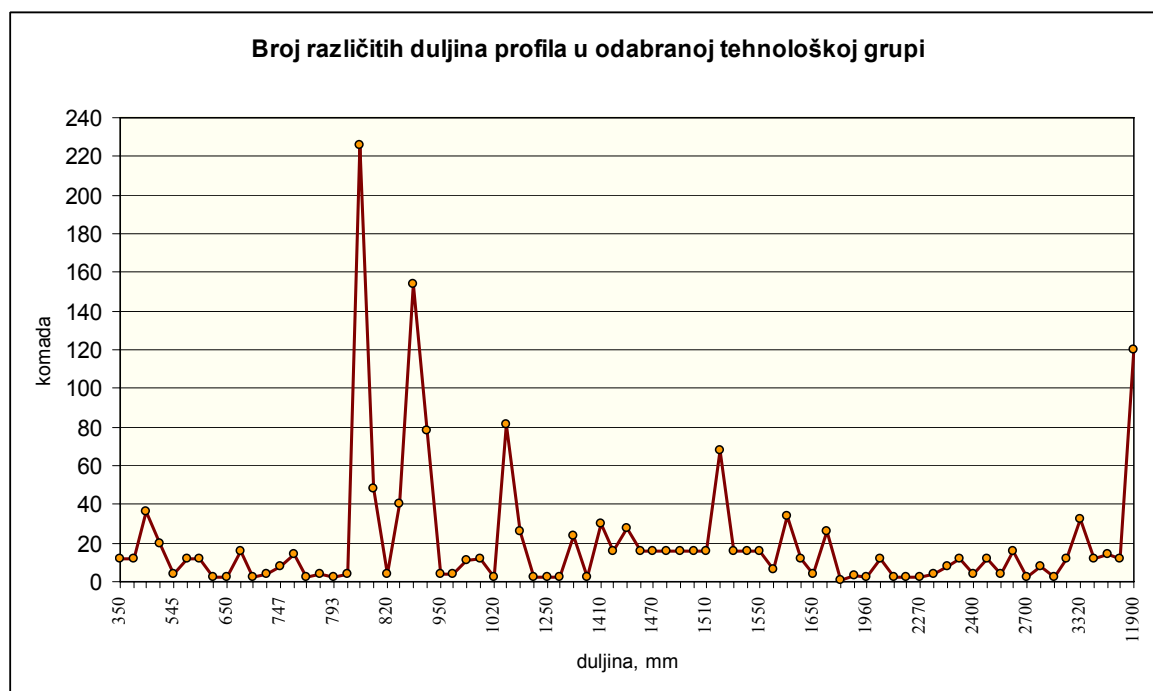


2310	8
1650	4
1620	8
1600	4
1410	28
1400	2
1350	23
1150	25
1050	78
1010	8
950	2
900	76
860	84
820	4
810	48
793	2
797	4
610	8
<b>UKUPNO:</b>	<b>456</b>



**Slika 53.** Specifikacija duljina za tip profila TR150x13

Za sve ostale profile takva specifikacija je zbog preglednosti prikazana u prilogu 2, a na slici 54 je kao rezime tih specifikacija dan prikaz distribucije zastupljenosti različitih duljina (od ukupno 1554 profila kako je prikazano u tablici 26), neovisno o tipu profila, u odabranoj karakterističnoj tehnološkoj grupi.



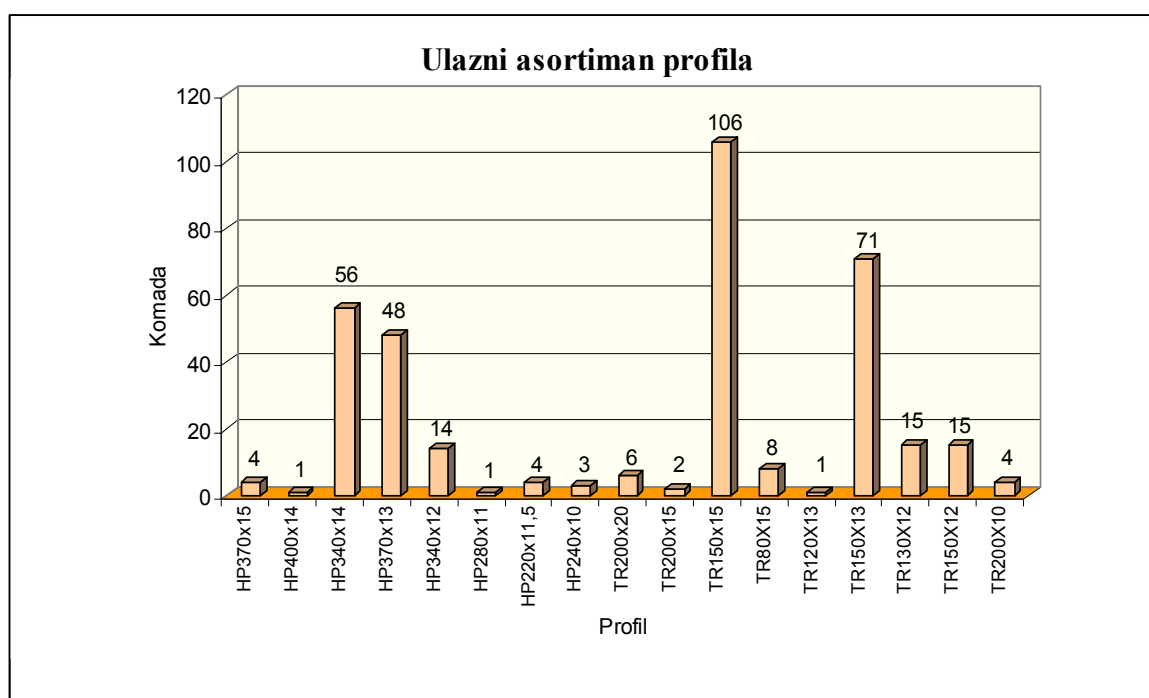
**Slika 54.** Broj različitih duljina profila u odabranoj tehnološkoj grupi

Nadalje, temeljem prethodne analize i utvrđenih svih međuproizvoda (profila) koje odabrana tehnološka grupa sadrži izrađen je "nesting" materijala što znači da se potrebni broj odrezanih komada profila prema svojem tipu "skroji" na odgovarajuće ulazne profile, raspoloživih duljina 8m i 12m, i to tako da je osnovni kriterij što manji broj ostataka. U tablici 28 i na slici 55 prikazan je, temeljem "nestinga", definirani ulazni asortiman profila, iz kojeg će se izrezati konačan broj od 1554 profila.

**Tablica 28.** Ulazni asortiman profila

Profil	komada profila
HP370x15	4
HP400x14	1
HP340x14	56
HP370x13	48
HP340x12	14

HP280x11	1
HP220x11,5	4
HP240x10	3
TR200x20	6
TR200x15	2
TR150x15	106
TR80X15	8
TR120X13	1
TR150X13	71
TR130X12	15
TR150X12	15
TR200X10	4
<b>UKUPNO:</b>	<b>359</b>



Slika 55. Ulazni asortiman profila

Na temelju predložene konfiguracije linije, analize i specifikacije ulaznog asortimana obrade temeljem odabrane karakteristične tehnološke grupe izvršeno je simulacijsko modeliranje promatrane robotizirane proizvodne linije za rezanje profila.

### 5.3.2 Izrada modela

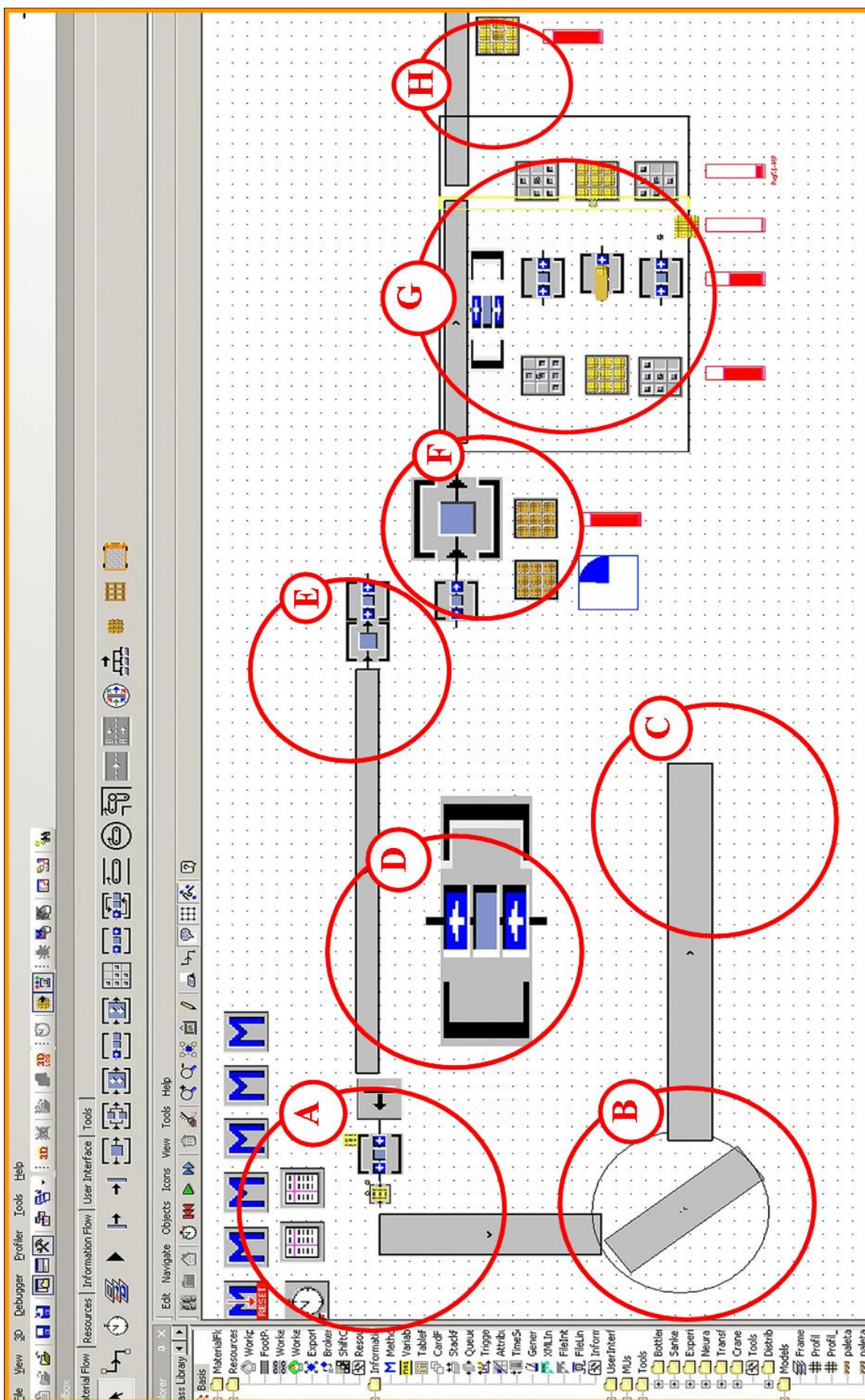
Izvršeno je modeliranje proizvodne linije za rezanje ravnih profila i traka primjenom metode simulacije. Računalno je podržana, što omogućava variranje velikog broja parametara odnosno analizu većeg broja različitih scenarija.

Model se programira tako da odgovara ponašanju stvarnog sustava sa realnim vremenima, brzinama obrada, brzinama transporta, skladištima, prostornim dimenzijama, itd. Također, prilikom izrade simulacijskog modela učestalo se provjerava logika funkcioniranja modela te se prema potrebi prikupljaju dodatni podaci. Kao geometrijska osnova *layouta* modela korišten je CAD nacrt (Prilog 4) predložene nove linije za obradu profila osigurane od brodogradilišta te prema grafičkom prikazu toka procesa na slici 51.

Za početne parametre linije usvojeni su oni prema poglavlju 5.2, te se tijekom simuliranja, isti po potrebi mijenjaju i efekti valoriziraju. Ovdje valja još jednom naglasiti da postupak modeliranja temeljem praktički jedino podataka osiguranih od dobavljača, a koji čak mogu biti upitne točnosti i cjelovitosti, predstavlja pogrešku, tu se posebno misli na procesna vremena elemenata promatranog proizvodnog procesa koji su elementarni podaci za diskretno simulacijsko modeliranje.

Temeljem prethodno definiranih osnovnih ulaznih elemenata pristupa se prvoj fazi izrade modela, njegovu programiranju i modeliranju. Izrađuje se prva verzija koja, zbog preglednosti rada i programiranja, još nužno ne mora biti definirana sa stvarnim parametrima i stvarnim podacima u svojoj potpunosti već je temeljna ideja ove prve faze osigurati strukturu, logiku i funkcionalnost modela. Potom, model se opisuje s odgovarajućim i stvarnim podacima. Naime, struktura i logika modela diktira kakav će format i organizacija ulaznih podataka biti. Na slici 56 prikazan je izrađeni model promatrane linije za obradu profila u softveru *eM-Plant*. Na njoj su označene osnovne cjeline koje su u nastavku i opisane.

Za vrijeme cijelog postupka modeliranja, iterativno se model vrednuje, podaci dorađuju ili ažuriraju i općenito u suradnji sa suradnicima iz samog brodogradilišta model se stalno dorađuje, ovisno novim prikupljenim podacima i spoznajama, te se konačno dolazi i do finalno, potvrđenog rješenja. Takvo se rješenje, odnosno model, dodatno unapređuje nakon same implementacije linije.



Slika 56. Model robotizirane linije za obradu profila u softveru eM-Plant

## Opis modela projektirane robotizirane linije za obradu profila:

**Područje A, (slika 56);** U području A modelirani su i definirani postupci formatiranja i organiziranja ulaznih podataka na način kako potrebuje od autora osmišljenoj logici i strukturi modela. Podaci su prvotno organizirani u Excelu gdje su specificirane i odgovarajuće formatirane sve potrebne informacije potrebne u modelu. Potom, temeljem takve Excel datoteke formira se ulazna datoteka, odnosno tablica, kao ulazni podaci za simulacijski model, na slici 57, radi preglednosti prikazan je samo dio te tablice, naime ukupan broj ulaznih elemenata iznosi 359 profila, što odgovara specificiranome u tablici 28. Cjelovita ulazna datoteka dana je u prilogu 3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	string 1	length 2	length 3	length 4	length 5	wei 6	tim 7	u 8	tabl 9
string	naziv	length	visina	debljina	glava	masa	proc_time	parts	cut_sheet
1	HP370x15	12	0.37	0.015	0.0685	726	11:33.800	2	a
2	HP370x15	12	0.37	0.015	0.0685	726	11:33.800	2	a
3	HP370x15	12	0.37	0.015	0.0685	726	11:33.800	2	a
4	HP370x15	12	0.37	0.015	0.0685	726	11:33.800	2	a
5	HP400x14	12	0.4	0.014	0.072	767	23:20.000	3	a
6	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
7	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
8	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
9	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
10	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
11	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
12	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
13	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
14	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
15	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
16	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
17	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
18	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
19	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
20	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
21	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
22	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
23	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
24	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
25	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
26	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
27	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
28	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
29	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
30	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
31	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
32	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a
33	HP340x14	12	0.34	0.014	0.063	618	9:55.0000	2	a

Slika 57. Primjer ulazne datoteke za simulacijski model

Pri tome stupci u tablici na slici 57 označavaju sljedeće:

**Stupac 1:** Označava vrstu profila prema standardima koji se koriste u brodogradnji, pa tako u oznaci HP370x15, HP označava vrstu profila, 370 njegovu visinu u milimetrima i 15 njegovu debljinu struka u milimetrima.

**Stupac 2:** Dužina profila, u metrima.

**Stupac 3:** Visina profila, u metrima.

**Stupac 4:** Debljina struka profila, u metrima.

**Stupac 5:** Debljina glave profila, u metrima.

**Stupac 6:** Masa profila, u kilogramima.

**Stupac 7:** Definirano vrijeme rezanja. Vrijeme rezanja je prethodno izračunato u *Excel* datoteci temeljem specifikacije proizvođača u odnosu na dimenzije profila. U ulaznu datoteku za simulacijski model upotrijebljena je samo konačna vrijednost koja se u modelu jednostavno može mijenjati po potrebi, množenjem s željenim faktorom promjene brzine.

**Stupac 8:** Broj odrezanih profila koji se režu iz ulaznog profila.

**Stupac 9:** Tablica zajedničkog naziva "a" za svaki element (eng. cut\_sheet), u njoj se specificirani podaci vezani za odrezane komade, slika 58. Pri tome, stupac 1 označava duljinu odrezanog profila, a stupac 2 njegovu poziciju u nadolazećem procesu što kasnije služi za sortiranje u odgovarajuće palete. Redovi od 1...5 označavaju broj odrezanih elemenata, u ovom slučaju radi se o 5 odrezanih elemenata, od kojih se zadnji, kada postoji, označava kao ostatak (eng. scrap). Dakle, u ovom slučaju iz ulaznog profila režu se 4 profila s pozicijom "cr", te ostaje ostatak duljine 0.104 m.

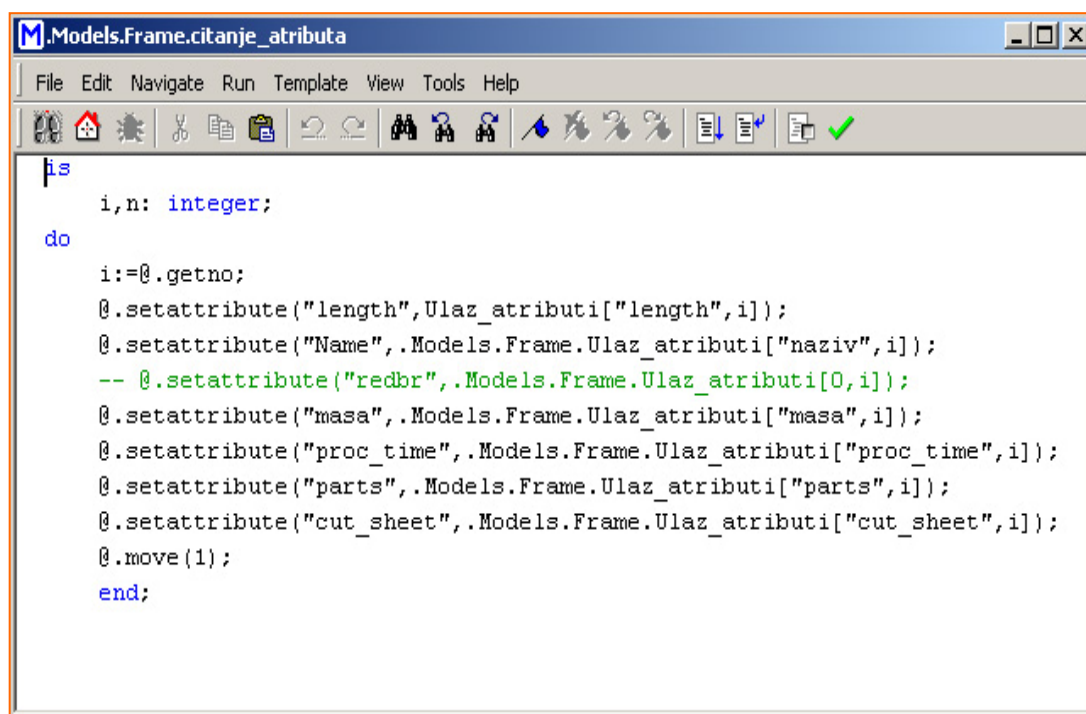
	length[m]	string	str
string	duljina	poz	
1	2.48	cr	
2	2.48	cr	
3	2.27	cr	
4	0.65	cr	
5	0.104	scrap	
6			

**Slika 58.** Primjer ulazne datoteke podataka za rezanje

Ovdje valja naglasiti da projektant modela ulaznu datoteku može mijenjati kako želi, odnosno dodavati ili oduzimati podatke, sve u ovisnosti o ciljevima projekta.

Nadalje, još uvijek u okviru područja A (slika 56), u modelu se kreira 359 ulaznih

elemenata kojima se programiranom rutinom (programski jezik *SimTalk*) na njih, prema tipu profila, upišu svi podaci iz ulazne datoteke. Konkretna programska rutina prikazana je na slici 59, a cjelovit programski kod vezan za logiku rada robota dan je u prilogu 1.



```

i,s
  i,n: integer;
do
  i:=@.getno;
  @.setattribute("length",Ulaz_atributi["length",i]);
  @.setattribute("Name",.Models.Frame.Ulaz_atributi["naziv",i]);
  -- @.setattribute("redbr",.Models.Frame.Ulaz_atributi[0,i]);
  @.setattribute("masa",.Models.Frame.Ulaz_atributi["masa",i]);
  @.setattribute("proc_time",.Models.Frame.Ulaz_atributi["proc_time",i]);
  @.setattribute("parts",.Models.Frame.Ulaz_atributi["parts",i]);
  @.setattribute("cut_sheet",.Models.Frame.Ulaz_atributi["cut_sheet",i]);
  @.move(1);
end;

```

Slika 59. *SimTalk* rutina za specificiranje ulaznih podataka na kreirane elemente

Elementi se potom grupiraju prema spomenutoj obradnoj cjelini bankati, po 8 profila, te prosljeđuju na prvi ulazni valjčasti transporter ( $VT_1$ ) i transportiraju se prema području B.

Specifikacija ulaznih parametara vezanih za područje A:

Broj kreiranih elemenata (profila) P	$P_n = 359$
Kapacitet bankate B	$B_n = 8$ profila
Duljina valjčastog transportera $VT_1$	$L_{VT_1} = 15$ m
Brzina valjčastog transportera $VT_1$	$v_{VT_1} = 0.3$ m/s

**Područje B, (slika 56);** U ovom području modeliran je rotacioni transporter (RT) kojim se profili transportiraju u radionicu za obradu profila. Naime, prvi valjčasti transporter ( $VT_1$ ) iz područja A po potrebi služi i za transport limova pravocrtno prema radionici za izradu limova koja se nalazi u produžetku. Stoga, rotacioni transporter služi da se profili rotiraju za  $90^\circ$  prema radionici za rezanje profila. Nakon rotacije, profili se putem sljedećeg valjčastog transportera ( $VT_2$ ) transportiraju u radionicu, prema području koje je u modelu označeno sa slovom C.



Specifikacija ulaznih parametara vezanih za područje B:

Duljina rotacionog transportera RT	$L_{RT1} = 13 \text{ m}$
Brzina rotacionog transportera RT	$v_{RT1} = 0.3 \text{ m/s}$
Brzina rotacionog transportera RT za rotaciju od $90^\circ$	$v_{RT1\phi} = 14 \text{ s}/90^\circ$
Duljina valjčastog transportera $VT_2$	$L_{VT2} = 28 \text{ m}$
Brzina valjčastog transportera $VT_2$	$v_{VT2} = 0.3 \text{ m/s}$

**Područje C, (slika 56);** U ovom području modeliran je bočni silazak bankata s profilima na međuskladište (slika 51,  $MS_1$ ), što je na modelu označeno kao područje D. Također, na ovom mjestu u modelu definirano je i vrijeme potrebno za silazak bankate na međuskladište  $MS_1$  ( $T_{VT2-MS1}$ )

Specifikacija ulaznih parametara vezanih za područje C:

Vrijeme potrebno za translaciju bankate na međuskladište	$T_{BVT2-MS1} = 60 \text{ s}$
--	-------------------------------

**Područje D, (slika 56);** U ovom području modelirano je gore spomenuto međuskladište  $MS_1$ . Ovo međuskladište služi kao prostor za akumuliranje određene količine bankata s profilima pred rezanje. Kao ulaznu vrijednost usvojen je kapacitet od 5 bankata odnosno 40 profila. Također, na ovom mjestu u modelu definirano je i vrijeme ( $T_{MS1-VT3}$ ) potrebno za silazak pojedinačnih profila iz bankate na sljedeći valjčasti transporter (slika 51,  $VT_3$ ) koji služi za transport pojedinačnih profila prema stanici za čišćenje rubova profila (slika 51,  $S_{rub}$ ).

Specifikacija ulaznih parametara vezanih za područje D:

Kapacitet međuskladišta $MS_1$	$K_{MS1} = 40 \text{ profila}$
Vrijeme potrebno za translaciju pojedinačnog profila iz bankate na valjčasti transporter ( $VT_3$ )	$T_{VT2-MS1} = 30 \text{ s}$

**Područje E, (slika 56);** U ovom području modeliran je valjčasti transporter ( $VT_3$ ), brzina kojega je definirana brzinom stanice za sušenje i čišćenje profila, koji transportira pojedinačne profile kroz stanicu za sušenje i čišćenje rubova profila ( $S_{rub}$ ) te njezino

izlazno međuskladište (MS<sub>2</sub>) koje služi kao skladište ispred samog robota za rezanje. Pojedinačni profili ulaze u stanicu za sušenje i čišćenje rubova, a brzina ( $v_{\text{srub}}$ ) se obračunava u ovisnosti u duljini konkretnog profila.

Također, na ovom mjestu modelirano je i sučelje putem kojeg korisnik unosi, odnosno mijenja parametar brzine čišćenja rubova te se tako vrlo praktično može regulirati brzina čišćenja rubova i promatrati učinci promjene.

Specifikacija ulaznih parametara vezanih za područje E:

Brzina valjčastog transportera VT <sub>3</sub>	$v_{\text{VT2}} = 0.166 \text{ m/s}$
Kapacitet stanice za sušenje i čišćenje rubova profil, S <sub>rub</sub>	$K_{\text{srub}} = 1 \text{ profil}$
Brzina sušenja i čišćenja rubova	$v_{\text{srub}} = 0.166 \text{ m/s}$
Kapacitet međuskladišta MS <sub>2</sub>	$K_{\text{MS2}} = 1 \text{ profil}$

**Područje F, (slika 56);** U ovom području modeliran je sam robot za rezanje (slika 51, S<sub>R</sub>). Pojedinačni profili s prethodno spomenutog skladišta MS<sub>2</sub> ulaze u stanicu za robota (S<sub>R</sub>) kada je ona slobodna za prihvata. Stanica je programirana tako da "čita" s ulaznog profila sve nužne podatke koji su prethodno bili upisani na profil i to broj profila koje treba odrezati, vrijeme trajanja rezanja ovisno o tipu profila, poziciju i dužinu odreznog profila, masu, itd. Primjer dijela programskog koda za rezanje dan je na slici 60, a ostatak koda dan je u prilogu 1.

Pri tome, oni profili koji se nakon rezanja označe kao ostatak, a kraći su od 1 m, odlažu se u spremište za ostatke te se njihov broj evidentira kao i njihova pojedinačna dužina i masa. Profili koji su označeni kao profili, ili ostaci duži od 1 m, nastavljaju dalje u proizvodnom toku, izlaze na izlazni valjčasti transporter (VT<sub>4</sub>) kojime se transportiraju na dohvata sortirne dizalice (slika 51, D<sub>S</sub>).

```

is
  i,a: integer;
  duljina : length;
  pozicija, ime, tip : string;
  part_masa : weight;
  Orig, New_Part:object;
  cut_time:time;|
do
  Orig:=0;
  i := Orig.parts;
  for a := 1 to i loop
    duljina := Orig.cut_sheet["duljina", a];
    pozicija :=Orig.cut_sheet["poz",a];
    tip:=Orig.tip;
    part_masa := (Orig.masa/Orig.length)*duljina;
    ime := Orig.Name;
    cut_time := (Orig.proc_time/(i-1))/(.Models.Frame.Robot_speed_change);
    if pozicija = "m_line" or pozicija = "p_line" then
      waituntil .Models.Frame.Buffer.empty prio 1;
      if a /= i then
        wait cut_time;
        New_Part:=.Models.Profil_cut.create(.Models.Frame.Buffer);
        New_Part.setattribute("Name", ime);
        new_Part.setattribute("length", duljina);
        New_Part.setattribute("poz", pozicija);
        New_Part.setattribute("part_masa", part_masa);
        New_Part.setattribute("tip", tip);
        New_Part.setattribute("cut_time", cut_time);
      else
        if pozicija /= "scrap" then
          New_Part:=.Models.Profil_cut.create(.Models.Frame.Buffer);
          New_Part.setattribute("Name", ime);
          new_Part.setattribute("length", duljina);

```

Slika 60. Primjer dijela *SimTalk* rutine za rezanje i označavanje profila

Specifikacija ulaznih parametara vezanih za područje F:

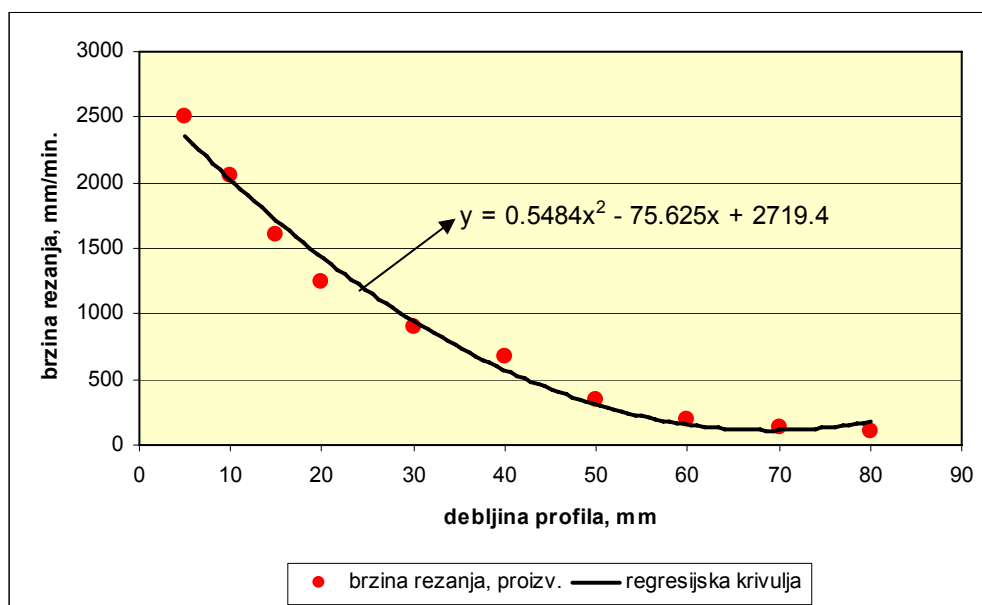
Kapacitet robotske stanice za rezanje, $S_R$	$K_{SR} = 1$ profil
Faktor brzine rezanja	$f_{v_{sr}} = 1$
Duljina valjčastog transportera $VT_4$	$L_{VT4} = 18$ m
Brzina valjčastog transportera $VT_4$	$v_{VT4} = 0.3$ m/s

Brzina rezanja robota, međutim, ovisi o tipu profila, njegovoj visini, debljini struka i glave te je specificirana prema podacima potencijalnog dobavljača opreme, tablica 29.

**Tablica 29.** Specifikacija brzina rezanja robota ovisno o debljini profila

Debljina profila, mm	Brzina rezanja, $v_{rob}$ , mm/min.
5	2500
10	2050
15	1600
20	1250
30	900
40	680
50	350
60	200
70	140
80	110

Nadalje, s obzirom da u slučaju profila vrste *holand* (npr. HP370x15) glava profila ima promjenljivu debljinu do one maksimalne, specificirane na slici 57 u stupcu 5, potrebno je znati performanse rezanja i za debljine između vrijednosti specificiranih u tablici 29. Za tu svrhu, vrijednosti iz tablice 29, opisane su regresijskom krivuljom, slika 61. Iz dijagrama se tada mogu očitati i vrijednosti između onih vrijednosti specificiranih od dobavljača.

**Slika 61.** Regresijska analiza krivulje brzine rezanja ovisno o debljini profila

Nadalje, kako bi se postupak dodatno ubrzao, i izbjeglo očitavanje s krivulje, podaci o brzinama rezanja dobiveni od dobavljača opisani su regresijskom krivuljom

polinoma drugog stupnja koji je definiran funkcijom. U daljnjem proračunu definirana funkcija se koristi kako bi se u ovisnosti o sada bilo kojoj debljini profila izračunala pripadajuća brzina rezanja. Pri tom, zaključeno je, u suradnji sa stručnjacima za rezanja iz brodogradilišta, da polinom drugog stupnja zadovoljavajuće odgovara krivulji dobivenoj iz podataka od dobavljača, iako bi se, prema potrebi, krivulja mogla opisati znatno preciznije s polinomom četvrtog reda. Osim same brzine rezanja, u ukupno vrijeme rezanja za promatrani profila uključeno je i :

- vrijeme potrebno za rezanje/bušenje azola (rupa) na profilu ako ih ima,
- vrijeme potrebno za pripremu robota,
- vrijeme potrebno za pomake profila unutar robota.

Koristeći se takvim pristupom, za svaki je profil pojedinačno u *Excelu* izračunato procesno vrijeme u robotu za rezanje i zapisano na profil kojeg stanica za rezanje pojedinačno "čita". Nadalje, radi praktičnosti i brze mogućnosti promjene performansi robota dodatno je modelirano i sučelje kojim korisnik unosi faktor promjene brzine robota ( $f_{v\_sr}$ ) i time za potrebe eksperimentiranja direktno utječe na brzinu rezanja bez pojedinačnih promjena podataka u ulaznoj datoteci.

**Područje G, (slika 56);** U ovom području modelirana je sortirna dizalica (slika 51,  $D_S$ ) koja uzima odrezane profile s valjčastog transportera ( $VT_4$ ) odnosno njegovog bočnog međuskladišta,  $MS_3$ , kapaciteta do 12 profila i odlaže ih u za to predviđene palete, ali sortirane prema oznaci na profilu koja definira gdje taj konkretni profil kasnije u proizvodnji pripada, i to:

- profili sa oznakom „ca“ idu na automatiziranu mikro-panel liniju odnosno u palete s oznakom  $P_{ca}$ ,
- profili sa oznakom „cr“ idu na robotiziranu mikro-panel liniju odnosno u palete s oznakom  $P_{cr}$ ,
- profili sa oznakom „mp“ idu na klasičnu malu predmontažu odnosno u palete s oznakom  $P_{mp}$ , a
- profili sa oznakom „pl“ idu na panel-liniju i njih ne poslužuje spomenuta sortirna dizalica već oni produžuju ravno na poseban prostor za skladištenje profila koji su namijenjeni panel-liniji.

Kapacitet svake od tih paleta je 14 najvećih profila dužine od 7 m, međutim temeljem analize asortimana, prema zastupljenosti različitih duljina profila, te iskustva

suradnika iz brodogradilišta, usvojena je prosječna vrijednost kapaciteta palete od 50 profila različitih duljina. Nadalje, visinu se može slagati do 7 paleta što iznosi 350 profila za jednu poziciju za slaganje paleta. Pri tome, postoje 3 raspoložive pozicije za svaku od vrste paleta ("P<sub>ca</sub>", "P<sub>cr</sub>" i "P<sub>mp</sub>") što se može i vidjeti na prikazanoj slici 56, u području G. Stoga je ukupni kapacitet 1050 profila prema vrsti paleta odnosno vrsti profila koji se na njih slažu.

Također, operater na robotu za rezanje u svakom trenutku može pozvati dizalicu radionice koja podiže punu paletu i odlaže je na kamionet koji je odvozi u susjednu radionicu. Međutim, s obzirom na spomenuti kapacitet od 1050 profila po vrsti palete, te raspoloživi prostor, procijenjeno je da ta operacija nije problematična te se nije ni modelirala. Nadalje, profili označeni kao ostaci, ali duži od 1 m. također se sortirnom dizalicom odlažu na posebnu paletu za ostatke, P<sub>ost</sub>. Modelom se bilježi broj takvih ostataka. Naime, namjera je imati evidenciju o takvim ostacima te ih povratnim tokom vratiti natrag u proces rezanja ili neki drugi proces te ih ponovno iskoristiti.

Specifikacija ulaznih parametara vezanih za područje G:

Brzina sortirne dizalice D <sub>s</sub>	v <sub>D</sub> = 0,333 m/s
Brzina magnetne grede sortirne dizalice D <sub>s</sub>	v <sub>DG</sub> = 0,266 m/s
Brzina dizanja sortirne dizalice D <sub>s</sub>	v <sub>DD</sub> = 0,1 m/s
Međuskладиšte, MS <sub>3</sub>	K <sub>MS3</sub> = 12 profila
Kapacitet palete P <sub>ca</sub>	K <sub>Pca</sub> = 50 profila
Ukupan broj svih paleta P <sub>ca</sub>	21 paleta
Ukupan kapacitet svih paleta P <sub>ca</sub>	1050 profila
Kapacitet palete P <sub>cr</sub>	K <sub>Pcr</sub> = 50 profila
Ukupan broj svih paleta P <sub>cr</sub>	21 paleta
Ukupan kapacitet svih paleta P <sub>cr</sub>	1050 profila
Kapacitet palete P <sub>mp</sub>	K <sub>Pmp</sub> = 50 profila
Ukupan broj svih paleta P <sub>mp</sub>	21 paleta
Ukupan kapacitet svih paleta P <sub>mp</sub>	1050 profila
Kapacitet palete za ostatke P <sub>ost</sub>	K <sub>Post</sub> = 60 profila
Ukupan broj svih paleta P <sub>ost</sub>	5 paleta
Ukupan kapacitet svih paleta P <sub>mp</sub>	300 profila

**Područje H, (slika 56);** U ovom području modeliran je valjčasti transporter ( $VT_5$ ) kojim se profili s oznakom "pl", a koji su ujedno i duži od 7 m te namijenjeni za panel-liniju, transportiraju direktno u susjednu radionicu te se dizalicom iz te radionice skidaju sa transportera i odlažu na tamošnju sortirnu površinu. Modelom se vodi evidencija o broju takvih profila te se prati eventualno zagušenje valjčastog transportera u ovisnosti o brzini skidanja profila s njega. Također, modelirano je i sučelje putem kojeg korisnik može mijenjati brzinu skidanja velikih profila te promatrati učinke promjene.

Specifikacija ulaznih parametara vezanih za područje H:

Duljina valjčastog transportera $VT_5$	$L_{VT5} = 50$ m
Brzina valjčastog transportera $VT_5$	$v_{VT5} = 0.3$ m/s
Vrijeme potrebno za translaciju profila na skladište	$T_{VT5} = 240$ s

Na kraju opisa linije, objedinjeno u tablici 30, prikazani su svi ulazni parametri kojima je model inicijalno programiran i modeliran.

**Tablica 30.** Ulazni parametri linije za simulacijski model

Broj kreiranih elemenata (profila) P	$P_n = 359$
Kapacitet bankate B	$B_n = 8$ profila
Duljina valjčastog transportera $VT_1$	$L_{VT1} = 15$ m
Brzina valjčastog transportera $VT_1$	$v_{VT1} = 0.3$ m/s
Duljina rotacionog transportera RT	$L_{RT1} = 13$ m
Brzina rotacionog transportera RT	$v_{RT1} = 0.3$ m/s
Brzina rotacionog transportera RT za rotaciju od $90^\circ$	$v_{RT1\phi} = 14$ s/ $90^\circ$
Duljina valjčastog transportera $VT_2$	$L_{VT2} = 28$ m
Brzina valjčastog transportera $VT_2$	$v_{VT2} = 0.3$ m/s
Vrijeme potrebno za translaciju bankate na međuskladište	$T_{VT2-MS1} = 60$ s
Kapacitet međuskladišta $MS_1$	$K_{MS1} = 50$ profila
Vrijeme potrebno za translaciju pojedinačnog profila iz bankate na valjčasti transporter ( $VT_3$ )	$T_{VT2-MS1} = 30$ s
Brzina valjčastog transportera $VT_3$	$v_{VT2} = 0.166$ m/s
Kapacitet stanice za sušenje i čišćenje rubova profil, $S_{rub}$	$K_{srub} = 1$ profil
Brzina sušenja i čišćenja rubova	$v_{srub} = 0.166$ m/s
Kapacitet međuskladišta $MS_2$	$K_{MS2} = 1$ profil

Brzina valjčastog transportera VT <sub>3</sub>	$v_{VT2} = 0.166 \text{ m/s}$
Brzina sušenja i čišćenja rubova	$v_{\text{sub}} = 0.166 \text{ m/s}$
Kapacitet međuskladišta MS <sub>2</sub>	$K_{MS2}=1 \text{ profil}$
Kapacitet robotske stanice za rezanje, S <sub>R</sub>	$K_{SR}=1 \text{ profil}$
Faktor brzine rezanja	$f_{v\_sr}=1$
Duljina valjčastog transportera VT <sub>4</sub>	$L_{VT4}=18 \text{ m}$
Brzina valjčastog transportera VT <sub>4</sub>	$v_{VT4} = 0.3 \text{ m/s}$
Brzina sortirne dizalice D <sub>s</sub>	$v_D = 0,333 \text{ m/s}$
Brzina magnetne grede sortirne dizalice D <sub>s</sub>	$v_{DG} = 0,266 \text{ m/s}$
Brzina dizanja sortirne dizalice D <sub>s</sub>	$v_{DD} = 0,1 \text{ m/s}$
Međuskladište, MS <sub>3</sub>	$K_{MS3}=12 \text{ profila}$
Kapacitet palete P <sub>ca</sub>	$K_{Pca}=50 \text{ profila}$
Ukupan broj svih paleta P <sub>ca</sub>	21 paleta
Ukupan kapacitet svih paleta P <sub>ca</sub>	1050 profila
Kapacitet palete P <sub>cr</sub>	$K_{Pcr}=50 \text{ profila}$
Ukupan broj svih paleta P <sub>cr</sub>	21 paleta
Ukupan kapacitet svih paleta P <sub>cr</sub>	1050 profila
Kapacitet palete P <sub>mp</sub>	$K_{Pmp}=50 \text{ profila}$
Ukupan broj svih paleta P <sub>mp</sub>	21 paleta
Ukupan kapacitet svih paleta P <sub>mp</sub>	1050 profila
Kapacitet palete za ostatke P <sub>ost</sub>	$K_{Post}=60 \text{ profila}$
Ukupan broj svih paleta P <sub>ost</sub>	5 paleta
Ukupan kapacitet svih paleta P <sub>mp</sub>	300 profila
Duljina valjčastog transportera VT <sub>5</sub>	$L_{VT5} = 50 \text{ m}$
Brzina valjčastog transportera VT <sub>5</sub>	$v_{VT5} = 0.3 \text{ m/s}$
Vrijeme potrebno za translaciju profila na skladište	$T_{VT5} = 240 \text{ s}$

## 5.4 Verifikacija osnovanog simulacijskog modela

Nakon što je simulacijski model zgotovljen korištenjem ulaznih parametara iz tablice 30, pristupa se njegovoj provjeri. Provjeriti model znači otkloniti sve logičke



pogreške iz modela i osigurati funkcionalnost modela. Drugim riječima, treba izvršiti potrebne popravke u modelu kako bi se otklonile sve pogreške u programiranju, ispravno definirali potrebni podaci, te da slijed odvijanja aktivnosti u modelu bude kako je inicijalno zamišljeno. Provjeru modela je dobro napraviti zajedno s pojedincima odgovornima za proces, te na taj način još jednom provjeriti da li model dobro opisuje promatrani proces, kako bi se potvrdilo da je ponašanje modela odgovarajuće te da svi članovi projekta steknu povjerenje u njegove performanse. Potvrđivanje modela predstavlja utvrđivanje da li model, uz iste vrijednosti ulaznih značajki, daje iste rezultate kao i stvarni proces. Međutim, za tako nešto stvarni proces bi trebao postojati što naravno nije uvijek slučaj, a to nije slučaj ni u ovom primjeru, pa se treba koristiti poznatim iskustvenim podacima, informacijama koje može pružiti proizvođač, a i usporedbom sa sličnim procesima u drugim brodogradilištima ako je moguće postići iste li vrlo slične uvjete. Također, logika i stabilnost modela dodatno se provjerava testirajući njegovo ponašanje promjenom parametara na neki specifičan način ili se funkcionalnost modela ispituje temeljem samo jednog obradnog elementa te se promatra da li se model ponaša očekivano. Kada su sva testiranja uspješno provedena i potrebne korekcije unesene, simulacijski model prihvaća se kao pogodan za donošenje zaključaka glede ciljeva projekta, za daljnje analiziranje i unapređivanje procesa. Kada je simulacijski model provjeren i potvrđen, ako je moguće provodi se i potvrđivanje modela na stvarnom sustavu. Tijekom izrade ovog modela stvarni sustav još nije postojao. Međutim, investicija se u međuvremenu realizirala te robotska linija instalirala i implementirala u stvarni proces. Tako se, neposredno prije kompletiranja ovog istraživanja ipak model mogao usporediti i provjeriti sa stvarnim sustavom. Simulacijski model se tada s povratnim informacijama iz stvarnog procesa dodatno doradio te se u svom konačnom obliku može koristiti za potrebe planiranja i praćenja proizvodnje.

## **5.5 Analiza simulacijskog modela predložene konfiguracije linije**

Temeljem osnovanog i potvrđenog računalnog simulacijskog modela, provjeriti će se inicijalno predloženo projektno rješenje od strane brodogradilišta glede projektnog zahtjeva za unapređenje produktivnosti kao posljedice uvođenja nove robotske linije. Nakon provjere i potvrde simulacijskog modela linije, pristupilo se analizi i vrednovanju predložene konfiguracije linije, kako bi se ustanovilo da li linija ispunjava postavljene

ciljeve te su sukladno tome donjeti odgovarajući zaključci. Stoga, pristupilo se vrednovanju linije prema postavljenim ciljevima projekta.

### 5.5.1 Provjera ukupnog vremena trajanja rezanja odabranog asortimana

1. **zadatak** - ukupno vrijeme trajanja rezanja odabranog asortimana proizvoda mora biti na razini 11000 profila mjesečno u **24 rada dana, u 2 smjene. Sto znači za 360 radnih sati.** Kalkulacija za mjesečno raspoložive radne sate temelji se na 24 radna dana što iznosi:

$$P_{dan} = \frac{11000}{24} = 458 \text{ profila / dan}, \quad (3)$$

**odnosno 458 profila u 2 smjene odnosno u 15 radnih sati.**

Stoga, za ostvarenje ciljanog proizvodnog plana od 11000 komada mjesečno, nova robotska linija odabrani ulazni asortimana od 1554 profila treba proizvesti za najmanje:

$$T_{rez} = \frac{1554}{458} = 3.4 \text{ dana u 2 smjene} \Rightarrow 3.4 \text{ dana} \cdot (2 \cdot 7.5 \text{ h}) = 51 \text{ h} \quad (4)$$

Provedbom simulacije temeljem početnih ulaznih podataka, utvrđeno je da je ukupno trajanje rezanja za odabrani asortiman od 1554 profila:

$$\mathbf{T_{rez} = 58h i 50min}$$

**U usporedbi s zahtjevanim vremenom rezanja, (4), zaključuje se da nova robotska linija, temeljem predložene, početne konfiguracije i vrijednosti značajki linije, ne ispunjava primarni cilj, odnosno proizvodnju 11000 profila u 24 radna dana u 2 smjene !**

Stoga, provesti će se analiza predložene linije s ciljem definiranja intenziteta toka materijala, uskih grla linije, utjecajnih značajki linije i dr. U nastavku, temeljem daljnje

analize i postupka optimiziranja, predložiti će se intervencije u predloženu konfiguraciju s ciljem postizanja tražene propusnosti, (4).

## **5.6 Analiza proizvodnih scenarija i optimiziranje značajki predložene konfiguracije linije**

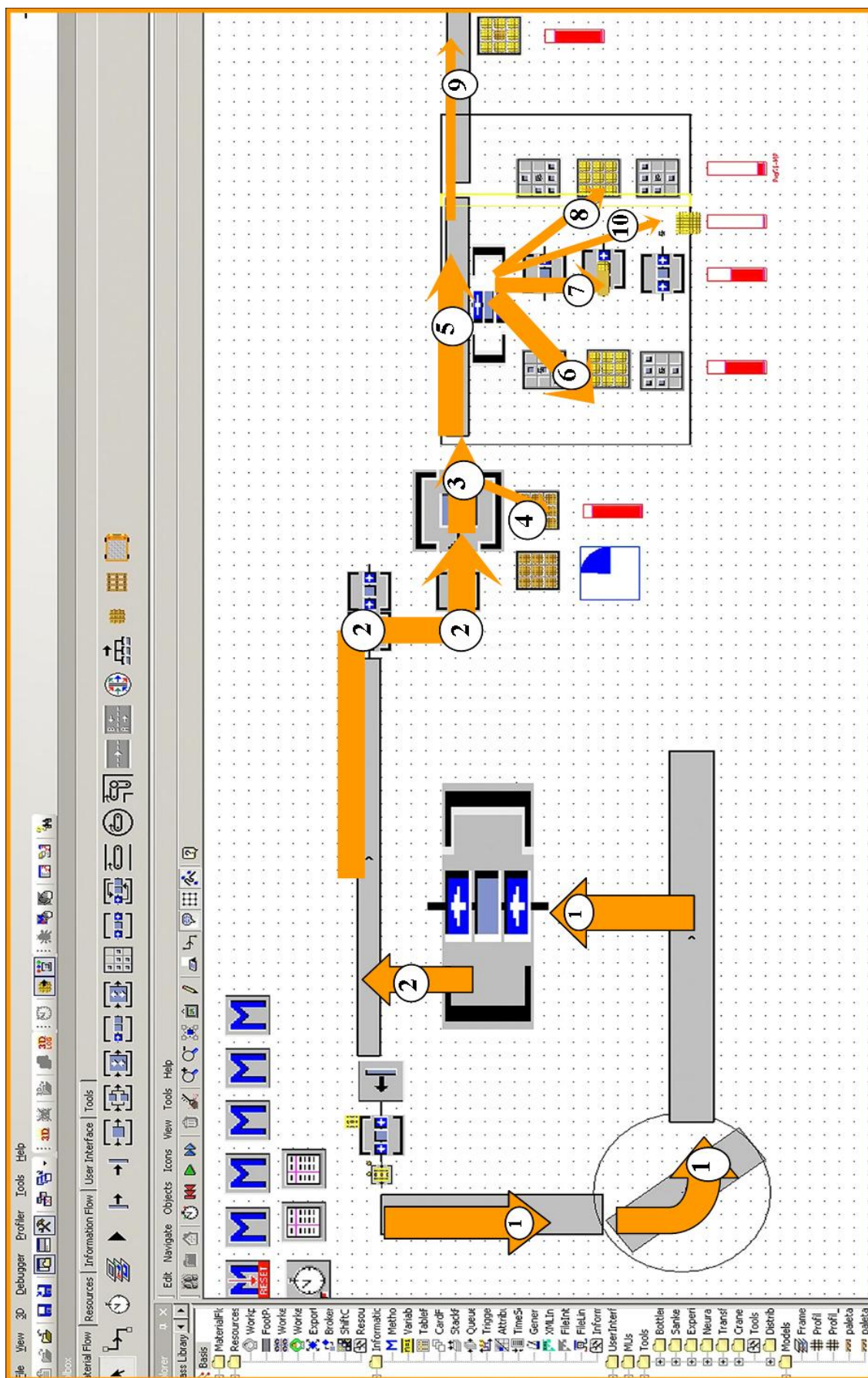
Kako je navedeno, prije no što se krene u analizu linije s ciljem optimiziranja značajki linije potrebno je analizirati predloženu konfiguraciju kako bi se uočila potencijalna uska grla linije, opisao tok materijala, te eventualno već u ovoj fazi prepoznali osnovni razlozi zašto predložena konfiguracija ne ostvaruje ciljanu propusnost.

Stoga, značajke, koje su predmet analize i potencijalnog unapređenja, su sljedeće:

- Performanse sortirne dizalice za posluživanje linije;
- Brzine sušenja i čišćenja rubova profila;
- Brzine rezanja profila i traka;
- Brzine transportnih sredstava odnosno valjčastih transportera;
- Kapaciteti međuskladišta.

### **5.6.1 Analiza toka materijala i uskih grla predložene linije**

Tok materijala predložene konfiguracije linije za odabrani asortiman rezanja definiran je temeljem osnovanog simulacijskog modela te prikazan na slici 62.



Slika 62. Analiza toka materijala predložene konfiguracije linije za odabrani asortiman rezanja

Pri tome, strelice i brojevi na strelicama označavaju tok materijala, i to:

**1. Tok materijala 1, (slika 62);** označava tok cjelovitog ulaznog materijala od 359 ulaznih profila organiziranog u bankate po 8 profila što dakle potrebuje 45 bankata. Materijal se putem valjčastog transporter (VT<sub>1</sub>) i rotacionog transporter (RT) transportira u radionicu na uzdužni valjčasti transporter (VT<sub>2</sub>) s kojeg se materijali bočno transportiraju na međuskladište (MS<sub>1</sub>) kapaciteta 50 profila.

**2. Tok materijala 2, (slika 62);** označava tok od 359 profila, ali pojedinačno, oni se transportiraju iz međuskladišta (MS<sub>1</sub>) na valjčasti transporter (VT<sub>3</sub>) kojim se transportiraju prvo u stanicu za sušenje i čišćenje rubova profila (S<sub>rub</sub>), potom na izlazno međuskladište (MS<sub>2</sub>) te u robot za rezanje.

**3. Tok materijala 3, (slika 62);** predstavlja sve elemente nakon rezanja, uključujući i profile koji nastavljaju svoj proizvodni tok i ostatke. Takvih elemenata za odabrani asortiman ima 1868 komada.

**4. Tok materijala 4, (slika 62);** predstavlja ostatke kraće od 1m koji se smatraju neiskoristivi u daljnjoj proizvodnji te se kao takvi odvoze na otpad. Takvih ostataka za odabrani asortiman ima 294 profila.

**5. Tok materijala 5, (slika 62);** predstavlja profile koji nakon rezanja nastavljaju svoj proizvodni tok na izlaznom valjčastom transporteru (VT<sub>4</sub>). Ovaj tok materijala za odabrani asortiman rezanja sadrži 1574 odrezanih profila, među kojima i 20 ostataka dužih od 1m za koje se planira upotreba u nastavku proizvodnog procesa.

**6. Tok materijala 6, (slika 62);** predstavlja one profile koji imaju oznaku "ca" te su kao takvi namijenjeni automatiziranoj mikro-panel liniji. Sortirna dizalica (D<sub>s</sub>) prebacuje takve profile na za to predviđene palete (P<sub>ca</sub>). Za odabrani asortiman rezanja količina takvih profila je 706 profila.

**7. Tok materijala 7, (slika 62);** predstavlja one profile koji imaju oznaku "cr" te su kao takvi namijenjeni robotiziranoj mikro-panel liniji. Sortirna dizalica (D<sub>s</sub>) prebacuje takve profile na za to predviđene palete (P<sub>cr</sub>). Za odabrani asortiman rezanja količina takvih profila je 595 profila.

**8. Tok materijala 8, (slika 62);** predstavlja one profile koji imaju oznaku "mp" te su kao takvi namijenjeni maloj predmontaži. Sortirna dizalica (D<sub>s</sub>) prebacuje takve profile na za to predviđene palete (P<sub>mp</sub>). Za odabrani asortiman rezanja količina takvih profila je 131 profil.

**9. Tok materijala 9, (slika 62);** predstavlja one profile koji imaju oznaku "pl" te su kao takvi namijenjeni panel-liniji. Oni se ne odvoze sortirnom dizalicom (D<sub>s</sub>) već produžuju

dalje putem valjčastog transportera (VT<sub>5</sub>) na površinu za skladištenje profila namijenjenih panel-liniji. Za odabrani asortiman rezanja količina takvih profila je 122 profila.

**10. Tok materijala 10, (slika 62);** predstavlja one ostatke koji su duži od 1m te se kao takvi planiraju upotrijebiti u proizvodnom procesu. Sortirna dizalica (D<sub>s</sub>) prebacuje takve ostatke na za to predviđene palete (P<sub>ost</sub>). Za odabrani asortiman rezanja količina takvih ostataka je 20 ostataka.

U tablici 31 prikazane su količinske vrijednosti materijala prema prethodno definiranom toku materijala za odabrani asortiman rezanja.

**Tablica 31.** Prikaz količinskih vrijednosti materijala prema definiranom toku materijal za odabrani asortiman rezanja

Tok materijala	Materijal	Količina
1.	Ulazni profili - bankate	359 profila / 45 bankata
2.	Ulazni profili - pojedinačno	359 profila
3.	Odrežani komadi	1868 komada
4.	Ostaci kraći od 1m	294 ostataka
5.	Odrežani profili	1574 profila
6.	CA-profili, za aut. mikro-panel liniju	706 profila
7.	CR-profili, za rob. mikro-panel liniju	595 profila
8.	MP-profili, za malu predmontažu	131 profil
9.	PL-profili, za panel-liniju	122 profila
10.	Ostaci dulji od 1m	20 ostataka

Iz tablice 31 mogu se izvaditi detalji poput postotnog odnosa ostataka u ukupnoj količini odrezanog materijala, ili udjela pojedine vrste odrežanih profila u ukupnoj količini odrežanih profila pa u tablicama 32 i 33 slijedi:

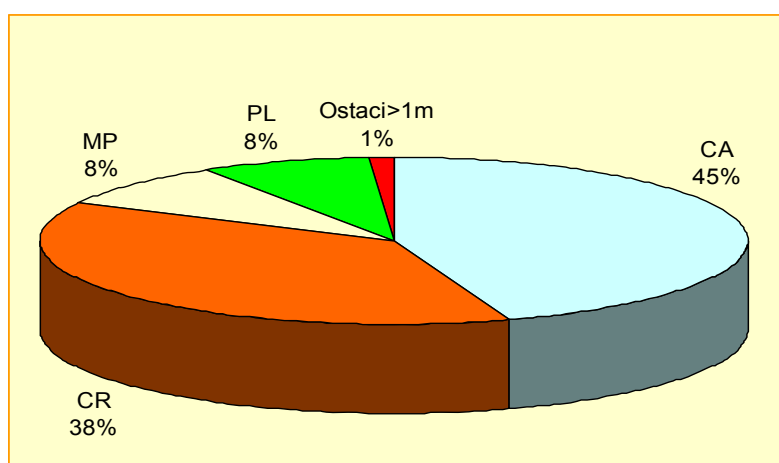
**Tablica 32.** Prikaz udjela ostataka kraćih od 1m u ukupnoj količini odrezanog materijala

Ostaci, kom.	Udio od 1868 komada, %
294	15,7

**Tablica 33.** Prikaz udjela pojedine vrste odrezanih profila u ukupnoj količini odrezanih profila

	Profili	Broj profila	Udio od 1574 komada, %
1.	CA-profili, za aut. mikro-panel liniju	706	44,8
2.	CR-profili, za rob. mikro-panel liniju	595	37,8
3.	MP-profili, za malu predmontažu	131	8.4
4.	PL-profili, za panel-liniju	122	7.8
5.	Ostaci dulji od 1 m	20	1.2

Nadalje, na slici 63, grafički su prikazani podaci iz tablice 30.

**Slika 63.** Prikaz udjela pojedine vrste odrezanih profila u ukupnoj količini odrezanih profila

Nadalje, prema podacima iz tablice 33, definira se i broj paleta prema tipu za odabrani asortiman rezanja, pa tako slijedi:

**- broj potrebnih paleta za profile tipa CA:**

$$NP_{ca} = \frac{706 \text{ profila}}{50(\text{kapacitet jedne palete})} \cong 15 \text{ paleta}$$

**- broj potrebnih paleta za profile tipa CR:**

$$NP_{cr} = \frac{595 \text{ profila}}{50 (\text{kapacitet jedne palete})} \cong 12 \text{ paleta}$$

**- broj potrebnih paleta za profile tipa MP:**

$$NP_{ca} = \frac{131 \text{ profil}}{50 (\text{kapacitet jedne palete})} \cong 3 \text{ paleta}$$

Također, temeljem simulacijskog modela i provedene analize definira se i količina odrezanih profila prema kriteriju njihove duljine i to kako slijedi u tablici 34.

**Tablica 34.** Prikaz količine odrezanih profila prema kriteriju njihove duljine

	<b>Profili</b>	<b>Broj profila</b>	<b>Udio od 1574 komada, %</b>
<b>1.</b>	Profili duljine manje od 750 mm	142	<b>9.0</b>
<b>2.</b>	Profili duljine između 750 mm i 2500mm	1192	<b>76.0</b>
<b>3.</b>	Profili duljine između 2500 mm i 7000 mm	95	<b>6.0</b>
<b>4.</b>	Profili dulji od 7000 mm	125	<b>7.8</b>
<b>5.</b>	Ostaci dulji od 1m	20	<b>1.2</b>

### 5.6.2 Analiza opterećenja predložene konfiguracije linije i identifikacija kritičnih pozicija

Temeljem osnovanog simulacijskog modela predložene konfiguracije i značajki linije provedena je analiza opterećenja linije s ciljem identifikacije uskih grla linije. Stoga, u tablici 35 su prikazane vrijednosti analize opterećenja linije, kako slijedi.



**Tablica 35.** Analiza opterećenosti predložene konfiguracije linije

Objekt linije	Stanje			Procjena opterećenja
	Rad, %	Blokiran, %	Čekanje, %	
Valjčasti transporter, VT <sub>1</sub>	1.3	76.75	21.9	uglavnom blokiran zbog čekanja u nastavku proizvodnog toka – nije usko grlo!
Rotacioni trans. RT	1.4	79.8	18.7	uglavnom blokiran zbog čekanja u nastavku proizvodnog toka – nije usko grlo!
Valjčasti transporter, VT <sub>2</sub>	2.98	0	97	nije blokiran, jer je ispred njega međuskladište MS1 dovoljnog kapaciteta na kojem uvijek ima mjesta za isporuku palete – nije usko grlo
Međuskladište MS <sub>1</sub>	0	84.7	15.2	skladište je uglavnom blokirano zauzetošću ili stajanjem valjčastog transportera VT <sub>3</sub>
Valjčasti transporter, VT <sub>3</sub>	13.5	0	86.5	većinu vremena čeka da se oslobodi stanica za sušenje i čišćenje rubova profila
Stanica za sušenje i čišćenje rubova, S <sub>rub</sub>	9.2	89.3	1.5	zbog čekanja na robota, stanica većinu vremena čeka blokirana dok robot završi
Robot za rezanje, S <sub>R</sub>	64.5	34.2	1.2	Robot za rezanje gotovo 35% vremena stoji blokiran zbog situacije u nadolazećem procesu
Valjčasti transporter, VT <sub>4</sub>	11.5	66.3	32.1	većinu vremena čeka na sortirnu dizalicu da uzme profil
Sortirna dizalica	99	0	1	Sortirna dizalica je vrlo opterećena

*Napomena:*

*Rad - vrijeme potrošeno na kreiranje/transport ili neku sličnu aktivnost*

*Blokiran – vrijeme kada element linije iz nekog razloga ne može predati element dalje u procesu iako je na njemu potpuno spreman za predaju slijedećem objektu*

*Čekanje – objekt linije je sposoban primiti element i ima slobodan resurs, ali ga iz određenog razloga ne prima.*

Analizom podataka u tablici 35 dolazi se do zaključka da posebnu pažnju treba obratiti na:

1. Definiranje i uklanjanje razloga blokiranosti robota za rezanje od 35% Naime, robot kao glavni element linije za rezanje ne smije stajati blokiran, odnosno robot uvijek mora biti u mogućnosti odrezani element izbaciti na valjčasti transporter na svojem izlazu.
2. Rasterećenje očito preopterećene sortirne dizalice sa 99% rada.

Već u ovom trenutku se može primijetiti da je sortirna dizalica vrlo vjerojatno "usko grlo" ovakve predložene konfiguracije linije, te razlog blokiranosti robota za rezanje od 35%, odnosno osnovni razlog zašto linija ne ispunjava traženu propusnost, (4). Međutim, prije donošenja konačnog zaključka treba, predloženom i prilagođenom metodom analize osjetljivosti, ispitati učinak ostalih elemenata linije na ukupno vrijeme trajanja obrade kako bi se utvrdilo koji elementi linije čine najjači utjecaj na promjenu ukupnog vremena trajanja rezanja.

### 5.6.3 Optimiziranje značajki linije

Temeljem provedene analize tokova materijala, asortimana i opterećenja pristupa se provođenju pokusa s ciljem definiranja takvih značajki linije da se postigne ciljano ukupno vrijeme trajanja obrade od **najmanje 51 h** za odabrani asortiman.

Prvotno je potrebno odrediti dovoljan broj scenarija odnosno značajki i raspona unutar kojeg se vrijednosti značajki variraju te koji će se računalno simulirati i analizirati. Stoga, identificirane su one značajke procesa koji se mogu mijenjati te granice unutar kojih je moguće varirati vrijednost značajke. Ostale značajke nije moguće mijenjati ponajviše zbog prostornog ograničenja (posebice vezano za dimenzije transportera, međuskladišta i prostora za palete).

Također, značajke opreme također nije moguće mijenjati izvan određenih granica koje su uvjetovane proizvođačima opreme te raspoloživim financijskim sredstvima brodogradilišta. U ovoj fazi, važna je suradnja s stručnjacima raznih profesija povezanih sa proizvodnim procesom koji se modelira. Stoga, u tablici 36 su navedena ograničenja odnosno značajke linije koje nije moguće mijenjati, a u tablici 37 su navedene značajke koje je moguće mijenjati i predloženi intervali promjene koji su unutar zadovoljavajućih

vrijednosti, ali te vrijednosti nužno nisu uvijek ostvarive ponajviše u financijskom smislu. O financijskom aspektu predloženog rješenja međutim, biti će više riječi kasnije, kada se predlože varijantne rješenja.

**Tablica 36.** Začajke linije koje nije moguće mijenjati-ograničenja

Objekt linije	komentar
Dimenzije valjčastog transportera, VT <sub>1</sub>	to je postojeći transporter čije dimenzije i brzinu nije moguće mijenjati
Rotacioni transporter, RT	to je postojeći transporter čije dimenzije i brzinu nije moguće mijenjati
Valjčasti transporter, VT <sub>2</sub>	dužinu ovog transportera nije moguće mijenjati zbog prostornog ograničenja u radionici
Dimenzije valjčastog transportera, VT <sub>3</sub>	dužinu ovog transportera nije moguće mijenjati zbog prostornog ograničenja u radionici, a brzina je povezna s brzinom stanice za sušenje i čišćenje rubova
Dimenzije valjčastog transportera, VT <sub>4</sub>	dužinu ovog transportera nije moguće mijenjati zbog prostornog ograničenja u radionici
Prostor za slaganje paleta	prostor za slaganje paleta nije moguće značajnije povećavati zbog ograničenja prostora

**Tablica 37.** Značajke linije koje je moguće mijenjati i dozvoljeni raspon promjene značajke

Objekt linije	min. vrijednost značajke	Početna vrijednost značajke	maks. vrijednost značajke	Komentar
Brzina valjčastog transportera, VT <sub>2</sub>	0.225 m/s	0.3 m/s	0.375 m/s	dimenzije transportera nije moguće mijenjati, ali je moguće razmatrati promjenu brzine raspona od 20%
Međuskладиšte MS <sub>1</sub>	35 profila	40 profila	45 profila	Zbog ograničenja prostora, kapacitet ovog međuskладиšta moguće je tek minimalno povećati
Valjčasti transporter, VT <sub>3</sub>	0.125 m/s	0.166 m/s	0.21 m/s	dimenzije transportera nije moguće mijenjati, a brzine se mijenjaju direktno u ovisnosti o brzini stanice

				za sušenje i čišćenje rubova
Stanica za sušenje i čišćenje rubova, $S_{rub}$	0,125 m/s	0,166 m/s	0,208 m/s	brzinu stanice za sušenje i čišćenje rubova moguće je varirati unutar 20% raspona
Robot za rezanje, $S_R$	$f_{v\_sr} = 0.5$	$f_{v\_sr} = 1$	$f_{v\_sr} = 1.5$	faktor promjene brzine moguće je mijenjati u rasponu od 0.5 do 1.5, iako nije realno očekivati ubrzanje performanci robota od čitavih 1.5 puta jer to zahtjeva značajne financijske promjene u investiciji, odnosno vjerojatno kupnju potpuno novog tipa robota.
Valjčasti transporter, $VT_4$	0.225 m/s	0.3 m/s	0.375 m/s	dimenzije transportera nije moguće mijenjati, ali je moguće razmatrati promjenu brzine raspona od 20%
Brzina sortirne dizalice	0,233 m/s	0,33, m/s	0,433 m/s	moguće razmatrati promjenu brzine dizalice u rasponu od 30%. Isto je moguće tehnički ostvariti i na postojećoj dizalici
Brzina mag. grede sortirne dizalice	0,185 m/s	0,266 m/s	0,347 m/s	brzinu je moguće varirati u rasponu od 30%
Brzina dizanja	0,07 m/s	0,1 m/s	0,13 m/s	brzinu je moguće varirati u rasponu od 30%

Temeljem gornje tablice na osnovanom simulacijskom modelu provodi se niz pokusa odnosno simulacija procesa te analiza različitih proizvodnih scenarija.

Svaki scenarij je provjeren korištenjem metode simulacijskog modeliranja, a rezultati vrednovani temeljem osnovnog kriterija:

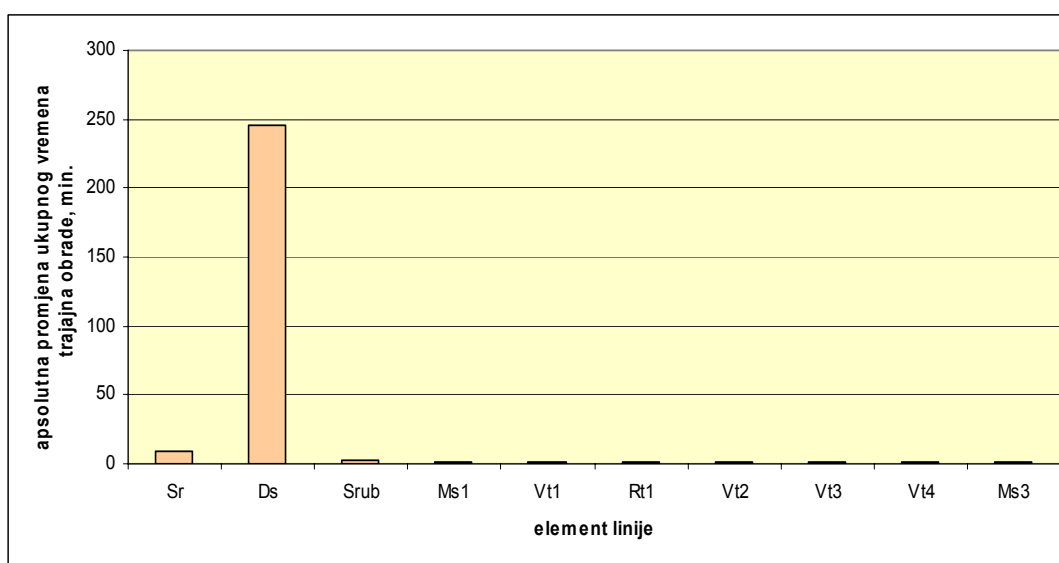
- značajke linije treba definirati tako da se ostvari ukupno vrijeme rezanja za odabrani asortiman kraće od **51 h**.

Prije no što se započne s provedbom pokusa potrebno je pomoću metode analize osjetljivosti utvrditi one značajke koje imaju najjači utjecaj na ukupno vrijeme trajanja

obrade profila. Taj se postupak radi kako bi se smanjio broj značajki s kojima se moraju vršiti pokusi, a time i broj scenarija. Nadalje, na taj način se skraćuje i vrijeme potrebno za analizu, ali se i izbjegava provoditi nepotrebne analize za značajke koje ne utječu na ciljnu funkciju, odnosno ukupno vrijeme trajanja obrade.

Stoga, na slici 64 su prikazani rezultati analize osjetljivosti provedene za sve značajke navedene u tablici 37. Pri tome, svaka se vrijednost značajke mijenja na slijedeći način:

- vrijednost značajke uvećava se za 10%,
- svaka se vrijednost značajke mijenja pojedinačno i za nju samu se provodi jedan eksperiment na osnovanom simulacijskom modelu kako bi se odredio utjecaj upravo te značajke. Rezultat se potom bilježi.
- prema potrebi, ukoliko rezultati nisu jasni, provode se i eksperimenti procjene utjecaja promjene vrijednosti za dvije značajke istovremeno, te rezultati bilježe.



Legenda:

$S_r$  - Robotska stanica za rezanje

$D_s$  - Sortirna dizalica

$S_{rub}$  - Stanica za sušenje i čišćenje rubova profila

$M_{S1}$  - međuskladište 1

$M_{S3}$  - međuskladište 3

$V_{t1}$  - valjčasti transporter 1

$R_{t1}$  - rotacioni transporter 1

$V_{t2}$  - valjčasti transporter 2

$V_{t3}$  - valjčasti transporter 3

$V_{t4}$  - valjčasti transporter 4

**Slika 64.** Rezultati analize osjetljivosti ukupnog vremena trajanja obrade u ovisnosti o promjeni vrijednosti značajke za 10%

Valja napomenuti da je analiza osjetljivosti provedena i za veći broj elemenata te za veću promjenu vrijednosti njihovih značajki. Međutim, rezultati su u osnovi isti kao ovi prikazani na slici 64, pa se ona nije dodatno opreterećivala drugim podacima.

Dakle, temeljem rezultata analize osjetljivosti zaključuje se da su elementi linije od najvećeg utjecaja na ukupno vrijeme trajanja obrade slijedeći:

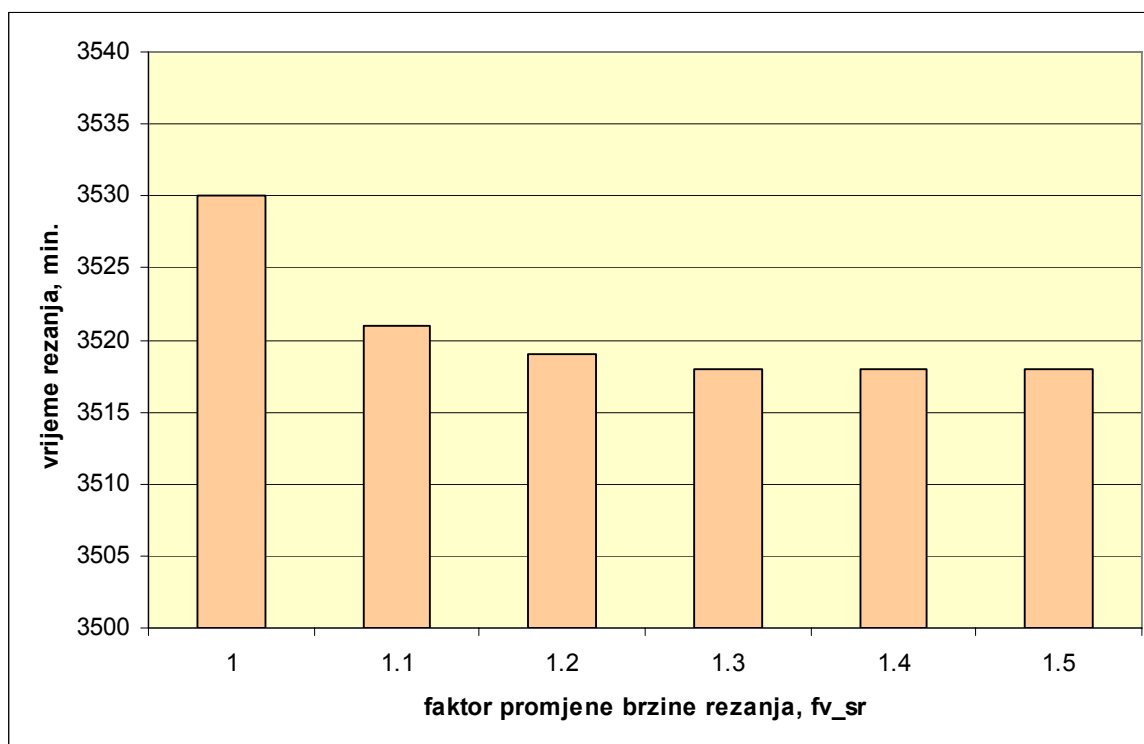
1. Brzina rada sortirne dizalice i
2. Brzina rezanja robotske stanice za obradu profila.

Pri tome, prema već utvrđenim činjenicama u tablici 35, odnosno da sortirna dizalica 99% vremena radi, te prema rezultatima analize osjetljivosti, zaključeno je da je primarno usko grlo predložene konfiguracije linije **brzina rada sortirne dizalice**, koja prema inicijalno postavljenim značajkama projekta ne može dovoljno brzo oslobađati izlazni valjčasti transporter iz robota za obradu profila koji zbog toga i ostaje blokiran 35% vremena (vidi tablicu 35).

Ovaj zaključak potkrepljen je i rezultatima pokusa unutar kojih je brzina rezanja mjenjana za postotke od 10% do 50%. Međutim, kako je prikazano u tablici 38 i na slici 65, uočeno je da se sa povećanjem brzine rezanja ne skraćuje odgovarajuće i ukupno vrijeme rezanja, što također upućuje na to da je "usko grlo" negdje u nastavku proizvodnog toka, a to je na sortirnoj dizalici  $D_s$ .

**Tablica 38.** Promjena vremena ukupnog trajanja rezanja uslijed promjene brzine rezanja

Faktor promjene brzine rezanja, $f_{v\_sr}$	Ukupno vrijeme rezanja
<b>1.0</b> <b>početno stanje predložene konfiguracije linije</b>	<b>58 h i 50 min.</b>
1.1 (+ 10%)	58 h i 41 min.
1.2 (+ 20%)	58 h i 39 min.
1.3 (+ 30%)	58 h i 38 min.
1.4 (+ 40%)	58 h i 38 min.
1.5 (+ 50%)	58 h i 38 min.



Slika 65. Promjena vremena ukupnog trajanja obrade uslijed promjene brzine rezanja

Stoga, pristupilo se analizi scenarija kojima se poduzima povećanje brzine sortirne dizalice u rasponu specificiranom u tablici 37, pojedinačno, zadržavajući početno definiranu brzinu rezanja, ali i paralelno s promjenom faktora brzine rezanja.

Rezultati provedbe eksperimenata pokazani su u tablici 39.

Tablica 39. Kretanje vremena ukupnog trajanja rezanja uslijed promjene brzine dizalice

Ukupno vrijeme trajanja obrade profila	Faktor promjene brzine rezanja					
	Početno vrijeme	+ 10%	+ 20%	+ 30%	+ 40%	+ 50%
	58h i 50min	58h i 41min	58h i 39min	58h i 38min	58h i 38min	58h i 38min
Ukupno vrijeme trajanja rezanja uz istovremeno ubrzanje performansi sortirne dizalice						
Sortirna dizalica +10%	54h i 44min	54h i 12min	54h i 9min	54h i 9min	54h i 9min	54h i 9min
Sortirna dizalica +20%	50h i 30min	50h i 27min	50h i 25min	50h i 24min	50h i 24min	50h i 24min
Sortirna dizalica +30%	48h i 50min	47h i 18min	47h i 15min	47h i 15min	47h i 15min	47h i 15min
Sortirna dizalica +40%	48h i 42min	45h i 20min	44h i 34min	44h i 32min	44h i 32min	44h i 32min
Sortirna dizalica +50%	48h i 40min	45h i 9min	42h i 30min	42h i 11min	42h i 11min	42h i 11min

A
B
C

Prema rezultatima prikazanim u tablici 39, može se zaključiti slijedeće:

1. Ponovno se uočava da ubrzanje brzine rezanja nema bitnog efekta na ukupno vrijeme trajanja obrade ukoliko se paralelno s njime ne povećava i brzina rada dizalice.
2. Ciljano ukupno vrijeme trajanja obrade od minimalno 51h, postiže se pri povećanju brzine sortirne dizalice za 20%, ali i uz zadržavanje inicijalne brzine rezanja robota, a iznosi (tablica 39, oznaka A):

**50 h i 30 min.**

**Time je primarni uvjet unapređenja značajki linije postignut, odnosno ostvareno je ukupno vrijeme trajanja obrade za manje od ciljanih 51h, prema opisanom u poglavlju 5.5.1, a što odgovara osnovnom projektnom zahtjevu brodogradilišta da linija mora imati propusnost od najmanje 11 000 profila mjesečno, za 24 radna dana, u 2 smjene.**

3. Dodatno skraćivanje ukupnog vremena trajanja obrade postiže se uz:
  - povećanje brzine rezanja robota za 10% i
  - povećanje brzine rada sortirne dizalice za 30%.

te iznosi (tablica 39, oznaka B):

**47 h i 18 min.**

Pri tome se ovo rješenje predlaže kao optimalno, odnosno ono koje bi brodogradilište trebalo pokušati realizirati. Naime, prema konzultacijama sa stručnjacima brodogradilišta i proizvođačima opreme utvrđeno je da je povećanje brzine robota za 10% tehnički moguće uz relativno male dodatne financijske izdatke, kao i povećanje brzine rada sortirne dizalice od 30% koje primarno leži u povećanju brzine magnetne grede.



Također, na ovaj način će se osigurati i dodatna robusnost linije koja bi sa konfiguracijom linije u kojoj ostvaruje vrijeme od 50 h i 30 min. bila vjerojatno previše osjetljiva na različite, pa i najmanje, promjene u proizvodnoj liniji te tako vrlo lako premašivala ciljano vrijeme obrade od 51h.

4. Minimalno ukupno vrijeme trajanja obrade, uz zadana ograničenja iz tablice 37, postiže se uz:

- povećanje brzine rezanja robota za 30% i
- povećanje brzine rada sortirne dizalice za 50%

te iznosi (tablica 39, oznaka C):

**42 h i 11 min.**

Pri tome, uočava se da daljnje povećanje brzine rezanja robota nema smisla bez istovremenog daljnjeg povećanja brzine rada dizalice, kako se može i vidjeti u tablici 39.

Također, prema konzultacijama sa stručnjacima brodogradilišta i proizvođačima opreme, utvrđeno je da je povećanje brzine rezanja robota od 30% teško ostvarivo bez značajnih financijskih intervencija odnosno kupnje drugog tipa robota za rezanje. A što se tiče povećanje brzine rada dizalice za 50%, ono je teško ostvarivo bez obzira na tip dizalice pa bi za potrebe ovakvog ubrzanja trebalo razmišljati o kupnji dvije dizalice što bi nadalje zahtjevalo značajne intervencije u konfiguraciju linije, raspored paleta, pa i broja operatera koji bi posluživali te dizalice.

Stoga, ovo se rješenje, iako s najkraćim vremenom trajanja obrade – **ne preporučuje.**

#### 5.6.4 Zaključak provedene analize i optimiranja predložene konfiguracije linije

Temeljem provedene analize i optimiranja predložene konfiguracije linije sa primarnom svrhom ostvarivanja postavljenih ciljeva istraživanja, (vidi poglavlje 5.1) predlaže se primjena jedne od slijedeće tri varijante rješenja:

##### 1. "Ekonomična varijanta"

Predložena konfiguracija linije ima jedno "usko grlo", a to je sortirna dizalica. Sortirnu dizalicu je nužno ubrzati barem za **20%** kako bi se odabrani asortiman obradio za manje od ciljanih 51 h, odnosno rezultirajućih:

**50 h i 30 min.**

##### 2. "Optimalna varijanta"

Povećanjem brzine obrade robota za **10%** i brzine rada dizalice za **30%**, postiže se, za odabrani asortiman obrade, ukupno vrijeme trajanja obrade od:

**47 h i 18 min.**

##### 3. "Maksimalistička varijanta"

Povećanjem brzine obrade robota za **30%** i brzine rada dizalice za **50%**, postiže se, za odabrani asortiman obrade, ukupno vrijeme trajanja obrade od:

**42 h i 11 min.**

Nadalje, rezultati se tablično, s međusobnim postotnim odnosima, prikazuju u tablici 40. Pri tome tablica prikazuje ukupno vrijeme obrade za svaku varijantu te njezino unapređenje u postocima u odnosu na početno predloženo projektno rješenje.

**Tablica 40.** Pregled ukupnih vremena trajanja obrade predloženih varijanti rješenja i usporedba s početnim projektnim rješenjem

Poč. rješ.,	" <i>Ekonom. var.</i> ".	" <i>Ekonom. var.</i> ", unapređenje	" <i>Opti. var.</i> "	" <i>Opti. var.</i> ", unapređenje	" <i>Maks. var.</i> "	" <i>Maks. var.</i> ", unapređenje
3530 min.	3030 min.	14,1 %	<b>2838 min.</b>	<b>25,2 %</b>	2531 min.	28.3 %

Zaključno, autor predlaže primjenu "*Optimalne varijante*" zato što je uz, a kako je utvrđeno u konzultacijama sa stručnjacima brodogradilišta i proizvođačima opreme, brodogradilištu prihvatljive dodatne financijske izdatke i tehničke modifikacije, moguće ostvariti značajno skraćanje ukupnog vremena trajanja obrade u odnosu na početnu predloženu konfiguraciju u iznosu od 25,2%.

Također, linija sa tako konfiguriranim značajkama opreme posjeduje bitno višu razinu robusnosti, odnosno manju razinu osjetljivosti na promjene u proizvodnom procesu te je kao takva pouzdanija u smislu da će se s njom ostvarivati ciljano ukupno vrijeme trajanja obrade od 51h odnosno projektnim zahtjevom definirana propusnost od 11 000 profila u 24 radna dana, u 2 smjene. Dakle, zaključno kao odgovor na cilj A projekta (vidi poglavlje 5.1) slijedi:

**Predlaže se realizacija projekta nove robotizirane linije za obradu profila, temeljem "*Optimalne varijante*" od koje se očekuje slijedeće:**

**1. Predložena varijanta će ostvarivati više od projektnim zahtjevom definiranih 11 000 profila u 24 radna dana, u 2 smjene, odnosno biti će u mogućnosti obrađivati i preko **12 000 profila !****

i

**2. Odabrani ulazni asortiman od 359 elemenata će obraditi u izlaznih 1554 odrezanih elemenata za vrijeme od 2838 minuta odnosno **47 h i 11 min.****

i

**3. Predložena varijanta je u odnosu prema početno predloženom projektnom rješenju poboljšana za više od **25%****

Nadalje, kao odgovor na cilj B projekta (vidi poglavlje 5.1) slijedi:

**Temeljem osnovanog i optimiranog simulacijskog modela zaključuje se slijedeće:**

**Linija u jednom radnom danu i dvije smjene, odnosno 15 radnih sati, potrebuje**

**oko 120 profila iz kojih se odreže oko 500 manjih profila.**

**Stoga je, potrebno osigurati interno skladište linije takvih dimenzija za smještaj**

**120 profila.**

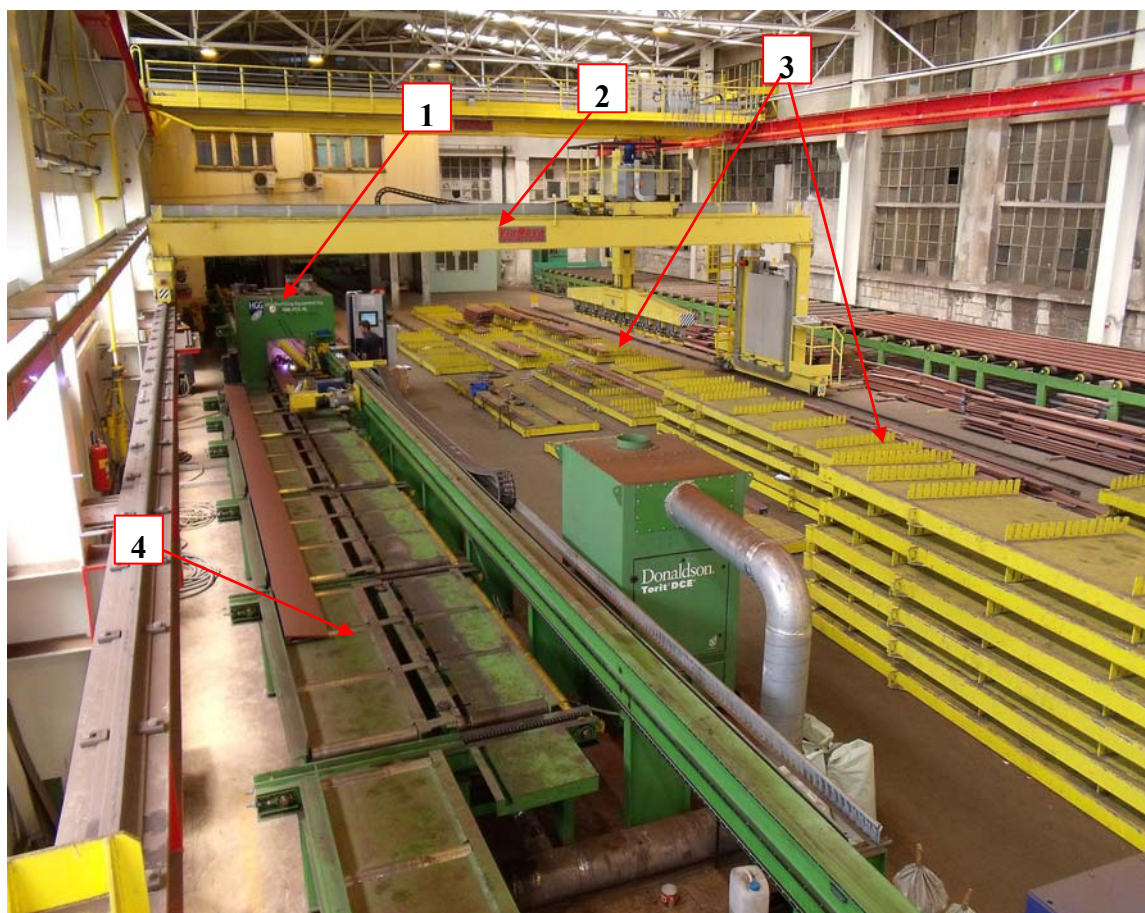
Odgovor na cilj C (vidi poglavlje 5.1) biti će definiran nakon usporedbe osnovanog simulacijskog modela sa stvarnim proizvodnim procesom, odnosno nakon realizacije predloženog projektnog rješenja i njegove instalacije u stvarni proizvodni proces, a o čemu će biti riječi u slijedećem poglavlju.



## 6. Potvrda osnovanog simulacijskog modela nakon realiziranog projekta i prijedlog budućeg istraživanja

### 6.1 Usporedba osnovanog simulacijskog modela sa stvarnim procesom

Nakon što je investicija realizirana i nova robotizirana linija za obradu profila instalirana i stavljena u funkciju, osnovani simulacijski model usporedio se sa stvarnim proizvodnim procesom. Na slici 66 je fotografija projektirane i instalirane robotizirane linije za obradu profila u promatranom brodogradilištu.



**Slika 66.** Fotografija projektirane i instalirane robotizirane linije za obradu profila u promatranom brodogradilištu nakon realizacije projekta, [119]

Pri tome, na slici su označena četiri elementa linije i to kako slijedi:

1. **Robotska stanica za obradu profila.** (vidi sliku 51-oznaka  $S_R$  i sliku 56-područje F);
2. **Sortirna dizalica.** (vidi sliku 51-oznaka  $D_S$  i sliku 56-područje F);
3. **Paleta za sortiranje.** (vidi sliku 51 - oznake  $P_{ca}$ ,  $P_{cr}$ ,  $P_{mp}$  i  $P_{ost}$  i sliku 56-područje F);
4. **Valjčasti transporter** (vidi sliku 51 - oznaka  $V_{T3}$  i sliku 56-područje E);

Trenutno, instalirana linija za obradu profila, obrađuje asortiman profila jedne aktualne novogradnje, a to je brod za prijevoz automobila (eng. car carrier).

Mjerenjem ukupnog vremena trajanja obrade za karakterističnu grupu utvrđeno je da se ona obradi za 59 h. Karakteristična grupa, temeljem koje je izvršeno ovo mjerenje, jest grupa 3410, što je dio dvodna novogradnje broda za prijevoz automobila. S obzirom da se u ovom istraživanju obrađivala, doduše slična grupa dvodna, ali ipak grupa dvodna od novogradnje broda za prijevoz kemikalija (eng. chemical tanker) koja nije identična onoj na brodu za prijevoz automobila (eng. car carrier) ponajviše u prevladavajućim debljinama profila koje su nešto tanji na brodu za prijevoz automobila, trebalo je u simulacijski model ubaciti aktualni asortiman profila grupe 3410 broda za prijevoz automobila.

Nakon što su se u simulacijski model unijeli aktuelni podaci, utvrđeno je da osnovani model ostvaruje rezultat od 51 h za obradu odabranog asortimana. U tablici 41 prikazana je usporedba simulacijskog vremena i izmjenog vremena u stvarnom procesu.

**Tablica 41.** Usporedba vremena simulacijskog modela i izmjenog vremena u stvarnom procesu

Simulacijsko vrijeme ukupnog trajanja obrade	Izmjereno vrijeme ukupnog trajanja obrade u stvarnom procesu	Razlika
51h	59h	13,5 %

Ostvarenu razliku treba procjenjivati uzimajući u obzir slijedeće činjenice:

1. Stvarno izmjereno vrijeme obrade, od 59 h, uključuje zastoje, održavanje, kvarove, ljudski faktor i sl.

2. Mjerenjem stvarnih vremena se utvrdilo i da određeni parametri robota za obradu profila, poput pozicioniranja glave za rezanje, markiranja pa i samog rezanja nisu točno takvi kakvi su bili inicijalno specificirani od proizvođača, te kao takvi i uključeni u simulacijski model.
3. Konačno realizirani projekt i instalirana linija u stvarni proizvodni proces brodogradilišta najbliža je "*Ekonomičnoj varijanti*" među predloženima u okviru ovog istraživanja, ali se ipak neznatno razlikuje i od nje, prvenstveno u dimenzijama transportera i međuskladišta, što također treba uzeti u obzir pri ocjenjivanju rezultata ove usporedbe.

Stoga, imajući u vidu gore navedene činjenice, a u suradnji sa stručnjacima brodogradilišta, zaključeno je da je razlika od 13,5% realna i prihvatljiva.

Ovom konačnom usporedbom sa stvarnim procesom osnovani simulacijski model je i potvrđen. Nadalje, nakon dorade simulacijskog modela, prema gore navedenim rezultatima mjerenja i analize stvarnog procesa, model može biti korišten za planiranje, kontrolu i unapređivanje procesa, što se predlaže u okviru nastavka istraživanja.

## 6.2 Prijedlog nastavka istraživanja

Iako je osnovani simulacijski model, temeljem izmjerene razlike prema stvarnom proizvodnom procesu, od 13.5 % ocijenjena realnom i prihvatljivom te model kao takav potvrđen, kao nastavak ovog istraživanja, a s obzirom da se većinu od identificiranih uzroka ove razlike može relativno lako ugraditi u simulacijski model i time ga unaprijediti i učiniti preciznijim, predlaže se dodatno rafinirati osnovani simulacijski model upravo s podacima iz stvarnog procesa, poput podataka o kvarovima, zastojsima i trajanju zastoja te određenim detaljima vezanih uz rad robota i doradu same konfiguracije linije.

Pri tome, određeni statistički podaci o učestalosti pojavljivanja i trajanja zastoja i kvarova već postoje, te pokazuju da prosječno trajanje zastoja mjesečno iznosi i do 2 smjene, odnosno 15 h.

Također, kako je bilo spomenuto, mjerenjem stvarnog procesa utvrđene su određene razlike u odnosu na korištene podatke pri izradi modela, ponajviše u vremenima rezanja ovisno o debljini materijala i vremenu potrebnom za označavanje odrezanih



profila, a koja se nešto razlikuju od onih koja su na početku projekta bila dobivena od proizvođača robota. Nadalje, model treba dodatno rafinirati tako da se u njega ugrade i određeni dodatni detalji povezani s vremenima manipulacije profilom unutar stanice za rezanje, s vremenima postavljanja glave za rezanje u poziciju za rezanje, ali i nekih drugih parametara koji inicijalno nisu bili uzeti u obzir, a koja će se prikupiti mjerenjima i analizom stvarnog procesa.

Svrha ovog predloženog nastavka istraživanja odnosno daljnjeg unapređivanja i usavršavanja modela jest da se osnovani simulacijski model, nakon što se koristio za projektiranje i vrednovanje predloženog projektnog rješenja, koristi i za svakodnevno planiranje, kontrolu i unapređenje proizvodnje, a za što je već pokazan i interes od suradnika iz brodogradilišta. Pri tome, model se može koristiti za:

- planiranje i procjenu potrebnih radnih sati za obradu zadane grupe proizvoda za određeni period proizvodnje,
- uočavanje odnosno predviđanje problema i uskih grla u proizvodnji prije nego se oni dogode kako bi se na njih moglo pravovremeno reagirati,
- kontinuirano mjerenje i analiziranje proizvodnog procesa ovisno o različitim uvjetima kako bi se on mogao kontinuirano prilagođavati, unapređivati što će ga učiniti fleksibilnijim i efikasnijim, itd.

Na kraju, kao daljnji nastavak istraživanja, autor očekuje prilagodbu i mogućnost primjene osnovanog simulacijskog modela i na ostale proizvodne procese brodogradilišta s ciljem osnivanja simulacijskog modela cjelokupnog brodograđevnog procesa, a koji će ujedno biti i informacijski integriran s ostalim informatičkim sustavima brodogradilišta, poput sustava za nabavu i praćenje materijala, sustava za projektiranje i sustava za opremanje broda.

Također, ovim istraživanjem osnovana metodologija projektiranja, predlaže se, osim za projektiranje novih proizvodnih procesa, primjenjivati i za restrukturiranje i unapređenje postojećih procesa.

## **7. Zaključak**

U radu je osnovana metodologija projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa koja se temelji na metodi simulacijskog modeliranja. Razvojem i osnivanjem takve kompleksne metodologije, u ovom se radu želi pridonijeti razvoju i sustavnoj primjeni znanstveno utemeljenih metoda i alata s ciljem unapređenja projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa. Nadalje, primjenom osnovane metodologije u konkretnom slučaju projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa, želi se dokazati njena primjenljivost te dati doprinos razvoju primjene simulacijskih metoda naglašavajući njihovu svrsishodnost i prikladnost za projektiranje proizvodnih procesa u brodogradnji.

U uvodnom poglavlju rada, istaknuta je i opisana problematika projektiranja složenog proizvodnog procesa kao što je brodograđevni. Slijedom opisane problematike i utvrđivanja nedostataka takvih pristupa, ističe se i motivacija za pokretanje ovog istraživanja. Naime, nerijetko se rješenje definira temeljem usporedbe s drugim brodogradilištima koja su sličnu metodologiju već implementirala. Takvo rješenje u određenim okolnostima može biti i zadovoljavajuće, međutim ne i optimalno prilagođeno promatranom brodogradilištu. Također, dosadašnji pristupi projektiranju često su presloženi i nedovoljno efikasni pogotovo za projektiranje kompleksnih procesa poput brodograđevnog. Stoga je osnovni cilj ovog istraživanja bio osnovati takvu metodologiju projektiranja proizvodnih procesa kojom će se moći u kraćem vremenu, efikasnije i kvalitetnije opisati složenost i dinamika procesa, s konkretnom primjenom na brodograđevni proizvodni proces. Pri tome, kao osnova takve metodologije koristi se metoda simulacijskog modeliranja, čiju osnovu čini računalni simulacijski model projektiranog procesa. Za razliku od analitičkih matematičkih modela, računalno podržan simulacijski model je pregledniji, lakše upravljiv, te omogućuje da se teorija i pretpostavke jednostavnije i brže provjere na računalu. Osnovni smisao osnivanja takvog simulacijskog modela je u tome što je sa stvarnim sustavom vrlo skupo, rizično, a najčešće i nemoguće eksperimentirati. Ovakav pristup projektiranja pruža menadžmentu niz relevantnih i pravovremenih podataka temeljem kojih će donositi pouzdanije odluke vezane za proizvodni proces, što će rezultirati izborom optimalnog rješenja za brodogradilište. Takvo projektno rješenje u odnosu na konvencionalan pristup sadrži nižu razinu rizika u odlučivanju i osigurava kvalitetnije rješenje sa stajališta angažiranih resursa i financijskih sredstava.

U drugom poglavlju rada, prema dostupnim izvorima, istražene su metode, tehnike

i alati koji se općenito primjenjuju kod problema projektiranja proizvodnih procesa s posebnim osvrtom na kritičku analizu mogućnosti primjene metode simulacijskog modeliranja. Slijedom provedene analize, i prethodno istaknutih prednosti, zaključuje se podobnost i svrsishodnost primjene metode simulacijskog modeliranja za projektiranje složenih industrijskih proizvodnih procesa.

U trećem poglavlju, opisano je i elaborirano simulacijsko modeliranje kao osnova predložene metodologije sa svojim osnovnim karakteristikama, razlozima primjene, a sa posebnim osvrtom na brodograđevni proizvodni proces.

U četvrtom poglavlju, detaljno je opisan postupak osnovane metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa. Pri tome, prvo su utvrđeni preduvjeti koje valja razmotriti prije započinjanja projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa temeljem osnovane metodologije. Nadalje, osnovana je i detaljno opisana procedura projektiranja kroz sedam uzastopnih faza, a za svaku fazu pridruženi zadaci, predložene metode i alati za dobivanje rješenja.

Prva faza osnovane metodologije jest definiranje problema i ciljeva projekta. Pri tome se uz primjenu grafičkog prikaza toka proizvodnog procesa, odgovarajućeg uzročno posljedičnog dijagrama te prilagođene *brainstorming* metode i elemenata *benchmarking* metode, definira osnovni rezultat ove faze, odnosno definira se postojeće stanje, problem i uzroci problema. Nadalje, u skladu se definiranim problemom definira se i projektni zadatak te odgovornosti i rokovi. Druga faza osnovane metodologije obuhvaća definiranje ulaznih podataka relevantnih za projektiranje promatranog proizvodnog procesa s osnovanom metodologijom, te idejno osmišljavanje planiranog simulacijskog modela proizvodnog procesa. Pri tome se koriste elementi *benchmarking* metode za usporedbu sa sličnim proizvodnim procesima, prilagođena *brainstorming* metoda za potrebe definiranja tehničkih značajki opreme projektiranog proizvodnog procesa linije, prostornog rasporeda, proizvodnog asortimana i drugih relevantnih podataka, te grafički prikaz toka procesa za analizu početnog projektnog rješenja. Također, principi metode simulacije se koriste kao osnova za idejno osmišljavanje simulacijskog modela početnog projektnog rješenja. Kao rezultat ove faze, definirani su i organizirani relevantni ulazni podaci prema zahtjevima metode simulacijskog modeliranja. Nadalje, definirano je početno projektno rješenje te je osmišljena struktura i logika simulacijskog modela predloženog projektnog rješenja. Treća faza osnovane metodologije obuhvaća postupke osnivanja računalnog simulacijskog modela. U ovoj fazi, primarno se koristi metoda simulacijskog modeliranja za osnivanje računalnog simulacijskog modela u okviru specijaliziranog diskretnog simulacijskog softvera *eM-Plant* i objektnog simulacijskog jezika *SimTalk*. Konačni rezultat ove faze jest

osnovani računalni simulacijski model predloženog projektnog rješenja.

Četvrta faza osnovane metodologije projektiranja obuhvaća proces verifikacije osnovanog simulacijskog modela predloženog projektnog rješenja. Primjenom metode simulacije i *brainstorming* metode, osnovani simulacijski model je testiran i analiziran te u konačnici verificiran i kao takav pripremljen za slijedeću fazu metodologije projektiranja.

Peta faza osnovane metodologije projektiranja obuhvaća analizu proizvodnog scenarija i unapređenje osnovanog simulacijskog modela predloženog projektnog rješenja. U okviru ove faze metodom simulacijskog modeliranja analizira se predloženog projektnog rješenja za odabrani proizvodni asortiman te se utvrđuje da li ispunjava projektne zadatke. Nadalje, prema potrebi, pristupa se unapređenju predloženog projektnog rješenja. U okviru postupaka unapređenja koristi se prilagođena analiza osjetljivosti za procjenu utjecajnih značajki na ciljnu funkciju odnosno osnovni projektni zahtjev. Za tako utvrđene značajke utvrđuje se logičan raspon unutar kojih se vrijednosti značajki variraju. Za odabrane značajke i njihove parametre, metodom simulacije provodi se i analizira kompletan plan eksperimenata odnosno proizvodnih scenarija s ciljem utvrđivanja one konfiguracije vrijednosti značajki koja minimalno ispunjava osnovni definirani projektni zahtjev. Prema potrebi, projektno rješenje se i dalje unapređuje. Rezultat ove faze metodologije projektiranja jest unaprijeđen simulacijski model odnosno unaprijeđeno predloženo projektno rješenje. Šesta faza osnovane metodologije projektiranja obuhvaća postupke dokumentiranja provedbe projekta i rezultata projektiranja. Sedma faza metodologije projektiranja je faza implementacije projektnog rješenja. Rezultat ove faze metodologije projektiranja jest realizirani projekt i njegova instalacija u stvarni brodograđevni proizvodni proces.

U nastavku rada, u petom poglavlju, osnovana metodologija projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa je primjenjena i provjerena na konkretnom brodograđevnom proizvodnom procesu za projektiranje nove robotizirane linije za obradu profila. Pri tome, u okviru opisanog primjera, metodom simulacijskog modeliranja je prvotno utvrđeno da početno predloženo projektno rješenje, dobiveno konvencionalnim postupkom projektiranja, ne ispunjava definirani projektni zahtjev. Nadalje, utvrđeni su razlozi neispunjavanja projektnog zahtjeva, te se pristupilo njegovu unapređenju i optimiziraju simulacijskim modeliranjem. Analizom različitih proizvodnih scenarija, predložene su tri varijante rješenja od kojih svaka ostvaruje definirani projektni zahtjev, ali s različitim tehničkim i financijskim zahvatima koje treba primijeniti na početno predloženo projektno rješenje. Sugerirana je varijanta rješenja - "*Optimalna varijanta*" koja ispunjava definirani projektni zahtjev te ga premašuje za 10tak %. U odnosu na početno

projektno rješenje, za koje je utvrđeno da uopće ne ispunjava definirani projektni zahtjev, sugerirano rješenje dobiveno primjenom osnovane metodologije projektiranja ima propusnost uvećanu za više od 25%. Pri tome, autor želi naglasiti da bi bilo kojom drugom metodom, osim primjenjenom metodom simulacijskog modeliranja kao osnove predložene metodologije projektiranja, bilo vrlo teško, ako uopće i moguće, postići ovakve pravovremene i kvalitetne zaključke koji su doveli do odabira sugeriranog projektnog rješenja, i to u relativno kratkom roku te na način vrlo pregledan, jasan i intuitivan.

U šestom poglavlju, provjerena je i potvrđena predložena metodologija usporedbom tako projektirane linije sa njezinim realiziranim postavom u stvarni proizvodni proces promatranog brodogradilišta. Usporedbom osnovanog simulacijskog modela sa stvarnim proizvodnim procesom, na temelju istog proizvodnog asortimana, utvrđena je zadovoljavajuća točnost, te je utvrđeno da se model, uz manje modifikacije, može koristiti za potrebe planiranja, kontrole i daljnjeg unapređenja procesa. Međutim, analizom stvarnog procesa, uzroci manjih razlika su većim dijelom identificirani, te je utvrđeno da se osnovani simulacijski model može adekvatno doraditi i usavršiti.

U sedmom poglavlju dani su zaključci o izvedenom istraživanju, istaknut znanstveni doprinos, mogućnost primjene rezultata istraživanja te predložene mogućnosti daljnjih istraživanja. U domeni znanstvenog doprinosa istraživanja, osnivanjem i prijedlogom ovakve metodologije projektiranja proizvodnog procesa, a posebno temeljem njene primjene za projektiranje stvarnog brodograđevnog proizvodnog procesa i zaključaka iz usporedbe sa stvarnim realiziranim proizvodnim procesom, ovim se radom doprinosi sustavnoj primjeni znanstveno utemeljenih metoda i alata, posebice metode simulacijskog modeliranja za projektiranje i unapređenje brodograđevnog proizvodnog procesa. Također, daje se doprinos razvoju opće strategije projektiranja i upravljanja proizvodnim procesima u brodogradnji.

Kao nastavak ovog istraživanja predviđa se simulacijski model dodatno unaprijediti s podacima iz stvarnog procesa. Takav bi se model nadalje, nakon što se koristio za projektiranje i vrednovanje predloženog projektnog rješenja, mogao koristiti i za svakodnevno planiranje, kontrolu i unapređenje proizvodnje, a za što je već pokazan i interes od suradnika iz brodogradilišta. Pri tome, model se može koristiti za planiranje i procjenu potrebnih radnih sati za obradu zadane grupe proizvoda za određeni period proizvodnje; za uočavanje odnosno predviđanje problema i uskih grla u proizvodnji prije nego se oni dogode kako bi se na njih moglo pravovremeno reagirati; za kontinuirano mjerenje i analiziranje proizvodnog procesa, ovisno o različitim uvjetima, kako bi se on mogao kontinuirano prilagođavati, unapređivati, a što će ga učiniti fleksibilnijim i

efikasnijim. Na kraju, u okviru nastavka istraživanja, autor očekuje i daljnju prilagodbu i primjenu osnovanog simulacijskog modela potencijalno i na ostale proizvodne procese brodogradilišta s ciljem osnivanja simulacijskog modela cijelog brodograđevnog procesa, a koji će ujedno biti i informacijski integriran s ostalim sustavima brodogradilišta.



## LITERATURA

1. Klaić, B.: *Rječnik stranih riječi*, Nakladni zavod Matice Hrvatske, Zagreb, 1982.
2. Veža, I., Bilić, B., Babić, D.: *Projektiranje proizvodnih sustava*, Sveučilište u Splitu, Split, 2001.
3. Cooper, R. G., Kleinschmidt, E. J., *An investigation into the new product process: Steps, deficiencies and impact*, Journal of Product Innovation Management, Vol. 3, No 2, 1986.
4. Peters, A. J., *New product design and development: A generic model*, The TQM Magazine, Vol. 11, No 3, 1999.
5. Mileusnić, N., *Planiranje i priprema proizvodnje*, Privredni pregled, Beograd, 1974
6. White, J. A., *Production Handbook*, John Wiley & Sons, 1987.
7. Eversheim, W., Schuh, G., *Betriebshütte: Produktion und Management*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1996.
8. Prasad, B.: *Concurrent Engineering Fundamentals, Volume I*, Prentice-Hall PTR, New Jersey, 1996.
9. Wiendahl, H.W., *Betriebsorganisation für Ingenieure*, Hanser Verlag, München, 1997.
10. Sen, P., Yang, J.B., *Multiple criteria decision support in engineering design*, Springer-Verlag, 1998.
11. Currie, R. M., *Work Study*, London. Pitman Publishing, 1974
12. Mundel, M. E., *Motion and Time Study Improving Productivity*, Englewood Cliffs, NJ. Prentice-Hall, 1978.
13. Mundel, M. E., *Improving Productivity and Effectiveness*, Englewood Cliffs, NJ. Prentice Hall, 1983.
14. Niebel, B. W., *Motion and Time Study*, Richard D Irin, Inc., 1982.
15. Banks, J., *Handbook of Simulation*, John Wiley & Sons, New York, 1998. ISBN 0-471-13403-1
16. Munitić, A., *Kompjuterska simulacija, uz pomoć systemske dinamike*, izdavač: Brodosplit, Split, 1989.
17. Kostić, K., *Zbirka iz projektovanja upravljačkih sistema u proizvodnji*, Naučna knjiga, Beograd, ISBN 86-23-20227-9. 1991.
18. Banks, J., et all, *Discrete-Event System Simulation (4rd Edition)*. Publisher: Person Education Ltd, ISBN: 0131293427, 2005.



19. Palm, C., *Assignment of Workers in Servicing Automatic Machines*. Journal of Industrial Engineering, 9, 28-42, 1958.
20. Hunt, G. C., *Sequential Arrays of Waiting Lines*, Operations Research, 4, 674-683, 1956.
21. Jackson, R. R. P., *Random Queueing Processes with Phase Type Service*, Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 18, 129-132, 1956.
22. Jackson, J. R., *Networks of Waiting Lines*, Operations Research, 5, 518-521, 1957.
23. Vladzievskii, A. P., *The Probability Law of Operation of Automatic Transfer Lines and Internal Storage in Them*, Avtomatika i Telemekhanika, 13, 227-281, 1952
24. Law, A. Kelton, W. D., *Simulation Modeling and Analysis (Industrial Engineering and Management Science Series)*, 3 edition. Publisher: McGraw-Hill, ISBN: 0070592926.1999.
25. Petrić, J., *Matematičke metode planiranja i upravljanja*, Informator Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1968.
26. Satty, T. L., *Mathematical Methods of Operations Research*, Dover Publications, Inc., Pittsburgh, ISBN: 0-486-65703-5, 1988.
27. Martić, Lj., *Matematičke metode za ekonomske analize II*, Narodne novine Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1972.
28. Martić, Lj., *Višekriterijalno programiranje*, Informator Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1978.
29. Limić, N., Pašagić, H., Rnjak, Č., *Linearno i nelinearno programiranje*, Informator Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1978.
30. Martić, Lj., *Nelinearno programiranje*, Informator Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1973.
31. Pritsker, A. A. B., *Modelling and Analysis Using Q-GERT Networks*, Publisher: John Wiley & Sons Inc., ISBN: 0470266481, 1979.
32. Cvjetičanin, D., *Operaciona istraživanja*, Ekonomski Fakultet Beograd, Beograd, 1990.
33. Kostić, K., *Projektovanja upravljačkih sistema u proizvodnji*, Naučna knjiga, Beograd. ISBN 86-23-20226-0, 1991.
34. Birta, L. G., Arbez, G., *Modeling and Simulation*, Springer, ISBN: 1-84628-621-2. 2007.
35. Hillier, F. S., Lieberman, G. J., *Introduction to operations research, Seventh Edition*, McGraw Hill, 2001.
36. Zelenović D., *Projektovanje proizvodnih sistema*, Naučna knjiga – Beograd, 1989.

37. Luss, H., *Operations Research and Capacity Expansion Problems: A Survey*, Operations Research, Vol. 30, No. 5, pp. 907-947, 1982.
38. Rajagopalan, S., Singh, M. R., Morton, T. E., *Capacity Expansion and Replacement in Growing Markets with Uncertain Technological Breakthroughs*, Management Science, Vol. 44., No.1, pp. 12-30, 1998.
39. Manne, A. S., *Investemnts for Capacity Expansion: Size Location and Tima Phasing*, Cambridge, MA: MIT Press, 1967.
40. Freidenfeld, J., *Capacity Expansion, Anlysis of Simple Models with Applications*, New York, Elsevier, 1981.
41. Fafandjel, N., Zamarin, A., Mikac, T., *Throughput for steel pipes manufacturing process design*. Metalurgija, 47(4), pp. 335-338, 2008.
42. Fafandjel, N., Simone, V., Hadjina, M., Matulja, T., *Using throughput in approaching shipyard production process design*, 11th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean 2005, Volume 1/C, pp. 909-913, ISBN: 0415390362., 2005.
43. Hadjina, M., Fafandjel, N., Rubeša, R., Matulja, T., *Vrednovanje projekta brodograđevnoga proizvodnog procesa simulacijskim modeliranjem*, Engineering Review, Vol.28, No.1, pp. 17-26, 2008.
44. Andersson, M., Olson, G., *A simulation based decision support approach for operational capacity planning in a customer order driven assembly line*, Proceedings of 1998 Winter Simulation Conference, pp. 935-941, 1998.
45. Merkurieva, G. et all, *Simulation Based Scheduling For Batch Anodising Processes*, Proceedings of European Simulation Multiconference, Magdeburg, Juli 2004, pp 170-176., 2004.
46. Fray, S.: *Plant Layout*, Carl Hanser Verlag, München - Wien, 1975.
47. Bruner, P. H., Rechberger, H., *Practical Handbook of Material Flow Analysis*, CRC Press, USA, ISBN 1566706041, 2005.
48. Wagner, B., Enzler, S., *Material Flow Management: Improving Cost Efficiency and Environmental Performance*, Physica-Verlag Heidelberg, ISBN 3790815918, 2007.
49. Wallace, T. F., *APICS Dictionary 5<sup>th</sup> ed.*, Falls Church, VA, 1984.
50. Starbek M.; Menart D., *The optimization of material flow in production*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 40, No. 9, pp. 1299-1310, 2000.
51. Sly, D. P., *Material flow analysis of automotive assembly plants using FactoryFlow*, Proceedings of the 27<sup>th</sup> conference on Winter Simulation, 1995.
52. *Tehnološki projekt modernizacije Brodogradilišta Kraljevica; naručitelj:*

- Brodogradilište "Kraljevica"; voditelj projekta: Fafandjel, N.; suradnici: Milošević, Š., Hadjina, M., Matulja, T.; 2006.
53. Wohlgenuth, V., Page, B., Kreuzer, W., *Combining discrete event simulation and material flow analysis in a component-based approach to industrial environmental protection*, Elsevier, 2006.
  54. Nadoli, G., Pillai, D., *Simulation in automated material handling systems design for semiconductor manufacturing*, Proceedings of 1994 Winter Simulation Conference, pp. 29-46, 1994.
  55. Paprotny, I. et al., *Simulation based comparison of semiconductor AHMS alternatives: continuous flow vs overhead monorail*, Proceedings of 2000 Winter Simulation Conference, pp. 1333-1338, 2000.
  56. Dawood, N., Marsini, R., *Visualisation of a stockyard layout simulator – a case study in precast concrete products industry*, Elsevier Science Publ., Amsterdam, 2002.
  57. Dangelmaier, W. et al., *An immersive material flow simulator with multi-user support*, Proceedings of the 2005 Summer Computer Simulation Conference, Simulation Series, volume 37, pp. 239-242, 2005.
  58. Dangelmaier, W. et al., *Improved Process Planning by a Material Flow Simulation with Multi-User-Support*, 11th Annual European Concurrent Engineering Conference 2004, pp. 59-63, 19 - 21 Apr 2004 EUROSIS.
  59. *Analiza mogućnosti smještaja suhog doka u okviru "tehnološkog projekta modernizacije brodogradilišta kraljevica" s idejnim projektom nove hale predmontaže; naručitelj: Brodogradilište "Kraljevica"; voditelj projekta: Fafandjel, N.; suradnici: Milošević, Š., Hadjina, M., Matulja, Ferenčić, M.,; 2008.*
  60. Muther, R., *Systematic layout planning*, Cahners books. 1973.
  61. Altinkilinc, M., *Simulation-based layout planning of a production*, Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, pp. 1079-1084, 2004.
  62. Steinhauer, D., *Simulation Aided Production Planning at Flensburger*, COMPIT05, Hamburg, Germany, pp. 391-398, 2005.
  63. Longo, F., Mirabelli, G., Papoff, E., *Effective design of an assembly line using modeling & simulation*, Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, 2006.
  64. Chapman, C. N., *Fundamentals of Production Planning and Control*. Publisher: Prentice Hall, ISBN-13: 978-0130176158, 2005.
  65. Cheng, T. C., *Just-in-Time Manufacturing - An introduction*. Publisher: Springer. ISBN: 0412735407, 1996.

66. Steinhauer, D., König, S. M., *Simulation Aided Production Planning in Block Assembly*, Proceedings of Fifth International Conference COMPIT 06 , Delft, pp. 96-103. 2006.
67. Vaidyanathan, B. S., Miller, D. M., Park, Y. H., *Application of discrete event in production scheduling*, Proceedings of the 30th conference on Winter simulation, p.965-972, 1998.
68. Bischak, D. P., *Performance of manufacturing module with moving workers*, IEE Transactions, Vol. 28, No. 9, pp723-733., 1996.
69. McHaney, R., *Computer Simulation: A Practical Perspective*, San Diego, CA: Academic Press, 1991.
70. Pooch, U. W, Wall, J. A., *Discrete Event Simulation: A Practical Approach*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1993.
71. Morito, S., Lee, K. H., *Efficient simulation/optimization of dispatching priority with "fake" processing time*, Proceedings of the 29th conference on Winter simulation, p.872-879, 1997.
72. Smith, J. S., *Survey on the use of Simulation for Manufacturing System Design and Operation*, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 22, No. 2, pp 157-171, 2003.
73. Law, A. M., McComas, M. G., *Simulation of manufacturing systems*, Proceedings of Winter Simulation Conference, pp. 916-922, 2001.
74. Williams, E. J., Celik, H., *Analysis of Conveyer systems within automobile final assembly*, Proceedings of Winter Simulation Conference, pp. 915-920, 1998.
75. Eleisa, E. E., Lin, L., *For effective facilities planning: layout optimization then simulation, or vice versa?*, Proceedings of 2005 Winter Simulation Conference, pp. 1381-1385, 2005.
76. Narayanaswamy, R., *Strategic layout planning and simulation for lean manufacturing, a Layoptim tutorial*, Proceedings of 1996 Winter Simulation Conference, pp. 564-568, 1996.
77. Nedeß, C. et al, *Simulation of material flow processes in the planning of production spaces in shipbuilding*, Proceedings of 5th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries, COMPIT 06, Oegstgeest, The Netherlands, pp. 186.-198., 8-10 May 2006.
78. Ingalls, R. G., *Introduction to Simulation*, Proceedings of 2008 Winter Simulation Conference, pp. 17-26, 2008.
79. Evans, J., Olson, D., *Introduction to Simulation and Risk Analysis*, Prentice Hall, 2002.

80. Ralston, A. (Ed.), Reilly, E. D. (Ed.), Hemmendinger, D. (Ed.), *Encyclopedia of Computer Science, 4th Edition*, ISBN: 978-0-470-86412-8. 2000.
81. Storch, R., L. et al, *Ship Production*. Cornell Maritime Press, ISBN 0870334611. 1995.
82. Caprace, J. D., et al, *Minimization of production costs by use of an automatic cost assessment method and simulation*, Journal of Harbin Engineering University, Vol. 27. Suppl., December 2006.
83. Choi, S. D., Kumar, A. R., Houshyar, A, *A simulation study of an automotive foundry plant manufacturing engine blocks*, Proceedings of 2002 Winter Simulation Conference, pp. 1035-1040, 2002.
84. Park, Y. H., Matson, J. E., Miller, D. M., *Simulation and analysis of the Mercedes Benz All Activity Vehicle production facility*, Proceedings of 1998 Winter Simulation Conference, pp. 921-926, 1998.
85. Lu, R. F., Petersen, T. D., Storch, R. L., *Modeling customized product configuration in large assembly manufacturing with supply-chain considerations*, International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol 19., pp. 685-712, 2007.
86. Krause, M.; Roland, F.; Steinhauer, D.; Heinemann, M., *Discrete event simulation: An efficient tool to assist shipyard investment and production planning*, Journal Ship Production, 20/3, pp.176-182, 2004.
87. Fafandjel, N., Rubeša, R., Simone, V., *New approach for shipyard pipe production line optimisation*, Maritime Industry, Ocean Engineering and Coastal Resources, Volume 1 Maritime Transportation, Taylor and Francis/Balkema, pp. 469-476. London, UK, 2008. ISBN: 978-0-415-45521-3
88. Domanski, B., *Simulation vs analytic modeling in large computing environments*. White paper, Responsive System Company. [www.responsivesystems.com/papers/misc/Simulation.pdf](http://www.responsivesystems.com/papers/misc/Simulation.pdf). 1999.
89. Kaarsemaker, J. A. J. et al, *The Benefits of Applying Simulation in Shipbuilding Production: Arguments Based on Examples from Industry*, Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, COMPIT 07, pp. 504-512. Cortona, Italy, 2007.
90. Alphen, van H., et al, *Virtual manufacturing in shipbuilding procesess*, European shipbuilding, Repair, and Conversion-The Future, London, 2004.
91. McLean, C., Shao, G., *Simulation Of Shipbuilding Operations*. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, 2001.
92. Lamb, T., et al, *Simulation-based performance improvment for shipbuilding process*,

- Journal of Ship Production, 22/2, pp.49-65., 2006.
93. Blair, F., et al, *Modelling, simulation and optimisation of a Shipbuilding workshop*, COMPTI 2005.
  94. Kaarsemaker, J. A. J., Nienhuis, U., *Simulation of a maritime prefabrication process*, COMPIT05, Hamburg, Germany, pp. 419-431, 2005.
  95. eM-Plant, *Reference manual*, Siemens, Tecnomatix, UGS corp, 2006.
  96. Sanchez, P. J., *Fundamentals of Simulation Modeling*, Proceedings of 2007 Winter Simulation Conference, pp. 54-62, 2007.
  97. Bruzzone, A. G. et al, *The vulnerability of supply chain as key factor in supply chain management*, Proceedings of summer computer simulation conference, Calgary, Canada, pp. 181-186, 2006.
  98. Žiljak, V., *Simulacija računalom*, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1982.
  99. Pritsker, A. A. B., *Modeling and Analysis Using Q-GERT Networks*, New York, Wiley/Halsted, 1979.
  100. Kivat, P. J., Villanueva, R., Markowitz, H., *The SIMSCRIPT II Programming Language*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1969.
  101. Pritsker, A. A. B., *The GASP IV Simulation Language*, New York, Willey, 1974.
  102. Pritsker, A. A. B., *Introduction to Simulation and SLAM*, New York, Willey/Halsted, and West Lafayette, System Publishing Corporation, 1986.
  103. Pritsker, A. A. B., O'Reilly, J. J., *Simulation with Visual SLAM and AweSim*, Publisher: John Wiley & Sons, Inc., New York, ISBN: 0471352934. 1999.
  104. Chang, Y., Sullivan, R. S., Wilson, J. R., *Using SLAM to design the material handling system of a flexible manufacturing system*, International Joournal of Production Research, vol. 24, No. 1, pp. 15-26, 1986.
  105. Munitić, A., Šimundić, S., Ristov, P., Lukšić, S., *Kompjutorsko simulacijski model VII faze životnog vijeka broda*, XVIII. Simpozij Teorija i Praksa Brodogradnje. SORTA 2008, pp. 71-78. Pula 16.-18. listopada 2008.
  106. Kelton, W., *Simulation with Arena*. Publisher: McGraw-Hill. ISBN: 978-0073259895, 2006.
  107. Harrell, C., Ghosh, B., Bowden, R., *Simulation Using Promodel*. Publisher: McGraw-Hill, ISBN13: 978-0073112114. 2004.
  108. FlexSim Software Products, Canyon Park Technology Center, 1577 North Technology Way, Orem, Utah 84097 USA. [www.flexsim.com](http://www.flexsim.com).
  109. Ball, P., *Introduction to discrete event simulation*, <http://www.dmem.strath.ac.uk/~pball/simulation/simulate.html>, 2001.

110. Swain, J. J., *Simulation software survey*, OR/MS Today, 26(1):38-51. Baltimore, 1999.
111. Schriber, T. J., Brunner, D. T., *Inside discrete-event simulation software: how it works and why it matters*, Proceedings of 2006 Winter Simulation Conference, pp. 118-128, 2006.
112. Chang, R.,Y., Kelly, P.,K., *Step by Step Problem Solving*, Kogan Page Ltd, USA, ISBN 0749416513. 1995.
113. Curnock, A., *Quantitative Methods in Business*, Stanley Thornes Publishers Ltd, UK, ISBN 0748720839. 1996.
114. Winston, W. L., *Operations Research: Applications and Algorithms*, Publisher: Duxbury Press; 4 edition, ISBN: 0534380581. 2003.
115. Stapenhurst, T., *The Benchmarking Book: A how-to guide to best practice for managers and practitioners*. Butterworth-Heinemann. ISBN10: 0750689056. 2009.
116. Camp, R. C., *Benchmarking: The Search for Industry Best Practices That Lead to Superior Performance*. Productivity Press; 1 edition. ISBN10: 1563273527. 2006.
117. Hillier, F. S., Lieberman, G. J., *Introduction to operations research*, 7th edition, McGraw Hill, ISBN 0072321695, 2001.
118. Monjac, Ž., *Robotizirana linija za rezanje profila*, simpozij SORTA 2006., pp. 222-231. 2006.
119. Brodogradilište „3.MAJ“ d.d., Rijeka. 2009.

## POPIS OZNAKA

$t_i$	- vrijeme čekanja
$i$	- promatrani proces
$\Delta t_i$	- međuvrijeme čekanja izvršenja slijedećeg procesa
$L$	- opterećenje procesa
$T$	- vrijeme trajanja procesa
$N$	- slijedeći proizvodni process
$E$	- element linije
$D_t$	- širina valjčastog transportera
$V_{srub}$	- brzina čišćenja rubova profila
$V_{rob}$	- brzina rezanja robota za obradu profila
$V_d$	- brzina dizalice
$V_{dg}$	- brzina magnetne grede dizalice
$V_{dd}$	- brzina dizanja dizalice
$N_d$	- nosivost dizalice
$L_{diz}$	- duljina grede dizalice
$P_l$	- duljina palete
$P_d$	- širina palete
$P_n$	- broj profila
$B_n$	- kapacitet bankate
$L_{VT}$	- duljina valjčastog transportera
$V_{VT}$	- brzina valjčastog transportera
$L_{RT}$	- duljina rotacionog transportera
$V_{RT}$	- brzina rotacionog transportera
$V_{RT\phi}$	- brzina rotacije rotacionog transportera
$T_{BVT-MS}$	- vrijeme translacije bankate na međuskladište
$K_{MS}$	- kapacitet međuskladišta
$T_{VT-MS}$	- vrijeme translacije profila na međuskladište
$K_{srub}$	- kapacitet stanice za sušenje i čišćenje rubova
$K_{SR}$	- kapacitet robotske stanice za obradu profila
$f_{v\_sr}$	- faktor brzine rezanja
$K_{Pca}$	- kapacitet palete za profile tipa „ca”
$K_{Pcr}$	- kapacitet palete za profile tipa „cr”
$K_{Pmp}$	- kapacitet palete za profile tipa „mp”
$K_{Post}$	- kapacitet palete za ostatke
$P_{dan}$	- broj obrađenih profila na dan
$T_{rez}$	- ukupno vrijeme trajanja obrade



## POPIS KRATICA

MFA	- analiza toka materijala (eng. Material flow analysis)
2D	- dvodimenzionalan prostor
3D	- trodimenzionalan prostor
SLP	- Sistematsko planiranje rasporeda površina (eng. Systematic layout planing)
GPSS	- eng. Genera Purpose Simulation System
GASP	- eng. General Activity Simulation Program
CAD	- eng. Computer Aided Design
MS	- međuskladište
MS Office	- Microsoft Office
VT	- valjčasti transporter
RT	- rotacioni transporter
S <sub>rub</sub>	- stanica za sušenje i čišćenje rubova profila
S <sub>R</sub>	- robotizirana stanica za obradu profila
P	- paleta
P <sub>ca</sub>	- paleta za tip profila „ca”
P <sub>cr</sub>	- paleta za tip profila „cr”
P <sub>mr</sub>	- paleta za tip profila „mp”
P <sub>ost</sub>	- paleta za ostatke
D <sub>s</sub>	- sortirna dizalica
HP	- holland-profil
TR	- traka
ca	- oznaka profila za automatiziranu mikropanel-liniju
cr	- oznaka profila za robotiziranu mikropanel-liniju
mp	- oznaka profila za malu predmontažu
pl	- oznaka profila za panel-liniju
ost	- oznaka profila koji je ostatak

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b>	Diskretna karakteristika promjene stanja varijable	6
<b>Slika 2.</b>	Kontinuirana karakteristika promjene stanja varijable	6
<b>Slika 3.</b>	Shematski prikaz proizvodnog procesa	8
<b>Slika 4.</b>	Zadaci projektiranja proizvodnog procesa	10
<b>Slika 5.</b>	Osnovni načini modeliranja i analize proizvodnog procesa	12
<b>Slika 6.</b>	Shema serijskoga proizvodnog procesa	17
<b>Slika 7.</b>	Primjer matrice transportnih intenziteta	19
<b>Slika 8.</b>	Tokovi materijala u brodograđevnom procesu prikazani <i>Sankey</i> dijagramom	20
<b>Slika 9.</b>	Prikaz proizvodnih površina brodogradilišta	21
<b>Slika 10.</b>	Prikaz diskontinuiranog i kontinuiranog opterećenja proizvodnog procesa	25
<b>Slika 11.</b>	Gantogram poslova opremanja dijela palube novogradnje	26
<b>Slika 12.</b>	Procesi koji se odnose na cjelokupni brodograđevni proces	33
<b>Slika 13.</b>	Procesi koji se odnose na pripremni dio brodograđevnog procesa	33
<b>Slika 14.</b>	Procesi koji se odnose na proizvodni dio brodograđevnog procesa	34
<b>Slika 15.</b>	Tipske karakteristike nekoliko velikih industrija	36
<b>Slika 16.</b>	Shematski prikaz razvoja simulacijskih jezika odnosno softvera	48
<b>Slika 17.</b>	Koraci u postupku simulacijskog modeliranja	54
<b>Slika 18.</b>	Primjer grafičkog prikaza toka procesa	57
<b>Slika 19.</b>	Primjer uzročno-posljedičnog dijagrama proizvodnog procesa	58
<b>Slika 20.</b>	Primjer <i>Pareto</i> dijagrama	59
<b>Slika 21.</b>	Struktura, metode i alati faze definiranja problema i ciljeva projektiranja	60
<b>Slika 22.</b>	Struktura, metode i alati faze definiranja ulaznih podataka i idejnog osmišljavanja simulacijskog modela	64
<b>Slika 23.</b>	Regresijska analiza krivulje brzine rezanja ovisno o debljini profila	67
<b>Slika 24.</b>	Frekvencija pojedinih raspona duljina u ukupnom asortimanu obrade	68
<b>Slika 25.</b>	Radno sučelje simulacijskog softvera <i>eM-Plant</i>	70
<b>Slika 26.</b>	Sučelje za unos obilježja elementa transportera	72
<b>Slika 27.</b>	Sučelje za prikaz statistike elementa transportera	72
<b>Slika 28.</b>	Grafički prikaz iskoristivosti elemenata modela	73
<b>Slika 29.</b>	Primjer ulazne datoteke za simulacijski model	74
<b>Slika 30.</b>	Sučelje elementa <i>Source</i> za definiranje ulaza u model	75
<b>Slika 31.</b>	Sučelje elementa transportera za definiranje kontrole izlaza	76
<b>Slika 32.</b>	<i>SimTalk</i> rutina za kontrolu izlaza sa transportera	76
<b>Slika 33.</b>	Sučelje osnovnih simulacijskih kontrola	77
<b>Slika 34.</b>	Struktura, metode i alati faze osnivanja računalnog simulacijskog modela brodograđevnog proizvodnog procesa	78
<b>Slika 35.</b>	Struktura, metode i alati faze verifikacije osnovanog računalnog simulacijskog modela brodograđevnog proizvodnog procesa	80
<b>Slika 36.</b>	Hodogram aktivnosti do faze osnovanog i verificiranog simulacijskog modela	81
<b>Slika 37.</b>	Primjer rezultata analize utjecaja promjene značajke elementa modela na vrijeme obrade	85
<b>Slika 38.</b>	Prikaz sučelja za definiranje plana eksperimenata	86
<b>Slika 39.</b>	Sučelje za definiranje izlaznog elementa za kojeg se analizira učinak promjena	87
<b>Slika 40.</b>	Sučelje za definiranje značajki elemenata koje će se varirati	87
<b>Slika 41.</b>	Sučelje za definiranje vrijednosti značajki koje će se varirati	88

<b>Slika 42.</b> Sučelje za definiranje parametara za pokretanje i nadzor tijekom eksperimenta	88
<b>Slika 43.</b> Sučelje za procjenu i prikaz rezultata eksperimenta	89
<b>Slika 44.</b> Prikaz rezultata provedenih eksperimenata	90
<b>Slika 45.</b> Struktura, metode i alati faze analize proizvodnih scenarija i unapređenja simulacijskog modela	91
<b>Slika 46.</b> Struktura, metode i alati faze dokumentiranja provedbe i rezultata projekta	92
<b>Slika 47.</b> Struktura, metode i alati faze implementacije projektnog rješenja	94
<b>Slika 48.</b> Parovi rezultata ovisnosti brzine rezanja o debljini profila prikazani kao točke u koordinatnom sustavu	106
<b>Slika 49.</b> Prikaz funkcije, $f(x)$ , koja opisuje zadane podatke	107
<b>Slika 50.</b> Osnovna struktura predložene metodologije projektiranja brodograđevnog procesa	110
<b>Slika 51.</b> Prikaz toka procesa robotizirane linije za obradu profila	116
<b>Slika 52.</b> Broj profila u odabranoj tehnološkoj grupi	121
<b>Slika 53.</b> Specifikacija duljina za tip profila TR150x13	122
<b>Slika 54.</b> Broj različitih duljina profila u odabranoj tehnološkoj grupi	123
<b>Slika 55.</b> Ulazni asortiman profila	124
<b>Slika 56.</b> Model robotizirane linije za obradu profila u softveru <i>eM-Plant</i>	126
<b>Slika 57.</b> Primjer ulazne datoteke za simulacijski model	127
<b>Slika 58.</b> Primjer ulazne datoteke podataka za rezanje	128
<b>Slika 59.</b> <i>SimTalk</i> rutina za specificiranje ulaznih podataka na kreirane elemente	129
<b>Slika 60.</b> Primjer dijela <i>SimTalk</i> rutine za rezanje i označavanje profila	132
<b>Slika 61.</b> Regresijska analiza krivulje brzine rezanja ovisno o debljini profila	133
<b>Slika 62.</b> Analiza toka materijala predložene konfiguracije linije za odabrani asortiman rezanja	141
<b>Slika 63.</b> Prikaz udjela pojedine vrste odrezanih profila u ukupnoj količini odrezanih profila	144
<b>Slika 64.</b> Rezultati analize osjetljivosti ukupnog vremena trajanja obrade u ovisnosti o promjeni vrijednosti značajke za 10%	150
<b>Slika 65.</b> Promjena vremena ukupnog trajanja obrade uslijed promjene brzine rezanja	152
<b>Slika 66.</b> Fotografija projektirane i instalirane robotizirane linije za obradu profila u promatranom brodogradilištu nakon realizacije projekta	159
<b>Slika P5.1</b> Prikaz dijela linije na kojoj se vidi robotska stanica za rezanje profila, palete za sortiranje i sortirna dizalica	232
<b>Slika P5.2</b> Prikaz dijela linije na kojoj se vide bankate profila na ulaznom međuskladištu prije pojedinačnog prelaska na uzdužni valjčasti transporter	232
<b>Slika P5.3</b> Prikaz dijela linije na kojoj se vidi sortirna dizalica i palete na koje slaže odrezane profile	233
<b>Slika P5.4</b> Prikaz dijela linije na kojoj se vidi izlazni transporter iz stanice za sušenje i čišćenje rubova profila, robotska stanica za rezanje profila, palete za sortiranje profila i sortirna dizalica	233
<b>Slika P5.5</b> Panoramski pogled na robotsku liniju za obradu profila	234

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 1.</b>	Osnovni pojmovi iz teorije sustava	5
<b>Tablica 2.</b>	Vrste sustava	6
<b>Tablica 3.</b>	Načelna podjela proizvodnog procesa	7
<b>Tablica 4.</b>	Osnovni ciljevi projektiranja proizvodnog procesa	10
<b>Tablica 5.</b>	Vrste modela proizvodnih procesa	13
<b>Tablica 6.</b>	Vrste kapaciteta	16
<b>Tablica 7.</b>	Mjerne jedinice za neke od osnovnih sastavnica proizvodnog procesa	22
<b>Tablica 8.</b>	Usporedba tradicionalnog načina projektiranja procesa bez upotrebe računalnog modela i onog temeljenog na metodi simulacijskog modeliranja	38
<b>Tablica 9.</b>	Temeljne primjene metode simulacijskog modeliranja	43
<b>Tablica 10.</b>	Formati značajki/čimbenika proizvodnog procesa za ulaz u simulacijski model	50
<b>Tablica 11.</b>	Metode i alati faze definiranja problema i ciljeva	57
<b>Tablica 12.</b>	Metode i alati faze definiranje ulaznih podataka i idejno osmišljavanje simulacijskog modela	63
<b>Tablica 13.</b>	Zadaci i metode faze osnivanja računalnog simulacijskog modela brodograđevnog proizvodnog procesa	66
<b>Tablica 14.</b>	Zadaci i metode faze verifikacije simulacijskog modela	79
<b>Tablica 15.</b>	Zadaci i metode faze analize i unapređenja simulacijskog modela	82
<b>Tablica 16.</b>	Analiza opterećenosti predložene konfiguracije linije	84
<b>Tablica 17.</b>	Značajke linije koje se mijenjaju i mogući raspon promjene značajke	90
<b>Tablica 18.</b>	Zadaci, metode i alati faze dokumentiranja rezultata	92
<b>Tablica 19.</b>	Zadaci, metode i alati faze implementacije	94
<b>Tablica 20.</b>	Skupni prikaz zadataka te pripadajućih metoda i alata metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa	109
<b>Tablica 21.</b>	Karakteristike horizontalnog transportnog sustava	118
<b>Tablica 22.</b>	Uređaj za mehaničko sušenje i čišćenje rubova profila	118
<b>Tablica 23.</b>	Karakteristike robotske linije za rezanje	118
<b>Tablica 24.</b>	Karakteristike vertikalnog transportnog sustava – sortirna dizalica	119
<b>Tablica 25.</b>	Karakteristike vertikalnog transportnog sustava – paleta	119
<b>Tablica 26.</b>	Broj profila u odabranoj tehnološkoj grupi	120
<b>Tablica 27.</b>	Specifikacija duljina za tip profila TR150x13	121
<b>Tablica 28.</b>	Ulazni asortiman profila	123
<b>Tablica 29.</b>	Specifikacija brzina rezanja robota ovisno o debljini profila	133
<b>Tablica 30.</b>	Ulazni parametri linije za simulacijski model	136
<b>Tablica 31.</b>	Prikaz količinskih vrijednosti materijala prema definiranom toku materijal za odabrani asortiman rezanja	143
<b>Tablica 32.</b>	Prikaz udjela ostataka kraćih od 1m u ukupnoj količini odrezanog	143
<b>Tablica 33.</b>	Prikaz udjela pojedine vrste odrezanih profila u ukupnoj količini odrezanih profila	144
<b>Tablica 34.</b>	Prikaz količine odrezanih profila prema kriteriju njihove duljine	145
<b>Tablica 35.</b>	Analiza opterećenosti predložene konfiguracije linije	146
<b>Tablica 36.</b>	Značajke linije koje nije moguće mijenjati-ograničenja	148
<b>Tablica 37.</b>	Značajke linije koje je moguće mijenjati i dozvoljeni raspon promjene značajke	148
<b>Tablica 38.</b>	Promjena vremena ukupnog trajanja rezanja uslijed promjene brzine rezanja	151
<b>Tablica 39.</b>	Promjena vremena ukupnog trajanja rezanja uslijed promjene brzine	152

dizalice

**Tablica 40.** Pregled ukupnih vremena trajanja obrade predloženih varijanti rješenja i usporedba s početnim projektnim rješenjem 156

**Tablica 41.** Usporedba vremena simulacijskog modela i izmjerenog vremena u stvarnom procesu 160

## POPIS PRILOGA

**Prilog 1.** Programski *SimTalk* kod osnovanog simulacijskog modela robotizirane linije za obradu profila

**Prilog 2.** Specifikacija različitih duljina prema tipu profila za odabranu tehnološku grupu

**Prilog 3.** Ulazna datoteka za simulacijski model

**Prilog 4.** CAD nacrt predloženog projektnog rješenja robotizirane linije za obradu profila

**Prilog 5.** Fotografije projektirane linije, instalirane u stvarnom brodograđevnom proizvodnom procesu nakon realizacije projekta



## **PRILOG 1**

Programski *SimTalk* kod osnovanog simulacijskog modela robotizirane linije za obradu profila



**Prilog 1.** Programski *SimTalk* kod osnovanog simulacijskog modela robotizirane linije za obradu profila

```
-- kontrola bankate
is
    statNumIn, kapacitet: integer;
    empty: boolean;
do
    kapacitet:=.Models.paleta_prof.capacity;
    if.Models.frame.assembly.cont.statNumIn<kapacitetand
.Models.Frame.elementi.empty=true then
        .Models.frame.assembly.cont.move(1);
        .Models.Frame.Line2.entrancelocked:=true;
    else
        .Models.frame.assembly.cont.move(1);
    end;
end;

-- citanje atributa
is
    i,n: integer;
do
    i:=@.getno;
    @.setattribute("length",Ulaz_atributi["length",i]);
    @.setattribute("Name",.Models.Frame.Ulaz_atributi["naziv",i]);
    -- @.setattribute("redbr",.Models.Frame.Ulaz_atributi[0,i]);
    @.setattribute("masa",.Models.Frame.Ulaz_atributi["masa",i]);
    @.setattribute("proc_time",.Models.Frame.Ulaz_atributi["proc_time",i]);
    @.setattribute("parts",.Models.Frame.Ulaz_atributi["parts",i]);
    @.setattribute("cut_sheet",.Models.Frame.Ulaz_atributi["cut_sheet",i]);
    @.move(1);
end;

-- kontrola rotacije
is
do
    ?.setDestination(.Models.Frame.Line3);
end;

-- kontrola skidanja s transportera
is
do
    if ? = line3 then
        wait .Models.Frame.line_buffer_time;
        @.move(1);
    elseif ? = line1 or ?=buffer1 then

        wait .Models.Frame.line_buffer_time1;
        @.move(1);
    end;
end;
```

```

-- kontrola rezanja, označavanja i distribucije odrezanih dijelova

is
    i,a: integer;
    duljina : length;
    pozicija, ime, tip : string;
    part_masa : weight;
    Orig, New_Part:object;
    cut_time:time;
do
    Orig:=@;
    i := Orig.parts;
    for a := 1 to i loop
        duljina := Orig.cut_sheet["duljina", a];
        pozicija :=Orig.cut_sheet["poz",a];
        tip:=Orig.tip;
        part_masa := (Orig.masa/Orig.length)*duljina;
        ime := Orig.Name;
        cut_time := (Orig.proc_time/(i-1))/(.Models.Frame.Robot_speed_change);
        --if pozicija = "m_line" or pozicija = "p_line" then
        waituntil .Models.Frame.Buffer.empty prio 1;
        if a /= i then
            -- wait cut_time;
            New_Part:=.Models.Profil_cut.create(.Models.Frame.Buffer);
            New_Part.setattribute("Name", ime);
            new_Part.setattribute("length", duljina);
            New_Part.setattribute("poz", pozicija);
            New_Part.setattribute("part_masa", part_masa);
            New_Part.setattribute("tip", tip);
            New_Part.setattribute("cut_time", cut_time);
        else
            if pozicija /= "scrap" then
                New_Part:=.Models.Profil_cut.create(.Models.Frame.Buffer);
                New_Part.setattribute("Name", ime);
                new_Part.setattribute("length", duljina);
                New_Part.setattribute("poz", pozicija);
                New_Part.setattribute("part_masa", part_masa);
                New_Part.setattribute("tip", tip);
                New_Part.setattribute("cut_time", cut_time);

            elseif duljina <1 and tip="tr" then

                New_Part:=.Models.Profil_cut.create(.Models.Frame.Ostatak_trake);
                New_Part.setattribute("Name", ime);
                new_Part.setattribute("length", duljina);
                New_Part.setattribute("poz", pozicija);
                New_Part.setattribute("part_masa", part_masa);
                New_Part.setattribute("tip", tip);

            elseif duljina <1 and tip="hp" then

                New_Part:=.Models.Profil_cut.create(.Models.Frame.Ostatak_profil);
                New_Part.setattribute("Name", ime);
                new_Part.setattribute("length", duljina);
                New_Part.setattribute("poz", pozicija);
                New_Part.setattribute("part_masa", part_masa);

```

```

        New_Part.setattribute("tip", tip);
        elseif duljina >1 then
        New_Part:=.Models.Profil_cut.create(.Models.Frame.Buffer);
        New_Part.setattribute("Name", ime);
        new_Part.setattribute("length", duljina);
        New_Part.setattribute("poz", pozicija);
        New_Part.setattribute("part_masa", part_masa);
        New_Part.setattribute("tip", tip);
        New_Part.setattribute("cut_time", 10);

        end;
    end;

next;
    Orig.move(.Models.Frame.orig_part_flush);
end;

-- kontrola izlaza sa izlaznog transportera
is
do
    if @.poz = "pl" then
        @.move(.Models.Frame.Line4);
    else
        wait .Models.Frame.line_buffer_time;
        @.move(1);
    end;
end;

-- kontrola sortirne dizalice
is
    part: object;
    duljina: length;
    pozicija: string;
do
    part :=@;
    duljina:=@.length;
    pozicija :=@.poz;
if pozicija /= "scrap" then
    if pozicija="ca" then
        if .Models.Frame.Paleta0_750_A.EntranceFree=true then
            Portalcrane.shiftPartFromToObject(part,1,9,3.5,3,11,loc1,-1,-1);
        elseif .Models.Frame.Paleta0_750_A1.EntranceFree=true then
            Portalcrane.shiftPartFromToObject(part,1,9,3.5,3,6,loc1_A1,-1,-1);
        else
            Portalcrane.shiftPartFromToObject(part,1,9,3.5,3,16,loc1_A2,-1,-1);
        end;
    end;
if pozicija = "cr" then
    --if .Models.Frame.Paleta750_2500_A.NumMu<625 then
        Portalcrane.shiftPartFromToObject(part,1,9,3.5,12.5,11,loc2,-1,-1);
    --elseif .Models.Frame.Paleta750_2500_A1.NumMu<625 then
        -- Portalcrane.shiftPartFromToObject(part,1,9,3.5,12.5,6,loc2_A1,-1,-1);
    else
        -- Portalcrane.shiftPartFromToObject(part,1,9,3.5,12.5,16,loc2_A2,-1,-1);
    --end;
end;
end;

```

```
        end;
    if pozicija = "mp" then
        if .Models.Frame.Palet2500.EntranceFree=true then
            Portalcrane.shiftPartFromToObject(part,1,9,3.5,22.5,11,loc3,-1,-1);
        elseif .Models.Frame.Palet2500_A1.EntranceFree=true then
            Portalcrane.shiftPartFromToObject(part,1,9,3.5,22.5,6,loc3_A1,-1,-1);
        else
            Portalcrane.shiftPartFromToObject(part,1,9,3.5,22.5,11,loc3_A2,-1,-1);
        end;
    end;
else
    Portalcrane.shiftPartFromToObject(part,1,9,3.5,19,11,loc_ost,-1,-1);
end;
end;
```



## **PRILOG 2**

Specifikacija različitih duljina prema tipu profila za odabranu tehnološku grupu

**Prilog 2.** Specifikacija različitih duljina prema tipu profila za odabranu tehnološku grupu

<i>TR80x15</i>	
Duljina, mm	Komada
5950	8
500	4
<b>UKUPNO:</b>	<b>12</b>

<i>TR200x15</i>	
Duljina, mm	Komada
3800	2
1350	1
1150	1
1050	1
<b>UKUPNO:</b>	<b>5</b>

<i>TR200x20</i>	
Duljina, mm	Komada
3800	12
<b>UKUPNO:</b>	<b>12</b>

<i>TR150x15</i>	
Duljina, mm	Komada
2500	2
1520	52
860	52
1440	14
1450	26
1460	14
1470	14
1480	14
1490	14
1500	14
1510	14
1520	14
1530	14
1540	14
1550	14
1900	24

2500	12
3000	12
2450	12
550	12
700	14
850	38
800	224
450	12
350	12
757	14
747	8
743	4
718	2
1950	2
1960	2
2150	2
1250	2
2300	2
2250	2
1050	2
785	4
545	4
1000	7
900	2
950	2
<b>UKUPNO:</b>	<b>719</b>

<i>TR150x12</i>	
<b>Duljina, mm</b>	<b>Komada</b>
2350	12
460	36
3400	12
500	12
2000	12
<b>UKUPNO:</b>	<b>84</b>

<i>TR130x12</i>	
<b>Duljina, mm</b>	<b>Komada</b>
610	4
1607	34
1020	2
620	2



2480	4
650	2
700	2
2270	2
970	4
1620	4
860	2
760	2
1410	2
1010	4
860	16
<b>UKUPNO:</b>	<b>86</b>

<i>TR120x13</i>	
Duljina, mm	Komada
800	2
<b>UKUPNO:</b>	<b>2</b>

<i>TR200x10</i>	
Duljina, mm	Komada
5950	4
500	4
<b>UKUPNO:</b>	<b>8</b>

<i>HP370x15</i>	
Duljina, mm	Komada
11900	4
<b>UKUPNO:</b>	<b>4</b>

<i>HP400x14</i>	
Duljina, mm	Komada
2400	4
<b>UKUPNO:</b>	<b>4</b>

<i>HP340x14</i>	
Duljina, mm	Komada
11900	56
<b>UKUPNO:</b>	<b>56</b>

<i>HP370x13</i>	
Duljina, mm	Komada
11900	48
<b>UKUPNO:</b>	<b>48</b>

<i>HP340x12</i>	
Duljina, mm	Komada
11900	12
2300	2
2700	2
2950	2
2500	2
<b>UKUPNO:</b>	<b>20</b>

<i>HP280x11</i>	
Duljina, mm	Komada
1900	2
<b>UKUPNO:</b>	<b>2</b>

<i>HP220x11.5</i>	
Duljina, mm	Komada
1910	1
1440	2
1450	2
1460	2
1470	2
1480	2
1490	2
1500	2
1510	2
1520	2
1530	2
1540	2
1550	2
1950	1
<b>1950</b>	<b>26</b>

<i>HP240x10</i>	
Duljina, mm	Komada
1200	2
1000	4

1300	2
1600	2
850	2
<b>UKUPNO:</b>	<b>12</b>

Zastupljenost duljina profila u odabranoj tehnološkoj grupi

Duljina, mm	Komada					
350	12	1020	2		2000	12
450	12	1050	81		2150	2
460	36	1150	26		2250	2
500	20	1200	2		2270	2
545	4	1250	2		2300	4
550	12	1300	2		2310	8
610	12	1350	24		2350	12
620	2	1400	2		2400	4
650	2	1410	30		2450	12
700	16	1440	16		2480	4
718	2	1450	28		2500	16
743	4	1460	16		2700	2
747	8	1470	16		2710	8
757	14	1480	16		2950	2
760	2	1490	16		3000	12
785	4	1500	16		3320	32
793	2	1510	16		3400	12
797	4	1520	68		3800	14
800	226	1530	16		5950	12
810	48	1540	16		11900	120
820	4	1550	16			
850	40	1600	6			
860	154	1607	34			
900	78	1620	12			
950	4	1650	4			
970	4	1900	26			
1000	11	1910	1			
1010	12	1950	3			
		1960	2			

\* nastavak u desnom stupcu

\* nastavak u desnom stupcu

## **PRILOG 3**

Ulazna datoteka za simulacijski model













TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	16:52.7000	10	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	9:43.6000	6	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	9:43.6000	6	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	9:43.6000	6	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	9:43.6000	6	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	9:43.6000	6	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	9:43.6000	6	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	9:43.6000	6	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	9:43.6000	6	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	9:43.6000	6	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	9:43.6000	6	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	13:18.1000	8	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	16:52.7000	10	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	16:52.7000	10	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	16:52.7000	10	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	16:52.7000	10	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	15:05.4000	9	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	11:30.9000	7	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	11:30.9000	7	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	16:52.7000	10	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	11:30.9000	7	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	11:30.9000	7	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	11:30.9000	7	a
TR150x15	8	0.15	0.015	0.015	142	7:56.3000	5	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	16:47.6000	10	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	22:07.9000	13	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	22:07.9000	13	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	7:53.8000	5	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	7:53.8000	5	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	7:53.8000	5	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	7:53.8000	5	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	7:53.8000	5	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	7:53.8000	5	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	7:53.8000	5	a

TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	7:53.8000	5	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	11:27.3000	7	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	7:53.8000	5	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	6:07.0000	4	a
TR150x12	8	0.15	0.012	0.012	113	6:07.0000	4	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	7:50.6000	5	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	7:50.6000	5	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	9:36.8000	6	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	13:09.0000	8	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	11:22.9000	7	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	9:36.8000	6	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	11:22.9000	7	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	11:22.9000	7	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	11:22.9000	7	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	11:22.9000	7	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	13:09.0000	8	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	16:41.3000	10	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	11:22.9000	7	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	13:09.0000	8	a
TR130x12	8	0.13	0.012	0.012	96	4:18.4000	3	a
TR120x13	8	0.12	0.013	0.013	104	4:17.8000	3	a
TR200x10	8	0.2	0.01	0.01	126	7:59.7000	5	a
TR200x10	8	0.2	0.01	0.01	126	4:23.8000	3	a
TR200x10	8	0.2	0.01	0.01	126	2:35.9000	2	a
TR200x10	8	0.2	0.01	0.01	126	2:35.9000	2	a

**Podaci za rezanje za profile:**

		naziv	part	duljina	poz						
						<b>20</b>	20	HP340x14	part1	11900	pl
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>HP370x15</b>	part1	11900	pl				scrap	96	scrap
			scrap	96	scrap	<b>21</b>	21	HP340x14	part1	11900	pl
<b>2</b>	<b>2</b>	HP370x15	part1	11900	pl				scrap	96	scrap
			scrap	96	scrap	<b>22</b>	22	HP340x14	part1	11900	pl
<b>3</b>	<b>3</b>	HP370x15	part1	11900	pl				scrap	96	scrap
			scrap	96	scrap	<b>23</b>	23	HP340x14	part1	11900	pl
<b>4</b>	<b>4</b>	HP370x15	part1	11900	pl				scrap	96	scrap
			scrap	96	scrap	<b>24</b>	24	HP340x14	part1	11900	pl
<b>5</b>	<b>5</b>	<b>HP400x14</b>	part1	2400	mp				scrap	96	scrap
			part2	2400	mp	<b>25</b>	25	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	7192	scrap				scrap	96	scrap
<b>6</b>	<b>6</b>	<b>HP340x14</b>	part1	11900	pl	<b>26</b>	26	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>7</b>	<b>7</b>	HP340x14	part1	11900	pl	<b>27</b>	27	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>8</b>	<b>8</b>	HP340x14	part1	11900	pl	<b>28</b>	28	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>8</b>	<b>9</b>	HP340x14	part1	11900	pl	<b>29</b>	29	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>10</b>	<b>10</b>	HP340x14	part1	11900	pl	<b>30</b>	30	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>11</b>	<b>11</b>	HP340x14	part1	11900	pl	<b>31</b>	31	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>12</b>	<b>12</b>	HP340x14	part1	11900	pl	<b>32</b>	32	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>13</b>	<b>13</b>	HP340x14	part1	11900	pl	<b>33</b>	33	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>14</b>	<b>14</b>	HP340x14	part1	11900	pl	<b>34</b>	34	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>15</b>	<b>15</b>	HP340x14	part1	11900	pl	<b>35</b>	35	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>16</b>	<b>16</b>	HP340x14	part1	11900	pl	<b>36</b>	36	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>17</b>	<b>17</b>	HP340x14	part1	11900	pl	<b>37</b>	37	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>18</b>	<b>18</b>	HP340x14	part1	11900	pl	<b>38</b>	38	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap

<b>19</b>	19	HP340x14	part1	11900	pl	<b>39</b>	39	HP340x14	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>40</b>	40	HP340x14	part1	11900	pl	<b>68</b>	68	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>41</b>	41	HP340x14	part1	11900	pl	<b>69</b>	69	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>42</b>	42	HP340x14	part1	11900	pl	<b>70</b>	70	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>43</b>	43	HP340x14	part1	11900	pl	<b>71</b>	71	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>44</b>	44	HP340x14	part1	11900	pl	<b>72</b>	72	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>45</b>	45	HP340x14	part1	11900	pl	<b>73</b>	73	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>46</b>	46	HP340x14	part1	11900	pl	<b>74</b>	74	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>47</b>	47	HP340x14	part1	11900	pl	<b>75</b>	75	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>48</b>	48	HP340x14	part1	11900	pl	<b>76</b>	76	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>49</b>	49	HP340x14	part1	11900	pl	<b>77</b>	77	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>50</b>	50	HP340x14	part1	11900	pl	<b>78</b>	78	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>51</b>	51	HP340x14	part1	11900	pl	<b>79</b>	79	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>52</b>	52	HP340x14	part1	11900	pl	<b>80</b>	80	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>53</b>	53	HP340x14	part1	11900	pl	<b>81</b>	81	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>54</b>	54	HP340x14	part1	11900	pl	<b>82</b>	82	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>55</b>	55	HP340x14	part1	11900	pl	<b>83</b>	83	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>56</b>	56	HP340x14	part1	11900	pl	<b>84</b>	84	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>57</b>	57	HP340x14	part1	11900	pl	<b>85</b>	85	HP370x13	part1	11900	pl

			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>58</b>	58	HP340x14	part1	11900	pl	<b>86</b>	86	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>59</b>	59	HP340x14	part1	11900	pl	<b>87</b>	87	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>60</b>	60	HP340x14	part1	11900	pl	<b>88</b>	88	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>61</b>	61	HP340x14	part1	11900	pl	<b>89</b>	89	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>62</b>	62	HP370x13	part1	11900	pl	<b>90</b>	90	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>63</b>	63	HP370x13	part1	11900	pl	<b>91</b>	91	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>64</b>	64	HP370x13	part1	11900	pl	<b>92</b>	92	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>65</b>	65	HP370x13	part1	11900	pl	<b>93</b>	93	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>66</b>	66	HP370x13	part1	11900	pl	<b>94</b>	94	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>67</b>	67	HP370x13	part1	11900	pl	<b>95</b>	95	HP370x13	part1	11900	pl
			scrap	96	scrap				scrap	96	scrap
<b>96</b>	96	HP370x13	part1	11900	pl	<b>123</b>	123	HP340x12	part1	2500	mp
			scrap	96	scrap				part2	2500	mp
<b>97</b>	97	HP370x13	part1	11900	pl				part3	2300	mp
			scrap	96	scrap				part4	2300	mp
<b>98</b>	98	HP370x13	part1	11900	pl				scrap	2384	scrap
			scrap	96	scrap	<b>124</b>	124	HP280x11	part1	1900	cr
<b>99</b>	99	HP370x13	part1	11900	pl				part2	1900	cr
			scrap	96	scrap				scrap	8192	scrap
<b>100</b>	100	HP370x13	part1	11900	pl	<b>125</b>	125	HP220x11_5	part1	1530	cr
			scrap	96	scrap				part2	1520	cr
<b>101</b>	101	HP370x13	part1	11900	pl				part3	1520	cr
			scrap	96	scrap				part4	1510	cr
<b>102</b>	102	HP370x13	part1	11900	pl				part5	1510	cr
			scrap	96	scrap				part6	1500	cr
<b>103</b>	103	HP370x13	part1	11900	pl				part7	1440	cr
			scrap	96	scrap				part8	1440	cr
<b>104</b>	104	HP370x13	part1	11900	pl	<b>126</b>	126	HP220x11_5	part1	1500	cr

			scrap	96	scrap				part2	1490	cr
<b>105</b>	105	HP370x13	part1	11900	pl				part3	1490	cr
			scrap	96	scrap				part4	1480	cr
<b>106</b>	106	HP370x13	part1	11900	pl				part5	1480	cr
			scrap	96	scrap				part6	1470	cr
<b>107</b>	107	HP370x13	part1	11900	pl				part7	1470	cr
			scrap	96	scrap				part8	1460	cr
<b>108</b>	108	HP370x13	part1	11900	pl				scrap	128	scrap
			scrap	96	scrap	<b>127</b>	127	HP220x11_5	part1	1950	ca
<b>109</b>	109	HP370x13	part1	11900	pl				part2	1910	ca
			scrap	96	scrap				part3	1550	ca
<b>110</b>	110	HP340x12	part1	11900	pl				part4	1550	ca
			scrap	96	scrap				part5	1540	ca
<b>111</b>	111	HP340x12	part1	11900	pl				part6	1540	ca
			scrap	96	scrap				part7	1530	ca
<b>112</b>	112	HP340x12	part1	11900	pl				scrap	402	scrap
			scrap	96	scrap	<b>128</b>	128	HP220x11_5	part1	1460	ca
<b>113</b>	113	HP340x12	part1	11900	pl				part2	1450	ca
			scrap	96	scrap				part3	1450	ca
<b>114</b>	114	HP340x12	part1	11900	pl				scrap	7628	scrap
			scrap	96	scrap	<b>129</b>	129	HP240x10	part1	10300	pl
<b>115</b>	115	HP340x12	part1	11900	pl				part2	1300	ca
			scrap	96	scrap				scrap	392	scrap
<b>116</b>	116	HP340x12	part1	11900	pl	<b>130</b>	130	HP240x10	part1	10300	pl
			scrap	96	scrap				part2	1300	ca
<b>117</b>	117	HP340x12	part1	11900	pl				scrap	392	scrap
			scrap	96	scrap	<b>131</b>	131	HP240x10	part1	1200	ca
<b>118</b>	118	HP340x12	part1	11900	pl				part2	1200	ca
			scrap	96	scrap				part3	1000	ca
<b>119</b>	119	HP340x12	part1	11900	pl				part4	1000	ca
			scrap	96	scrap				part5	1000	ca
<b>120</b>	120	HP340x12	part1	11900	pl				part6	1000	ca
			scrap	96	scrap				part7	850	ca
<b>121</b>	121	HP340x12	part1	11900	pl				part8	850	ca
			scrap	96	scrap				scrap	3868	scrap
<b>122</b>	122	HP340x12	part1	2950	mp						
			part2	2950	mp						
			part3	2700	mp						
			part4	2700	mp						

		scrap		684	scrap						
<b>1</b>	1	TR150x13	part1	3320	mp	<b>18</b>	2	TR150x13	part1	2710	cr
			part2	3320	mp				part2	2710	cr
			part3	1350	mp				part3	950	cr
<b>2</b>	2	TR150x13	part1	3320	mp				part4	820	cr
			part2	3320	mp				part5	793	cr
			part3	1350	mp	<b>19</b>	1	TR150x13	part1	1600	cr
<b>3</b>	3	TR150x13	part1	3320	mp				part2	1600	cr
			part2	3320	mp				part3	1410	cr
			part3	1350	mp				part4	1410	cr
<b>4</b>	4	TR150x13	part1	3320	mp				part5	1150	cr
			part2	3320	mp				part6	810	cr
			part3	1350	mp	<b>20</b>	1	TR150x13	part1	2310	cr
<b>5</b>	5	TR150x13	part1	3320	mp				part2	1620	cr
			part2	3320	mp				part3	1620	cr
			part3	1350	mp				part4	810	cr
<b>6</b>	6	TR150x13	part1	3320	mp				part5	810	cr
			part2	3320	mp				part6	810	cr
			part3	1350	mp	<b>21</b>	2	TR150x13	part1	2310	cr
<b>7</b>	7	TR150x13	part1	3320	mp				part2	1620	cr
			part2	3320	mp				part3	1620	cr
			part3	1350	mp				part4	810	cr
<b>8</b>	8	TR150x13	part1	3320	mp				part5	810	cr
			part2	3320	mp				part6	810	cr
			part3	1350	mp	<b>22</b>	3	TR150x13	part1	2310	cr
<b>9</b>	9	TR150x13	part1	3320	mp				part2	1620	cr
			part2	3320	mp				part3	1620	cr
			part3	1350	mp				part4	810	cr
<b>10</b>	10	TR150x13	part1	3320	mp				part5	810	cr
			part2	3320	mp				part6	810	cr
			part3	1350	mp	<b>23</b>	4	TR150x13	part1	2310	cr
<b>11</b>	11	TR150x13	part1	3320	mp				part2	1620	cr
			part2	3320	mp				part3	1620	cr
			part3	1350	mp				part4	810	cr
<b>12</b>	12	TR150x13	part1	3320	mp				part5	810	cr
			part2	3320	mp				part6	810	cr
			part3	1350	mp	<b>24</b>	1	TR150x13	part1	1410	cr
<b>13</b>	13	TR150x13	part1	3320	mp				part2	1410	cr



			part2	3320	mp			part3	1410	cr	
			part3	1350	mp			part4	1350	cr	
<b>14</b>	14	TR150x13	part1	3320	mp			part5	1350	cr	
			part2	3320	mp			part6	1050	cr	
			part3	1350	mp	<b>25</b>	1	TR150x13	part1	2310	cr
<b>15</b>	15	TR150x13	part1	3320	mp			part2	1600	cr	
			part2	3320	mp			part3	1410	cr	
			part3	1350	mp			part4	900	cr	
<b>16</b>	16	TR150x13	part1	3320	mp			part5	900	cr	
			part2	3320	mp			part6	860	cr	
			part3	1350	mp	<b>26</b>	2	TR150x13	part1	2310	cr
<b>17</b>	1	TR150x13	part1	2710	cr			part2	1600	cr	
			part2	2710	cr			part3	1410	cr	
			part3	950	cr			part4	900	cr	
			part4	820	cr			part5	900	cr	
			part5	793	cr			part6	860	cr	
						<b>27</b>	1	TR150x13	part1	2310	cr
								part2	2310	cr	
								part3	860	cr	
			part4	860	cr			part8	810	ca	
			part5	820	cr	<b>36</b>	1	TR150x13	part1	1410	ca
			part6	820	cr			part2	1410	ca	
<b>28</b>	1	TR150x13	part1	1410	ca			part3	1050	ca	
			part2	1410	ca			part4	860	ca	
			part3	1400	ca			part5	810	ca	
			part4	1400	ca			part6	810	ca	
			part5	1350	ca			part7	810	ca	
			part6	1010	ca			part8	810	ca	
<b>29</b>	1	TR150x13	part1	2710	ca	<b>37</b>	2	TR150x13	part1	1410	ca
			part2	1650	ca			part2	1410	ca	
			part3	1350	ca			part3	1050	ca	
			part4	1050	ca			part4	860	ca	
			part5	610	ca			part5	810	ca	
			part6	610	ca			part6	810	ca	
<b>30</b>	2	TR150x13	part1	2710	ca			part7	810	ca	
			part2	1650	ca			part8	810	ca	
			part3	1350	ca	<b>38</b>	3	TR150x13	part1	1410	mp
			part4	1050	ca			part2	1410	mp	

			part5	610	ca			part3	1050	mp	
			part6	610	ca			part4	860	mp	
<b>31</b>	3	TR150x13	part1	2710	ca			part5	810	mp	
			part2	1650	ca			part6	810	mp	
			part3	1350	ca			part7	810	mp	
			part4	1050	ca			part8	810	mp	
			part5	610	ca	<b>39</b>	4	TR150x13	part1	1410	mp
			part6	610	ca			part2	1410	mp	
<b>32</b>	4	TR150x13	part1	2710	ca			part3	1050	mp	
			part2	1650	ca			part4	860	mp	
			part3	1350	ca			part5	810	mp	
			part4	1050	ca			part6	810	mp	
			part5	610	ca			part7	810	mp	
			part6	610	ca			part8	810	mp	
<b>33</b>	1	TR150x13	part1	1410	ca	<b>40</b>	5	TR150x13	part1	1410	mp
			part2	1410	ca			part2	1410	mp	
			part3	1050	ca			part3	1050	mp	
			part4	900	ca			part4	860	mp	
			part5	810	ca			part5	810	mp	
			part6	797	ca			part6	810	mp	
			part7	797	ca			part7	810	mp	
			part8	797	ca			part8	810	mp	
<b>34</b>	1	TR150x13	part1	1410	ca	<b>41</b>	6	TR150x13	part1	1410	mp
			part2	1150	ca			part2	1410	mp	
			part3	1010	ca			part3	1050	mp	
			part4	1010	ca			part4	860	mp	
			part5	860	ca			part5	810	mp	
			part6	860	ca			part6	810	mp	
			part7	860	ca			part7	810	mp	
			part8	810	ca			part8	810	mp	
<b>35</b>	1	TR150x13	part1	1150	ca	<b>42</b>	7	TR150x13	part1	1410	ca
			part2	1150	ca			part2	1410	ca	
			part3	1150	ca			part3	1050	ca	
			part4	1050	ca			part4	860	ca	
			part5	900	ca			part5	810	ca	
			part6	900	ca			part6	810	ca	
			part7	860	ca			part7	810	ca	
			part8	810	ca			part8	860	cr	

<b>43</b>	8	TR150x13	part1	1410	ca	<b>50</b>	7	TR150x13	part1	1150	cr
			part2	1410	ca				part2	1050	cr
			part3	1050	ca				part3	1050	cr
			part4	860	ca				part4	1050	cr
			part5	810	ca				part5	1050	cr
			part6	810	ca				part6	900	cr
			part7	810	ca				part7	860	cr
			part8	810	ca				part8	860	cr
<b>44</b>	1	TR150x13	part1	1150	ca	<b>51</b>	8	TR150x13	part1	1150	cr
			part2	1050	ca				part2	1050	cr
			part3	1050	ca				part3	1050	cr
			part4	1050	ca				part4	1050	cr
			part5	1050	ca				part5	1050	cr
			part6	900	ca				part6	900	cr
			part7	860	ca				part7	860	cr
			part8	860	ca				part8	860	cr
<b>45</b>	2	TR150x13	part1	1150	ca	<b>52</b>	9	TR150x13	part1	1150	cr
			part2	1050	ca				part2	1050	cr
			part3	1050	ca				part3	1050	cr
			part4	1050	ca				part4	1050	cr
			part5	1050	ca				part5	1050	cr
			part6	900	ca				part6	900	cr
			part7	860	ca				part7	860	cr
			part8	860	ca				part8	860	cr
<b>46</b>	3	TR150x13	part1	1150	cr	<b>53</b>	10	TR150x13	part1	1150	cr
			part2	1050	cr				part2	1050	cr
			part3	1050	cr				part3	1050	cr
			part4	1050	cr				part4	1050	cr
			part5	1050	cr				part5	1050	cr
			part6	900	cr				part6	900	cr
			part7	860	cr				part7	860	cr
			part8	860	cr				part8	860	cr
<b>47</b>	4	TR150x13	part1	1150	cr	<b>54</b>	11	TR150x13	part1	1150	cr
			part2	1050	cr				part2	1050	cr
			part3	1050	cr				part3	1050	cr
			part4	1050	cr				part4	1050	cr
			part5	1050	cr				part5	1050	cr
			part6	900	cr				part6	900	cr
			part7	860	cr				part7	860	cr

			part8	860	cr				part8	860	cr
<b>48</b>	5	TR150x13	part1	1150	cr	<b>55</b>	12	TR150x13	part1	1150	cr
			part2	1050	cr				part2	1050	cr
			part3	1050	cr				part3	1050	cr
			part4	1050	cr				part4	1050	cr
			part5	1050	cr				part5	1050	cr
			part6	900	cr				part6	900	cr
			part7	860	cr				part7	860	cr
			part8	860	cr				part8	860	cr
<b>49</b>	6	TR150x13	part1	1150	cr	<b>56</b>	13	TR150x13	part1	1150	cr
			part2	1050	cr				part2	1050	cr
			part3	1050	cr				part3	1050	cr
			part4	1050	cr				part4	1050	cr
			part5	1050	cr				part5	1050	cr
			part6	900	cr				part6	900	cr
			part7	860	cr						
			part7	860	cr	<b>63</b>	3	TR150x13	part1	900	ca
			part8	860	cr				part2	900	ca
<b>57</b>	14	TR150x13	part1	1150	cr				part3	900	ca
			part2	1050	cr				part4	860	ca
			part3	1050	cr				part5	860	ca
			part4	1050	cr				part6	860	ca
			part5	1050	cr				part7	860	ca
			part6	900	cr				part8	860	ca
			part7	860	cr				part9	860	ca
			part8	860	cr				scrap	104	scrap
<b>58</b>	15	TR150x13	part1	1150	cr	<b>64</b>	4	TR150x13	part1	900	ca
			part2	1050	cr				part2	900	ca
			part3	1050	cr				part3	900	ca
			part4	1050	cr				part4	860	ca
			part5	1050	cr				part5	860	ca
			part6	900	cr				part6	860	ca
			part7	860	cr				part7	860	ca
			part8	860	cr				part8	860	ca
<b>59</b>	1	TR150x13	part1	1150	cr				part9	860	ca
			part2	1050	cr				scrap	104	scrap
			part3	1050	cr	<b>65</b>	5	TR150x13	part1	900	ca
			part4	1050	cr				part2	900	ca

			part5	1010	cr				part3	900	ca
			part6	900	cr				part4	860	ca
			part7	900	cr				part5	860	ca
			part8	860	cr				part6	860	ca
<b>60</b>	1	TR150x13	part1	1150	mp				part7	860	ca
			part2	860	mp				part8	860	ca
			part3	860	mp				part9	860	ca
			part4	860	mp				scrap	104	scrap
			part5	860	mp	<b>66</b>	1	TR150x13	part1	1150	ca
			part6	860	mp				part2	1150	ca
			part7	860	mp				part3	1010	ca
			part8	860	mp				part4	900	ca
			part9	797	mp				part5	900	ca
<b>61</b>	1	TR150x13	part1	900	mp				part6	900	ca
			part2	900	mp				part7	900	ca
			part3	900	mp				part8	900	ca
			part4	860	mp				scrap	158	scrap
			part5	860	mp	<b>67</b>	1	TR150x13	part1	1150	ca
			part6	860	mp				part2	1010	ca
			part7	860	mp				part3	1010	ca
			part8	860	mp				part4	1010	ca
			part9	860	mp				part5	900	ca
			scrap	104	scrap				part6	900	ca
<b>62</b>	2	TR150x13	part1	900	mp				part7	900	ca
			part2	900	mp				part8	900	ca
			part3	900	mp				scrap	188	scrap
			part4	860	mp	<b>68</b>	1	TR150x13	part1	900	ca
			part5	860	mp				part2	900	ca
			part6	860	mp				part3	900	ca
			part7	860	mp				part4	900	ca
			part8	860	mp				part5	900	ca
			part9	860	mp				part6	900	ca
			scrap	104	scrap				part7	900	ca
			part8	900	ca	<b>83</b>	2	TR200x20	part1	3800	ca
			scrap	768	scrap				part2	3800	ca
<b>69</b>	2	TR150x13	part1	900	ca				scrap	392	scrap
			part2	900	ca	<b>84</b>	3	TR200x20	part1	3800	ca

			part3	900	ca				part2	3800	ca
			part4	900	ca				scrap	392	scrap
			part5	900	ca	<b>85</b>	4	TR200x20	part1	3800	ca
			part6	900	ca				part2	3800	ca
			part7	900	ca				scrap	392	scrap
			part8	900	ca	<b>86</b>	5	TR200x20	part1	3800	ca
			scrap	768	scrap				part2	3800	ca
<b>70</b>	3	TR150x13	part1	900	ca				scrap	392	scrap
			part2	900	ca	<b>87</b>	6	TR200x20	part1	3800	ca
			part3	900	ca				part2	3800	ca
			part4	900	ca				scrap	392	scrap
			part5	900	ca	<b>88</b>	1	TR150x15	part1	3000	ca
			part6	900	ca				part2	1960	ca
			part7	900	ca				part3	1520	ca
			part8	900	ca				part4	757	ca
			scrap	768	scrap				part5	747	ca
<b>71</b>	1	TR150x13	part1	900	ca	<b>89</b>	2	TR150x15	part1	3000	ca
			part2	900	ca				part2	1960	ca
			part3	900	ca				part3	1520	ca
			part4	900	ca				part4	757	ca
			scrap	4384	scrap				part5	747	ca
<b>72</b>	1	TR80x15	part1	5950	ca	<b>90</b>	1	TR150x15	part1	2500	ca
			part2	500	ca				part2	2450	ca
			part3	500	ca				part3	1520	ca
			part4	500	ca				part4	757	ca
			scrap	534	scrap				part5	757	ca
<b>73</b>	1	TR80x15	part1	5950	ca	<b>91</b>	2	TR150x15	part1	2500	ca
			part2	500	ca				part2	2450	ca
			scrap	1542	scrap				part3	1520	ca
<b>74</b>	1	TR80x15	part1	5950	ca				part4	757	ca
			scrap	2046	scrap				part5	757	ca
<b>75</b>	2	TR80x15	part1	5950	ca	<b>92</b>	3	TR150x15	part1	2500	ca
			scrap	2046	scrap				part2	2450	ca
<b>76</b>	3	TR80x15	part1	5950	ca				part3	1520	ca
			scrap	2046	scrap				part4	757	ca
<b>77</b>	4	TR80x15	part1	5950	ca				part5	757	ca
			scrap	2046	scrap	<b>93</b>	4	TR150x15	part1	2500	ca
<b>78</b>	5	TR80x15	part1	5950	ca				part2	2450	ca
			scrap	2046	scrap				part3	1520	ca

79	6	TR80x15	part1	5950	ca		part4	757	ca		
			scrap	2046	scrap		part5	757	ca		
80	1	TR200x15	part1	3800	ca	94	5	TR150x15	part1	2500	ca
			part2	3800	ca				part2	2450	ca
			scrap	392	scrap				part3	1520	ca
81	1	TR200x15	part1	1350	ca				part4	757	ca
			part2	1150	ca				part5	757	ca
			part3	1050	ca	95	6	TR150x15	part1	2500	ca
			scrap	4438	scrap				part2	2450	ca
82	1	TR200x20	part1	3800	ca				part3	1520	ca
			part2	3800	ca				part4	757	ca
			scrap	392	scrap				part5	757	ca
96	1	TR150x15	part1	1950	ca				part3	1480	ca
			part2	1950	ca				part4	800	ca
			part3	1900	ca				part5	800	ca
			part4	1440	ca	107	5	TR150x15	part1	3000	ca
			part5	743	ca				part2	1900	ca
97	1	TR150x15	part1	1900	ca				part3	1480	ca
			part2	1900	ca				part4	800	ca
			part3	1900	ca				part5	800	ca
			part4	1540	ca	108	6	TR150x15	part1	3000	ca
			part5	743	ca				part2	1900	ca
98	1	TR150x15	part1	1540	ca				part3	1480	ca
			part2	1540	ca				part4	800	ca
			part3	1520	ca				part5	800	ca
			part4	1520	ca	109	7	TR150x15	part1	3000	ca
			part5	1000	ca				part2	1900	ca
			part6	860	ca				part3	1480	ca
99	2	TR150x15	part1	1540	ca				part4	800	ca
			part2	1540	ca				part5	800	ca
			part3	1520	ca	110	8	TR150x15	part1	3000	ca
			part4	1520	ca				part2	1900	ca
			part5	1000	ca				part3	1480	ca
			part6	860	ca				part4	800	ca
100	3	TR150x15	part1	1540	ca				part5	800	ca
			part2	1540	ca	111	9	TR150x15	part1	3000	ca
			part3	1520	ca				part2	1900	ca
			part4	1520	ca				part3	1480	ca

			part5	1000	ca				part4	800	ca
			part6	860	ca				part5	800	ca
<b>101</b>	1	TR150x15	part1	2500	ca	<b>112</b>	10	TR150x15	part1	3000	ca
			part2	1900	ca				part2	1900	ca
			part3	1530	ca				part3	1480	ca
			part4	800	ca				part4	800	ca
			part5	800	ca				part5	800	ca
			part6	450	ca	<b>113</b>	1	TR150x15	part1	1550	ca
<b>102</b>	2	TR150x15	part1	2500	ca				part2	1550	ca
			part2	1900	ca				part3	1540	ca
			part3	1530	ca				part4	1520	ca
			part4	800	ca				part5	1470	ca
			part5	800	ca				part6	350	ca
			part6	450	ca	<b>114</b>	2	TR150x15	part1	1550	ca
<b>103</b>	1	TR150x15	part1	3000	ca				part2	1550	ca
			part2	1900	ca				part3	1540	ca
			part3	1480	ca				part4	1520	ca
			part4	800	ca				part5	1470	ca
			part5	800	ca				part6	350	ca
<b>104</b>	2	TR150x15	part1	3000	ca	<b>115</b>	3	TR150x15	part1	1550	ca
			part2	1900	ca				part2	1550	ca
			part3	1480	ca				part3	1540	ca
			part4	800	ca				part4	1520	ca
			part5	800	ca				part5	1470	ca
<b>105</b>	3	TR150x15	part1	3000	ca				part6	350	ca
			part2	1900	ca	<b>116</b>	4	TR150x15	part1	1550	ca
			part3	1480	ca				part2	1550	ca
			part4	800	ca				part3	1540	ca
			part5	800	ca				part4	1520	ca
<b>106</b>	4	TR150x15	part1	3000	ca				part5	1470	ca
			part2	1900	ca				part6	350	ca
<b>117</b>	5	TR150x15	part1	1550	ca				part4	800	ca
			part2	1550	ca				part5	800	ca
			part3	1540	ca				part6	718	ca
			part4	1520	ca	<b>127</b>	1	TR150x15	part1	1520	ca
			part5	1470	ca				part2	1520	ca
			part6	350	ca				part3	1500	ca
<b>118</b>	6	TR150x15	part1	1550	ca				part4	1050	ca



			part2	1550	ca				part5	800	ca
			part3	1540	ca				part6	800	ca
			part4	1520	ca				part7	785	ca
			part5	1470	ca	<b>128</b>	1	TR150x15	part1	1470	ca
			part6	350	ca				part2	1450	ca
<b>119</b>	7	TR150x15	part1	1550	ca				part3	1250	ca
			part2	1550	ca				part4	800	ca
			part3	1540	ca				part5	800	ca
			part4	1520	ca				part6	800	ca
			part5	1470	ca				part7	700	ca
			part6	350	ca				part8	700	ca
<b>120</b>	1	TR150x15	part1	1520	ca	<b>129</b>	1	TR150x15	part1	1510	ca
			part2	1520	ca				part2	1490	ca
			part3	1500	ca				part3	860	ca
			part4	1450	ca				part4	860	ca
			part5	1440	ca				part5	850	ca
			part6	550	ca				part6	800	ca
<b>121</b>	2	TR150x15	part1	1520	ca				part7	800	ca
			part2	1520	ca				part8	800	ca
			part3	1500	ca	<b>130</b>	2	TR150x15	part1	1510	ca
			part4	1450	ca				part2	1490	ca
			part5	1440	ca				part3	860	ca
			part6	550	ca				part4	860	ca
<b>122</b>	3	TR150x15	part1	1520	ca				part5	850	ca
			part2	1520	ca				part6	800	ca
			part3	1500	ca				part7	800	ca
			part4	1450	ca				part8	800	ca
			part5	1440	ca	<b>131</b>	3	TR150x15	part1	1510	ca
			part6	550	ca				part2	1490	ca
<b>123</b>	1	TR150x15	part1	1470	ca				part3	860	ca
			part2	1460	ca				part4	860	ca
			part3	1460	ca				part5	850	ca
			part4	1450	ca				part6	800	ca
			part5	1440	ca				part7	800	ca
			part6	700	ca				part8	800	ca
<b>124</b>	2	TR150x15	part1	1470	ca	<b>132</b>	4	TR150x15	part1	1510	ca
			part2	1460	ca				part2	1490	ca
			part3	1460	ca				part3	860	ca
			part4	1450	ca				part4	860	ca

			part5	1440	ca				part5	850	ca
			part6	700	ca				part6	800	ca
<b>125</b>	1	TR150x15	part1	2500	ca				part7	800	ca
			part2	2300	ca				part8	800	ca
			part3	860	ca	<b>133</b>	1	TR150x15	part1	1520	ca
			part4	800	ca				part2	1490	ca
			part5	800	ca				part3	860	ca
			part6	718	ca				part4	850	ca
<b>126</b>	2	TR150x15	part1	2500	ca				part5	850	ca
			part2	2300	ca				part6	800	ca
			part3	860	ca				part7	800	ca
			part8	800	ca	<b>141</b>	4	TR150x15	part1	1520	ca
<b>134</b>	2	TR150x15	part1	1520	ca				part2	1490	ca
			part2	1490	ca				part3	1000	ca
			part3	860	ca				part4	860	ca
			part4	850	ca				part5	800	ca
			part5	850	ca				part6	800	ca
			part6	800	ca				part7	800	ca
			part7	800	ca				part8	700	ca
			part8	800	ca	<b>142</b>	1	TR150x15	part1	1500	ca
<b>135</b>	3	TR150x15	part1	1520	ca				part2	1450	ca
			part2	1490	ca				part3	860	ca
			part3	860	ca				part4	860	ca
			part4	850	ca				part5	850	ca
			part5	850	ca				part6	850	ca
			part6	800	ca				part7	800	ca
			part7	800	ca				part8	800	ca
			part8	800	ca	<b>143</b>	2	TR150x15	part1	1500	ca
<b>136</b>	4	TR150x15	part1	1520	ca				part2	1450	ca
			part2	1490	ca				part3	860	ca
			part3	860	ca				part4	860	ca
			part4	850	ca				part5	850	ca
			part5	850	ca				part6	850	ca
			part6	800	ca				part7	800	ca
			part7	800	ca				part8	800	ca
			part8	800	ca	<b>144</b>	3	TR150x15	part1	1500	ca
<b>137</b>	5	TR150x15	part1	1520	ca				part2	1450	ca
			part2	1490	ca				part3	860	ca

		part3	860	ca			part4	860	ca		
		part4	850	ca			part5	850	ca		
		part5	850	ca			part6	850	ca		
		part6	800	ca			part7	800	ca		
		part7	800	ca			part8	800	ca		
		part8	800	ca	<b>145</b>	4	TR150x15	part1	1500	ca	
<b>138</b>	1	TR150x15	part1	1520	ca			part2	1450	ca	
			part2	1490	ca			part3	860	ca	
			part3	1000	ca			part4	860	ca	
			part4	860	ca			part5	850	ca	
			part5	800	ca			part6	850	ca	
			part6	800	ca			part7	800	ca	
			part7	800	ca			part8	800	ca	
			part8	700	ca	<b>146</b>	5	TR150x15	part1	1500	ca
<b>139</b>	2	TR150x15	part1	1520	ca			part2	1450	ca	
			part2	1490	ca			part3	860	ca	
			part3	1000	ca			part4	860	ca	
			part4	860	ca			part5	850	ca	
			part5	800	ca			part6	850	ca	
			part6	800	ca			part7	800	ca	
			part7	800	ca			part8	800	ca	
			part8	700	ca	<b>147</b>	6	TR150x15	part1	1500	ca
<b>140</b>	3	TR150x15	part1	1520	ca			part2	1450	ca	
			part2	1490	ca			part3	860	ca	
			part3	1000	ca			part4	860	ca	
			part4	860	ca			part5	850	ca	
			part5	800	ca			part6	850	ca	
			part6	800	ca			part7	800	ca	
			part7	800	ca			part8	800	ca	
			part8	700	ca	<b>148</b>	7	TR150x15	part1	1500	ca
			part2	1450	ca			part3	1480	cr	
			part3	860	ca			part4	800	cr	
			part4	860	ca			part5	800	cr	
			part5	850	ca			part6	800	cr	
			part6	850	ca			part7	700	cr	
			part7	800	ca			part8	350	cr	
			part8	800	ca	<b>156</b>	4	TR150x15	part1	1520	cr
<b>149</b>	1	TR150x15	part1	1520	ca			part2	1520	cr	

			part2	1490	ca				part3	1480	cr
			part3	1250	ca				part4	800	cr
			part4	860	ca				part5	800	cr
			part5	800	ca				part6	800	cr
			part6	800	ca				part7	700	cr
			part7	800	ca				part8	350	cr
			part8	450	ca	<b>157</b>	1	TR150x15	part1	1530	cr
<b>150</b>	1	TR150x15	part1	1520	ca				part2	1530	cr
			part2	1510	ca				part3	1510	cr
			part3	1500	ca				part4	800	cr
			part4	800	ca				part5	800	cr
			part5	800	ca				part6	800	cr
			part6	747	ca				part7	550	cr
			part7	743	ca				part8	450	cr
			part8	350	ca	<b>158</b>	2	TR150x15	part1	1530	cr
<b>151</b>	1	TR150x15	part1	1520	ca				part2	1530	cr
			part2	1520	ca				part3	1510	cr
			part3	1440	ca				part4	800	cr
			part4	800	ca				part5	800	cr
			part5	800	ca				part6	800	cr
			part6	800	ca				part7	550	cr
			part7	545	ca				part8	450	cr
			part8	545	ca	<b>159</b>	3	TR150x15	part1	1530	cr
<b>152</b>	2	TR150x15	part1	1520	ca				part2	1530	cr
			part2	1520	ca				part3	1510	cr
			part3	1440	ca				part4	800	cr
			part4	800	ca				part5	800	cr
			part5	800	ca				part6	800	cr
			part6	800	ca				part7	550	cr
			part7	545	ca				part8	450	cr
			part8	545	ca	<b>160</b>	1	TR150x15	part1	1450	cr
<b>153</b>	1	TR150x15	part1	1520	ca				part2	860	cr
			part2	1520	ca				part3	860	cr
			part3	1480	ca				part4	850	cr
			part4	800	ca				part5	800	cr
			part5	800	ca				part6	800	cr
			part6	800	ca				part7	800	cr
			part7	700	ca				part8	800	cr
			part8	350	ca				part9	747	cr

<b>154</b>	2	TR150x15	part1	1520	ca	<b>161</b>	2	TR150x15	part1	1450	cr			
			part2	1520	ca				part2	860	cr			
			part3	1480	ca				part3	860	cr			
			part4	800	ca				part4	850	cr			
			part5	800	ca				part5	800	cr			
			part6	800	ca				part6	800	cr			
			part7	700	ca				part7	800	cr			
			part8	350	ca				part8	800	cr			
<b>155</b>	3	TR150x15	part1	1520	cr	<b>162</b>	3	TR150x15	part1	1450	cr			
			part2	1520	cr				part5	800	cr			
<b>163</b>	4	TR150x15	part2	860	cr	part6	800	cr						
			part3	860	cr	part7	800	cr						
			part4	850	cr	part8	743	cr						
			part5	800	cr	part9	700	cr						
			part6	800	cr	part10	700	cr						
			part7	800	cr	<b>169</b>	1	TR150x15	part1	2500	cr			
			part8	800	cr				part2	2250	cr			
			part9	747	cr	part3	1530	cr						
<b>164</b>	5	TR150x15	part1	1450	cr	part4	800	cr						
			part2	860	cr	part5	800	cr						
			part3	860	cr	scrap	100	scrap						
			part4	850	cr	<b>170</b>	2	TR150x15	part1	2500	cr			
			part5	800	cr				part2	2250	cr			
			part6	800	cr	part3	1530	cr						
			part7	800	cr	part4	800	cr						
			part8	800	cr	part5	800	cr						
part9	747	cr	scrap	100	scrap									
<b>165</b>	1	TR150x15	part1	1450	cr	<b>171</b>	1	TR150x15	part1	1900	cr			
			part2	860	cr				part2	1900	cr			
			part3	860	cr				part3	1520	cr			
			part4	850	cr				part4	1510	cr			
			part5	800	cr				part5	1050	cr			
			part6	800	cr				scrap	100	scrap			
			part7	800	cr				<b>172</b>	1	TR150x15	part1	2450	cr
			part8	800	cr							part2	1900	cr
part9	747	cr	part3	1520	cr									
<b>166</b>	1	TR150x15	part1	1520	cr	part4	1460	cr						
			part2	1510	cr									

		part3	850	cr				part5	550	cr	
		part4	800	cr				scrap	100	scrap	
		part5	800	cr	<b>173</b>	2	TR150x15	part1	2450	cr	
		part6	800	cr				part2	1900	cr	
		part7	785	cr				part3	1520	cr	
		part8	450	cr				part4	1460	cr	
		part9	450	cr				part5	550	cr	
<b>166</b>	2	TR150x15	part1	1520	cr			scrap	100	scrap	
			part2	1510	cr	<b>174</b>	3	TR150x15	part1	2450	cr
			part3	850	cr			part2	1900	cr	
			part4	800	cr			part3	1520	cr	
			part5	800	cr			part4	1460	cr	
			part6	800	cr			part5	550	cr	
			part7	785	cr			scrap	100	scrap	
			part8	450	cr	<b>175</b>	4	TR150x15	part1	2450	cr
			part9	450	cr			part2	1900	cr	
<b>167</b>	3	TR150x15	part1	1520	cr			part3	1520	cr	
			part2	1510	cr			part4	1460	cr	
			part3	850	cr			part5	550	cr	
			part4	800	cr			scrap	100	scrap	
			part5	800	cr	<b>176</b>	5	TR150x15	part1	2450	cr
			part6	800	cr			part2	1900	cr	
			part7	785	cr			part3	1520	cr	
			part8	450	cr			part4	1460	cr	
			part9	450	cr			part5	550	cr	
<b>168</b>	1	TR150x15	part1	860	cr			scrap	100	scrap	
			part2	860	cr	<b>177</b>	6	TR150x15	part1	2450	cr
			part3	850	cr						
			part4	850	cr						
			part2	1900	cr	<b>184</b>	3	TR150x15	part1	1460	cr
			part3	1520	cr			part2	800	cr	
			part4	1460	cr			part3	800	cr	
			part5	550	cr			part4	800	cr	
			scrap	100	scrap			part5	800	cr	
<b>178</b>	1	TR150x15	part1	1530	cr			part6	800	cr	
			part2	1530	cr			part7	800	cr	
			part3	1510	cr			part8	800	cr	

			part4	900	cr				part9	800	cr
			part5	800	cr				scrap	104	scrap
			part6	800	cr	<b>185</b>	4	TR150x15	part1	1460	cr
			part7	800	cr				part2	800	cr
			scrap	102	scrap				part3	800	cr
<b>179</b>	2	TR150x15	part1	1530	cr				part4	800	cr
			part2	1530	cr				part5	800	cr
			part3	1510	cr				part6	800	cr
			part4	900	cr				part7	800	cr
			part5	800	cr				part8	800	cr
			part6	800	cr				part9	800	cr
			part7	800	cr				scrap	104	scrap
			scrap	102	scrap	<b>186</b>	1	TR150x15	part1	1500	cr
<b>180</b>	1	TR150x15	part1	1520	cr				part2	1440	cr
			part2	1520	cr				part3	860	cr
			part3	1470	cr				part4	860	cr
			part4	950	cr				part5	800	cr
			part5	800	cr				part6	800	cr
			part6	800	cr				part7	800	cr
			part7	800	cr				part8	800	cr
			scrap	112	scrap				scrap	108	scrap
<b>181</b>	2	TR150x15	part1	1520	cr	<b>187</b>	1	TR150x15	part1	2500	cr
			part2	1520	cr				part2	2150	cr
			part3	1470	cr				part3	800	cr
			part4	950	cr				part4	800	cr
			part5	800	cr				part5	800	cr
			part6	800	cr				part6	800	cr
			part7	800	cr				scrap	126	scrap
			scrap	112	scrap	<b>188</b>	2	TR150x15	part1	2500	cr
<b>182</b>	1	TR150x15	part1	1460	cr				part2	2150	cr
			part2	800	cr				part3	800	cr
			part3	800	cr				part4	800	cr
			part4	800	cr				part5	800	cr
			part5	800	cr				part6	800	cr
			part6	800	cr				scrap	126	scrap
			part7	800	cr	<b>189</b>	1	TR150x15	part1	1450	cr
			part8	800	cr				part2	800	cr
			part9	800	cr				part3	800	cr
			scrap	104	scrap				part4	800	cr

<b>183</b>	2	TR150x15	part1	1460	cr	part5	800	cr			
			part2	800	cr	part6	800	cr			
			part3	800	cr	part7	800	cr			
			part4	800	cr	part8	800	cr			
			part5	800	cr	part9	800	cr			
			part6	800	cr	scrap	114	scrap			
			part7	800	cr	<b>190</b>	1	TR150x15	part1	1500	ca
			part8	800	cr				part2	1470	ca
			part9	800	cr				part3	1450	ca
scrap	104	scrap	part4	1440	ca						
part5	860	ca	part5	860	ca						
<b>191</b>	1	TR150x15	part6	800	ca	part6	800	ca			
			scrap	456	scrap	scrap	456	scrap			
			part1	1470	ca	<b>197</b>	1	TR150x12	part11	460	cr
			part2	1450	ca				part12	460	cr
			part3	1450	ca				part13	460	cr
			part4	1440	ca				part1	3400	cr
			part5	800	ca				part2	2000	cr
			part6	800	ca	part3	2000	cr			
			scrap	566	scrap	part4	460	cr			
<b>192</b>	1	TR150x15	scrap	596	scrap	scrap	124	scrap			
			part1	1450	ca	<b>198</b>	2	TR150x12	part1	3400	cr
			part2	1450	ca				part2	2000	cr
			part3	1440	ca				part3	2000	cr
			part4	1440	ca				part4	460	cr
			part5	800	ca				scrap	124	scrap
			part6	800	ca	<b>199</b>	3	TR150x12	part1	3400	cr
			scrap	596	scrap				part2	2000	cr
			part1	1450	ca				part3	2000	cr
part2	1450	ca	part4	460	cr						
part3	1440	ca	scrap	124	scrap						
<b>193</b>	1	TR150x15	part4	1440	ca	<b>200</b>	4	TR150x12	part1	3400	cr
			part5	800	ca				part2	2000	cr
			part6	800	ca				part3	2000	cr
			scrap	596	scrap				part4	460	cr
			part1	1450	ca				scrap	124	scrap
			part2	1450	ca	<b>201</b>	5	TR150x12	part1	3400	cr
			part3	1440	ca				part2	2000	cr
			part4	800	ca				part3	2000	cr
			scrap	2844	scrap				part4	460	cr
part1	2000	ca	scrap	124	scrap						
<b>194</b>	1	TR150x12	part2	2000	ca	part1	3400	cr			
			part3	500	ca	part2	2000	cr			
			part4	500	ca	part3	2000	cr			
			part5	500	ca	part4	460	cr			
			scrap	124	scrap	scrap	124	scrap			



			part6	500	ca	<b>202</b>	1	TR150x12	part1	3400	cr
			part7	500	ca				part2	3400	cr
			part8	500	ca				part3	500	cr
			part9	500	ca				part4	460	cr
			part10	460	ca				scrap	224	scrap
<b>195</b>	1	TR150x12	part1	2350	ca	<b>203</b>	1	TR150x12	part1	3400	cr
			part2	500	ca				part2	3400	cr
			part3	500	ca				part3	460	cr
			part4	460	ca				part4	460	cr
			part5	460	ca				scrap	264	scrap
			part6	460	ca	<b>204</b>	2	TR150x12	part1	3400	cr
			part7	460	ca				part2	3400	cr
			part8	460	ca				part3	460	cr
			part9	460	ca				part4	460	cr
			part10	460	ca				scrap	264	scrap
			part11	460	ca	<b>205</b>	1	TR150x12	part1	3400	cr
			part12	460	ca				part2	3400	cr
			part13	460	ca				part3	460	cr
<b>196</b>	2	TR150x12	part1	2350	ca				part4	460	cr
			part2	500	ca				part5	460	cr
			part3	500	cr				part6	460	cr
			part4	460	cr				scrap	386	scrap
			part5	460	cr	<b>206</b>	1	TR150x12	part1	2350	cr
			part6	460	cr				part2	2350	cr
			part7	460	cr				part3	2350	cr
			part8	460	cr				part4	460	cr
			part9	460	cr				scrap	474	scrap
			part10	460	cr						
<b>207</b>	1	TR150x12	part1	2350	cr				part5	700	cr
			part2	2350	cr				part6	700	cr
			part3	2350	cr				scrap	148	scrap
			scrap	938	scrap	<b>217</b>	1	TR130x12	part1	1607	cr
<b>208</b>	2	TR150x12	part1	2350	cr				part2	1607	cr
			part2	2350	cr				part3	1607	cr
			part3	2350	cr				part4	1607	cr
			scrap	938	scrap				part5	760	cr
<b>209</b>	1	TR130x12	part1	2480	cr				part6	620	cr
			part2	2480	cr				scrap	168	scrap

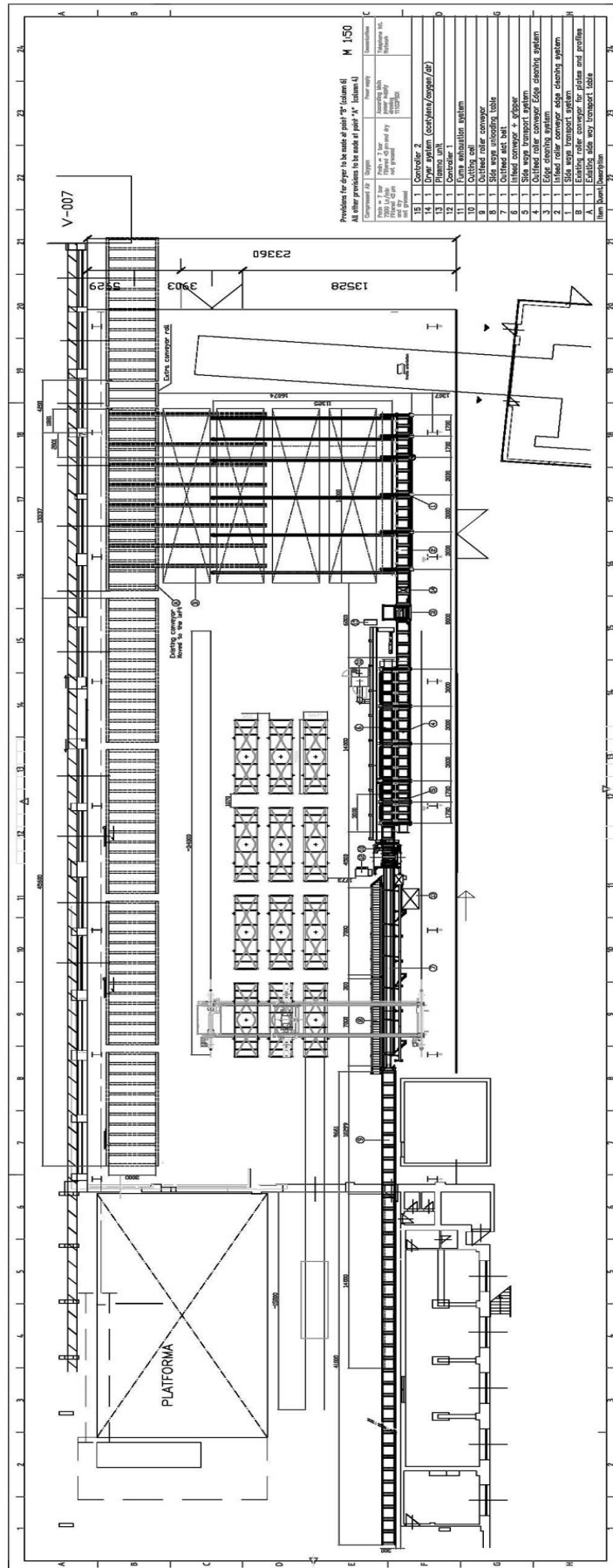
			part3	2270	cr	<b>218</b>	2	TR130x12	part1	1607	cr
			part4	650	cr				part2	1607	cr
			scrap	104	scrap				part3	1607	cr
<b>210</b>	2	TR130x12	part1	2480	cr				part4	1607	cr
			part2	2480	cr				part5	760	cr
			part3	2270	cr				part6	620	cr
			part4	650	cr				scrap	168	scrap
			scrap	104	scrap	<b>219</b>	1	TR130x12	part1	1607	mp
<b>211</b>	1	TR130x12	part1	1620	cr				part2	1607	mp
			part2	1620	cr				part3	1607	mp
			part3	1620	cr				part4	860	mp
			part4	1607	cr				part5	860	mp
			part5	1410	cr				part6	610	mp
			scrap	103	scrap				part7	610	mp
<b>212</b>	1	TR130x12	part1	1607	cr				scrap	211	scrap
			part2	1607	cr	<b>220</b>	1	TR130x12	part1	860	mp
			part3	1607	cr				part2	860	mp
			part4	970	cr				part3	860	mp
			part5	860	cr				part4	860	mp
			part6	610	cr				part5	860	mp
			part7	610	cr				part6	860	mp
			scrap	101	scrap				part7	860	mp
<b>213</b>	1	TR130x12	part1	1607	cr				part8	860	cr
			part2	1607	cr				part9	860	cr
			part3	1607	cr				scrap	224	scrap
			part4	1020	cr	<b>221</b>	1	TR130x12	part1	1607	cr
			part5	1020	cr				part2	1607	cr
			part6	1010	cr				part3	1607	cr
			scrap	105	scrap				part4	970	cr
<b>214</b>	1	TR130x12	part1	1620	cr				part5	970	cr
			part2	1607	cr				part6	970	cr
			part3	1607	cr				scrap	245	scrap
			part4	1607	cr	<b>222</b>	1	TR130x12	part1	1607	cr
			part5	1410	cr				part2	1607	cr
			scrap	129	scrap				part3	860	cr
<b>215</b>	1	TR130x12	part1	1607	cr				part4	860	cr
			part2	1607	cr				part5	860	cr
			part3	1607	cr				part6	860	cr
			part4	1010	cr				part7	860	cr

			part5	1010	cr			scrap	458	scrap	
			part6	1010	cr	223	1	TR130x12	part1	1607	cr
			scrap	125	scrap				part2	860	cr
216	1	TR130x12	part1	1607	cr				scrap	5525	scrap
			part2	1607	cr	224	1	TR120x13	part1	800	cr
			part3	1607	cr				part2	800	cr
			part4	1607	cr				scrap	6392	scrap
225	1	TR200x10	part1	5950	cr						
			part2	500	cr						
			part3	500	cr						
			part4	500	cr						
			scrap	534	scrap						
226	1	TR200x10	part1	5950	cr						
			part2	500	cr						
			scrap	1542	scrap						
227	1	TR200x10	part1	5950	cr						
			scrap	2046	scrap						
228	2	TR200x10	part1	5950	cr						
			scrap	2046	scrap						

## **PRILOG 4**

CAD nacrt predloženog projektnog rješenja robotizirane linije za obradu profila

**Prilog 4.** CAD nacrt predloženog projektnog rješenja robotizirane linije za obradu profila



## **PRILOG 5**

Fotografije projektirane linije, instalirane u stvarnom brodograđevnom proizvodnom procesu nakon realizacije projekta

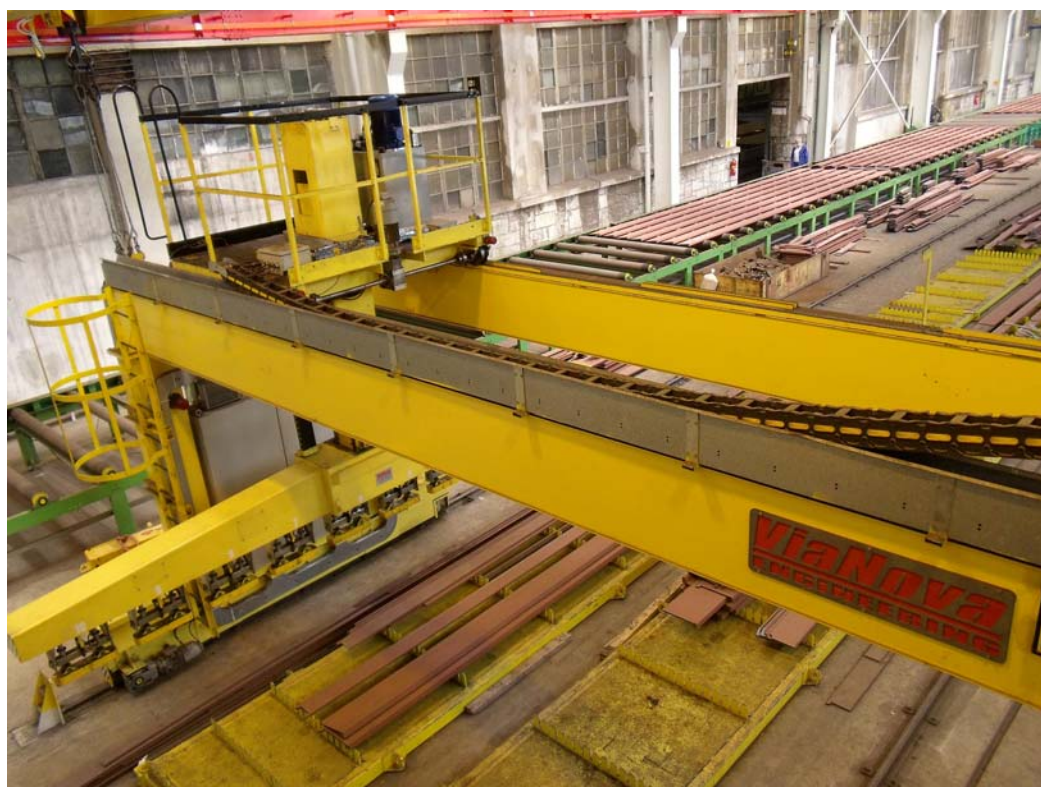
**Prilog 5.** Fotografije projektirane linije, instalirane u stvarnom brodograđevnom proizvodnom procesu nakon realizacije projekta



**Slika P5.1** Prikaz dijela linije na kojoj se vidi robotska stanica za rezanje profila, palete za sortiranje i sortirna dizalica



**Slika P5.2** Prikaz dijela linije na kojoj se vide bankate profila na ulaznom međuskладиštu prije pojedinačnog prelaska na uzdužni valjčasti transporter



**Slika P5.3** Prikaz dijela linije na kojoj se vidi sortirna dizalica i palete na koje slaže odrezane profile



**Slika P5.4** Prikaz dijela linije na kojoj se vidi izlazni transporter iz stanice za sušenje i čišćenje rubova profila, robotska stanica za rezanje profila, palete za sortiranje profila i sortirna dizalica





Slika P5.5 Panoramski pogled na robotsku liniju za obradu profila

**Kratki životopis:**

**Marko Hadjina** rođen je 08. siječnja 1973. godine u Rijeci.

Osnovnu školu završio je u Rijeci. Srednju školu pohađao je u Rijeci u Centru za kadrove u obrazovanju i kulturi, smjer matematičko-informatički gdje je 1991. godine maturirao i stekao stručni naziv prirodoslovno-matematički tehničar.

Godine 1994. upisao je sveučilišni studij brodogradnje na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Rijeci. Tijekom fakultetskog obrazovanja bio je demonstrator u računarskom centru Tehničkog fakulteta na raznim kolegijima (Primjena elektroničkih računala, Programski jezici, CAD/CAM, ACAD). Godine 2000. obranio je s odličnim uspjehom diplomski rad na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Rijeci te stekao stručni naziv diplomirani inženjer brodogradnje.

Od lipnja 2001. god. radi kao znanstveni novak na Zavodu za brodogradnju i inženjerstvo morske tehnologije Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, pri Katedri za tehnologiju i organizaciju brodogradnje, te aktivno sudjeluje u nastavi održavanjem vježbi iz kolegija katedre. Uključen je u projekt Ministarstva znanosti i tehnologije pod nazivom *Tehnološko unapređenje metodologije gradnje trupa broda* voditelja red. prof. dr. sc. N. Fafandjela. U listopadu 2001. godine izabran je u suradničko zvanje mlađi asistent za predmet Tehnologija brodogradnje, znanstvene grane Tehnologija gradnje i održavanje plovnih objekata te predmete Plovni Objekti i Oprema broda, znanstvene grane Osnivanje plovnih objekata, znanstvenog polja brodogradnja, znanstvenog područja Tehničke znanosti. Godine 2006. izabran je u suradničko zvanje asistent. U listopadu 2004. godine upisao poslijediplomski znanstveni studij za stjecanje doktorata znanosti na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Rijeci, smjer Projektiranje i gradnja plovnih objekata.

Godine 2003. pohađao je i uspješno završio seminare za razne module softvera *Tribon*. Aktivno je surađivao na projektu uvođenja *Tribon*-a u Brodogradilište "3.MAJ" kao pomoć djelatnicima projektnog i tehnološkog ureda.

U koautorstvu je objavio ukupno 14 znanstvenih radova od čega 3 poglavlja u knjizi. Sudjelovao je na ukupno 7 znanstvenih skupova, od kojih na 3 međunarodna i 4 nacionalna. Održao je 5 priopćenja na znanstvenim skupovima.

Od spomenutih 14 znanstvenih radova na engleskom jeziku je napisano 10 radova, od kojih je 6 radova objavljeno u inozemstvu. Prema svojem sadržaju znanstveni radovi su pretežno iz znanstvenih grana Tehnologija gradnje i održavanje plovnih objekata te dijelom iz Osnivanja plovnih objekata, svi iz znanstvenog polja Brodogradnja, u znanstvenom području Tehničke znanosti.

U svezi s predloženom temom doktorske disertacije sudjelovao je na znanstvenoj suradnji s CMT (Center of Maritime Technologies e.V), Hamburg, na primjeni simulacijskih softvera (*eM-Plant*) u brodogradnji te boravio na TU Wien, Austria, radi usavršavanja u primjeni simulacijskog softvera *Arena*. Također, aktivno je sudjelovao na sedam istraživačko-razvojnih projekata.

Član je znanstvenog društva Akademskog kluba doktora znanosti, magistara znanosti, diplomiranih inženjera i inženjera Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci (AKDMI).

Govori i piše engleski jezik.

## **PODACI O AUTORU I DOKTORSKOJ DISERTACIJI**

### **1. AUTOR**

Ime i prezime: Marko Hadjina  
Datum i mjesto rođenja: 08. 01. 1973., Rijeka  
Naziv fakulteta, studija i godina završetka dodiplomskog studija: Tehnički fakultet Rijeka, Brodogradnja, 2000.  
Naziv fakulteta, smjera i godina završetka poslijediplomskog studija: Tehnički fakultet Rijeka, Projektiranje i gradnja plovnih objekata, 2006.  
Sadašnje zaposlenje: Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci

### **2. DOKTORSKA DISERTACIJA**

Naslov: Simulacijsko modeliranje kao osnova metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa

Broj stranica, slika, tablica i bibliografskih podataka: 234, 71, 41, 119  
Znanstveno polje i grana: Brodogradnja, Tehnologija gradnje i održavanje plovnih objekata  
Fakultet na kojem je rad obranjen: Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci

### **3. OBRANA I OCJENA**

Datum prijave teme: 15. 11. 2006.  
Datum predaje rada:  
Datum prihvaćanja ocjene rada:

Sastav povjerenstva za ocjenu: Prof. emeritus Špiro Milošević, dipl. ing.  
Red.prof.dr.sc. Nikša Fafandjel, dipl.ing.  
Red.prof.dr.sc. Slavko Šimundić, dipl.ing.

Datum obrane:

Sastav povjerenstva za obranu: Prof. emeritus Špiro Milošević, dipl. ing.  
Red.prof.dr.sc. Nikša Fafandjel, dipl.ing.  
Red.prof.dr.sc. Slavko Šimundić, dipl.ing.

Datum promocije:

Oznaka: DD

Tek. broj: UDK: 629.5.081:658.5.012.2:519.876.5 (043)

## **SIMULACIJSKO MODELIRANJE KAO OSNOVA METODOLOGIJE PROJEKTIRANJA BRODOGRAĐEVNOG PROIZVODNOG PROCESA**

Marko Hadjina  
Sveučilište u Rijeci  
Tehnički fakultet  
Hrvatska

Ključne riječi: brodogradnja  
metodologija projektiranja proizvodnog procesa  
simulacijsko modeliranje

Sažetak:

U radu je predložena metodologija projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa koja se temelji na primjeni metode simulacijskog modeliranja kao osnove predložene metodologije. Pri tome, od predložene metodologije se očekuje da projektantima procesa omogući brži, efikasniji i kvalitetniji pristup projektiranju složenosti i dinamike kompleksnih proizvodnih procesa, s posebnim naglaskom na brodograđevni proizvodni proces. U prvom su dijelu rada, prema dostupnim izvorima, istraživane metode, tehnike i alati koji se općenito primjenjuju kod problema projektiranja proizvodnih procesa s posebnim osvrtom na kritičku analizu mogućnosti primjene metode simulacijskog modeliranja. U nastavku ovog istraživanja, opisano je simulacijsko modeliranje kao osnova predložene metodologije projektiranja sa svojim osnovnim karakteristikama, razlozima primjene i sa posebnim osvrtom na brodograđevni proizvodni proces. Nadalje, u četvrtom poglavlju detaljno je opisana procedura provođenja predložene metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa u sedam uzastopnih faza. U petom poglavlju, prikazana je primjena predložene metodologije na konkretnom primjeru brodograđevnog proizvodnog procesa za projektiranje potpuno nove robotizirane linije za obradu profila. U šestom poglavlju provodi se konačna potvrda predložene metodologije usporedbom sa njezinim realiziranim postavom u stvarni proizvodni proces promatranog brodogradilišta. Na kraju, temeljem ovog istraživanja i zaključaka iz usporedbe sa stvarnim proizvodnim procesom, predlažu se smjernice daljnjeg istraživanja.

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

Povjerenstvo za ocjenu: Prof. emeritus Špiro Milošević, dipl. ing.  
Red.prof.dr.sc. Nikša Fafandjel, dipl.ing.  
Red.prof.dr.sc. Slavko Šimundić, dipl.ing.

Povjerenstvo za obranu: Prof. emeritus Špiro Milošević, dipl. ing.  
Red.prof.dr.sc. Nikša Fafandjel, dipl.ing.  
Red.prof.dr.sc. Slavko Šimundić, dipl.ing.

Datum obrane:

Datum promocije:

Rad je pohranjen na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Rijeci  
(234, 71, 41, 119, hrvatski jezik)

DD UDK: 629.5.081:658.5.012.2:519.876.5 (043)

<p>1. Simulacijsko modeliranje kao osnova metodologije projektiranja brodograđevnog proizvodnog procesa</p> <p>I Hadjina, M.</p> <p>II Sveučilište u Rijeci Tehnički fakultet HRVATSKA</p>	<p>Ključne riječi: brodogradnja metodologija projektiranja proizvodnog procesa simulacijsko modeliranje</p>
--	---

Code: DD

No:

UDC: 629.5.081:658.5.012.2:519.876.5 (043)

## **SIMULATION MODELLING BASED METHODOLOGY FOR SHIPBUILDING PRODUCTION PROCESS DESIGN**

Marko Hadjina

University of Rijeka  
Faculty of Engineering  
Croatia

Keywords: shipbuilding  
production process design methodology  
simulation modelling

### Summary:

In this dissertation a simulation modeling based methodology for shipbuilding production process design is suggested. It is expected from suggested methodology to give faster, better and more efficient tool for designers of complex production processes, with special focus on shipbuilding production processes design. Within the first part of dissertation, against available resources, various methods, techniques and tools used in production process design practice, are investigated with special focus on critical analysis of simulation modeling method appliance opportunities. In continuing, simulation modeling method, as basis of suggested methodology, is investigated and described regarding its special characteristics, advantages and reasons for application, especially in shipbuilding production process. Furthermore, in fourth chapter, suggested methodology for production process procedure is described in details. In fifth chapter, appliance of suggested methodology for designing a real robotized profile cutting process line within specific shipyard production process is demonstrated. In sixth chapter, selected design solution, acquired with suggested methodology, is finally tested and evaluated through comparison with installed robotized profile cutting line in specific shipyard production process. Finally, on grounds of this dissertation and conclusion droved from comparison with real installation in specific shipyard, directions for further research are suggested.

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

Reviewers: Prof. emeritus Špiro Milošević, dipl. ing.  
Red.prof.dr.sc. Nikša Fafandjel, dipl.ing.  
Red.prof.dr.sc. Slavko Šimundić, dipl.ing.

Examiners: Prof. emeritus Špiro Milošević, dipl. ing.  
Red.prof.dr.sc. Nikša Fafandjel, dipl.ing.  
Red.prof.dr.sc. Slavko Šimundić, dipl.ing.

Oral examination:

Degree conferred:

This dissertation is deposited in the library of the University of Rijeka, Faculty of Engineering.  
(234, 71, 41, 119, Croatian language)

DD

UDC: 629.5.081:658.5.012.2:519.876.5 (043)

<p>1. Simulation modeling based methodology for shipbuilding production process design</p> <p>I Hadjina, T.</p> <p>II University of Rijeka Faculty of Engineering CROATIA</p>	<p>Keywords: shipbuilding production process design methodology simulation modelling</p>
---	--

