

# Primjena simulacijskog modeliranja u procesu osnivanja suvremene brodograđevne radionice

---

**Bešlić, Krešimir**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:787022>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Krešimir Bešlić**

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentori:

Doc. dr. sc. Neven Hadžić, dipl. ing.

Student:

Krešimir Bešlić

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

*Najljepše zahvaljujem mentorima doc. dr. sc. Nevenu Hadžiću i dr. sc. Marku Tomiću na pomoći, savjetima, strpljivosti i razumijevanju tijekom izrade diplomskog rada.*

*Zahvaljujem se prijateljima Duji Draganji, Zvonimiru Šaki i Heleni Galić na pomoći tijekom studiranja u Zagrebu.*

***Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima i bratu koji su mi bili pomoć i podrška tijekom studiranja. Ovaj rad posvećujem svojoj pokojnoj sestri koja mi je pokazala način na koji se treba za život boriti.***

Krešimir Bešlić



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student:

**Krešimir Bešlić**

Mat. br.: 0023078484

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**PRIMJENA SIMULACIJSKOG MODELIRANJA U PROCESU  
OSNIVANJA SUVREMENE BRODOGRAĐEVNE RADIONICE**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**APPLICATION OF SIMULATION MODELING IN THE DESIGN  
OF MODERN SHIPBUILDING WORKSHOP**

Opis zadatka:

Racionalan tehnološki projekt suvremene brodograđevne radionice temelj je konkurentnog brodograđevnog proizvodnog procesa u velikim svjetskim brodogradilištima. U svrhu racionalnog odabira odgovarajućih tehnoloških procesa i njihovog smještaja na teritoriju brodogradilišta nužno je u procesu tehnološkog projektiranja primijeniti metode i modele simulacije proizvodnih procesa. Hrvatska brodogradilišta posjeduju odgovarajuće tehnološke potencijale te se očekuje da bi u budućnosti, primjenom simulacijskog modeliranja proizvodnje, mogla biti konkurentna na svjetskom brodograđevnom tržištu, posebno s naglaskom na proizvodne programe visoke dodane vrijednosti poput proizvodnje objekata morske tehnike. Zbog svoje složenosti proces gradnje broda zahtijeva pravovremeno upravljanje samim procesom te je potrebno istražiti mogućnost primjene simulacijskog modeliranja i u tu svrhu.

U okviru diplomskog zadatka je potrebno:

1. Analizirati primjenu simulacijskog modeliranja u suvremenoj brodograđevnoj industriji.
2. Na temelju dostupne projektne dokumentacije analizirati karakterističan proizvodni program brodogradilišta te tehnološki osnovati referentnu brodograđevnu radionicu s odgovarajućim tokovima materijala i tehnološkom opremom.
3. Izraditi simulacijski model tehnoloških procesa u referentnoj brodograđevnoj radionici.
4. Na temelju rezultata simulacijskog modeliranja proizvodnih procesa kritički analizirati pojedinačne tehnološke procese unutar brodograđevne radionice, predložiti racionalna poboljšanja procesa gradnje, te istražiti mogućnost primjene simulacijskog modeliranja u svrhu upravljanja proizvodnjom unutar brodograđevne radionice.

U zadatku koristiti dostupnu projektnu dokumentaciju, opće planove brodogradilišta, te programski paket SIEMENS PLANT SIMULATION dostupan na FSB-u.

Zadatak zadan:

12. studenog 2015.

Rok predaje rada:

14. siječnja 2016.

Predviđeni datumi obrane:

20., 21. i 22. siječnja 2016.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Neven Hadžić

Predsjednica Povjerenstva:

*Nastia Degiuli*  
Prof. dr. sc. Nastia Degiuli

**SADRŽAJ**

POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	VI
POPIS OZNAKA .....	VII
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY .....	X
1. UVOD.....	1
1.1. Osnovni pojmovi u simulacijskim sustavima .....	1
1.1.1. Proizvodni sustav .....	1
1.1.2. Stanje proizvodnog sustava.....	2
1.1.3. Model .....	2
1.1.4. Varijable stanja .....	3
1.1.5. Modeliranje .....	3
1.1.6. Verifikacija .....	4
1.1.7. Validacija .....	4
1.1.8. Simulacija .....	4
1.1.9. Simulirano vrijeme.....	5
1.2. Simulacijsko modeliranje.....	5
1.2.1. Prednosti i nedostaci simulacije.....	6
1.3. Podjela simulacijskih postupaka .....	7
1.3.1. Kontinuirana simulacija .....	7
1.3.2. Simulacija diskretnim događajima.....	7
1.3.2.1. Entiteti i atributi .....	8
1.3.2.2. Proces, aktivnost i događaj .....	9
1.3.2.3. Skupovi i klase entiteta .....	10
1.3.2.4. Kalendar i vrijeme.....	10
1.3.2.5. Sredstva.....	10
1.3.2.6. Globalne varijable.....	10
1.3.2.7. Generator slučajnih varijabli.....	11
1.4. Simulacija proizvodnih sustava .....	11
1.4.1. Stvaranje simulacijskog sustava.....	13
1.4.2. Priprema.....	14
1.4.3. Gradnja modela .....	14
1.4.4. Testiranje.....	14
1.4.5. Rezultati, tumačenje rezultata, modifikacije.....	15
1.4.6. Praktična primjena .....	15
1.5. Opis i kvantificiranje slučajne varijable.....	16
2. REFERENTNA BRODOGRAĐEVNA RADIONICA .....	19
2.1. Uvod.....	19
2.2. Osnove tehnološkog projektiranja .....	19
2.2.1. Režim rada i fond vremena .....	21
2.2.1.1. Režim rada .....	21
2.2.1.2. Fond vremena.....	21
2.3. Faze proizvodnog procesa.....	22

2.3.1.	Skladište limova, profila i traka .....	22
2.3.1.1.	Skladište za iskrcaj limova, profila i traka .....	22
2.3.1.2.	Osnovno skladište limova, profila i traka .....	24
2.3.1.3.	Pripremno skladište za iskrcaj limova, profila i traka .....	26
2.3.1.4.	Ukupna površina skladišta limova, profila i traka .....	27
2.3.2.	Predobrada limova, profila i traka .....	27
2.3.3.	Radionica obrade limova .....	27
2.3.4.	Radionica obrade profila i traka .....	28
2.3.5.	Radionica podsklopova .....	28
2.3.6.	Radionica ravnih plošnih sekcija .....	29
2.3.7.	Radionica zakrivljenih plošnih sekcija .....	30
3.	SIMULACIJSKI MODEL BRODOGRAĐEVNE RADIONICE .....	31
3.1.	Uvod .....	31
3.2.	Model sklopljene sekcije .....	31
3.3.	Model proizvodnje brodograđevne radionice .....	31
3.3.1.	Skladište limova, profila i traka .....	33
3.3.2.	Linija predobrade limova, profila i traka .....	34
3.3.3.	Skladište predobrađenih limova, profila i traka .....	36
3.3.4.	Radionica obrade limova .....	39
3.3.5.	Radionica obrade profila i traka .....	42
3.3.6.	Međuradionica limova, profila i traka .....	45
3.3.7.	Radionica podsklopova .....	48
3.3.8.	Radionica ravnih plošnih sekcija .....	52
3.3.9.	Radionica zakrivljenih plošnih sekcija .....	55
4.	ANALIZA SIMULACIJSKOG MODELA .....	59
4.1.	Prvi eksperiment – jedan dan proizvodnje .....	60
4.1.1.	Konstantna proizvodnja .....	60
4.1.2.	Održavanje, promjena alata i zastoj u proizvodnji .....	63
4.2.	Drugi eksperiment – mjesec dana proizvodnje .....	66
4.2.1.	Konstantna proizvodnja .....	66
4.2.2.	Održavanje, promjena alata i zastoj u proizvodnji .....	69
4.3.	Treći eksperiment – šest mjeseci proizvodnje .....	71
4.3.1.	Konstantna proizvodnja .....	71
4.3.2.	Održavanje, promjena alata i zastoj u proizvodnji .....	74
4.4.	Četvrti eksperiment – šest mjeseci proizvodnje .....	76
4.4.1.	Konstantna proizvodnja .....	76
4.4.2.	Održavanje, promjena alata i zastoj u proizvodnji .....	79
5.	POBOLJŠANJE PREDLOŽENOG PROJEKTOG RJEŠENJA .....	82
5.1.	Prvi eksperiment – jedan dan reducirane proizvodnje .....	82
5.2.	Drugi eksperiment – mjesec dana reducirane proizvodnje .....	85
5.3.	Treći eksperiment – šest mjeseci reducirane proizvodnje .....	87
5.4.	Četvrti eksperiment – godinu dana reducirane proizvodnje .....	90
6.	USPOREDBA DOBIVENIH REZULTATA .....	93
7.	ZAKLJUČAK .....	97
	PRILOZI .....	100

## POPIS SLIKA

Slika 1. Osnovna podjela matematičkih modela .....	3
Slika 2. Kontinuirano vrijeme i stanje sustava .....	7
Slika 3. Diskretno vrijeme i stanje sustava .....	8
Slika 4. Simulacija proizvodnog sustava.....	12
Slika 5. Stvaranje simulacije .....	13
Slika 6. Funkcija raspodjele i gustoće vjerojatnosti kontinuirane slučajne varijable $S$ .....	17
Slika 7. Definiranje proizvodnog programa - sklopljena sekcija .....	19
Slika 8. Opća shema tehnološkog projektiranja .....	20
Slika 9. Shema rasčlane sklopljene sekcije .....	31
Slika 10. Simulacijski model brodograđevne radionice.....	32
Slika 11. Model skladišta limova .....	33
Slika 12. Model skladišta profila/traka .....	33
Slika 13. Linija predobrade limova, profila i traka .....	35
Slika 14. Skladište predobrađenih limova.....	37
Slika 15. Skladište predobrađenih profila i traka .....	38
Slika 16. Radionica obrade limova - rezanje.....	40
Slika 17. Radionica obrade limova – savijanje .....	41
Slika 18. Radionica obrade profila i traka , .....	44
Slika 19. Međuradionica – transport limova .....	46
Slika 20. Međuradionica – transport profila i traka .....	47
Slika 21. Radionica podsklopova .....	48
Slika 22. Prvi takt radionice podsklopova.....	50
Slika 23. Drugi takt radionice podsklopova .....	50
Slika 24. Treći takt radionice podsklopova .....	51
Slika 25. Četvrti takt radionice podsklopova .....	51
Slika 26. Peti takt radionice podsklopova .....	51
Slika 27. Radionica ravnih plošnih sekcija .....	52
Slika 28. Prvi takt radionica ravnih plošnih sekcija .....	54
Slika 29. Drugi takt radionica ravnih plošnih sekcija .....	54
Slika 30. Treći takt radionica ravnih plošnih sekcija .....	54
Slika 31. Četvrti takt radionica ravnih plošnih sekcija.....	54
Slika 32. Radionica zakrivljenih plošnih sekcija .....	55
Slika 33. Prvi takt radionica ravnih plošnih sekcija .....	57
Slika 34. Drugi takt radionica ravnih plošnih sekcija .....	57
Slika 35. Treći takt radionica ravnih plošnih sekcija .....	58
Slika 36. Rezultati analize dnevne proizvodnje .....	62
Slika 37. Rezultati analize dnevne proizvodnje .....	63
Slika 38. Rezultati analize mjesečne proizvodnje.....	66
Slika 39. Rezultati analize mjesečne proizvodnje.....	68
Slika 40. Rezultati analize mjesečne proizvodnje.....	71
Slika 41. Rezultati analize šest mjeseci proizvodnje.....	73
Slika 42. Rezultati analize šest mjeseci proizvodnje.....	76
Slika 43. Rezultati analize šest mjeseci proizvodnje.....	78
Slika 44. Rezultati analize šest mjeseci proizvodnje.....	81
Slika 45. Rezultati analize jednog dana reducirane proizvodnje .....	85
Slika 46. Rezultati analize mjesec dana reducirane proizvodnje .....	87
Slika 47. Rezultati analize šest mjeseci reducirane proizvodnje.....	90



---

Slika 48. Rezultati analize godinu dana reducirane proizvodnje ..... 92

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Režim rada u radionici .....	21
Tablica 2. Vremena obrade profila i traka na liniji za rezanje .....	43
Tablica 3. Specifična vremena i brzine na liniji za rezanje profila i traka .....	43
Tablica 4. Dnevna proizvodnja– konstantna proizvodnja .....	60
Tablica 5. Dnevna proizvodnja – održavanje, promjena alata i zastoje .....	64
Tablica 6. Usporedba proizvodnje radionica - održavanje, promjena alata i zastoje .....	64
Tablica 7. Mjesečna proizvodnja – konstantna proizvodnja .....	66
Tablica 8. Mjesečna proizvodnja – održavanje, promjena alata i zastoje .....	69
Tablica 9. Usporedba proizvodnje radionica - održavanje, promjena alata i zastoje .....	69
Tablica 10. Šest mjeseci proizvodnje – konstantna proizvodnja .....	71
Tablica 11. Šest mjeseci proizvodnje – održavanje, promjena alata i zastoje .....	74
Tablica 12. Usporedba proizvodnje radionica - održavanje, promjena alata i zastoje .....	74
Tablica 13. Godinu dana proizvodnje – konstantna proizvodnja .....	76
Tablica 14. Godinu dana proizvodnje – održavanje, promjena alata i zastoje .....	79
Tablica 15. Usporedba proizvodnje radionica - održavanje, promjena alata i zastoje .....	79
Tablica 16. Dnevna proizvodnja – reducirana proizvodnja .....	82
Tablica 17. Usporedba proizvodnje radionica – reducirana dnevna proizvodnja .....	83
Tablica 18. Mjesečna proizvodnja – reducirana proizvodnja .....	85
Tablica 19. Usporedba proizvodnje radionica – reducirana mjesečna proizvodnja .....	85
Tablica 20. Šest mjeseci proizvodnje – reducirana proizvodnja .....	87
Tablica 21. Usporedba proizvodnje radionica – šest mjeseci reducirane proizvodnje .....	88
Tablica 20. Godinu dana proizvodnje – reducirana proizvodnja .....	90
Tablica 21. Usporedba proizvodnje radionica – godinu dana reducirane proizvodnje .....	90

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

LIST BROJ 1 SKLADIŠTE ČELIKA, PREDOBRAĐA I BROROGRADJEVNA  
RADIONICA ZA IZRADU PODSKLOPOVA I SEKCIJA

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$A$	$m^2$	ukupna površina skladišta limova, profila i traka
$A_L$	$m^2$	površina koju zauzima jedan lim
$A_P$	$m^2$	površina koju zauzima jedan profil i traka
$A_{L1}$	$m^2$	površina skladišta za iskrcaj limova
$A_{L2}$	$m^2$	površina osnovnog skladišta za limove
$A_{L3}$	$m^2$	površina pripremnog skladišta limova
$A_{P1}$	$m^2$	površina skladišta za iskrcaj profila i traka
$A_{P2}$	$m^2$	površina osnovnog skladišta profila i traka
$A_{P3}$	$m^2$	površina pripremnog skladišta profila i traka
$\alpha$	%	maseni udio u limovima
$B_L$	m	širina lima
$B_P$	m	širina profila i traka
$C_x$	-	koeficijent varijance
$D_k$	dan	broj dana u godini
$D_o$	m	potrebne dimenzije objekta
$D_p$	dan	broj praznika u godini
$D_{SN}$	dan	broj subota i nedjelja u godini
$d_L$	m	debljina lima
$d_P$	m	debljina profila i traka
$E[N^n]$	-	n-ti moment diskretne slučajne varijable
$E[S^n]$	-	n-ti moment kontinuirane slučajne varijable
$F(x)$	-	funkcija statističke raspodjele kontinuirane slučajne varijable
$F_e$	h/god	efektivni fond vremena
$F_n$	h/god	nominalni fond vremena
$F_v$	-	fond vremena godišnje
$f(x)$	-	funkcija gustoće vjerojatnosti kontinuirane slučajne varijable
$f_{L1}$	$t/m^2$	dozvoljeno opterećenje limova na skladištu za iskrcaj
$f_{L2}$	$t/m^2$	dozvoljeno opterećenje limova na osnovnom skladištu
$f_{L3}$	$t/m^2$	dozvoljeno opterećenje limova na pripremnom skladištu
$f_{P1}$	$t/m^2$	dozvoljeno opterećenje profila i traka na skladištu za iskrcaj
$f_{P2}$	$t/m^2$	dozvoljeno opterećenje profila i traka na osnovnom skladištu
$f_{P3}$	$t/m^2$	dozvoljeno opterećenje profila i traka na pripremnom skladištu
$k_i$	-	koeficijent iskorištenja fonda vremena
$k_{L1}$	-	iskoristivost površine za limove na skladištu za iskrcaj
$k_{L2}$	-	iskoristivost površine za limove na osnovnom skladištu

$k_{L3}$	-	iskoristivost površine za limove na pripremnom skladištu
$k_{P1}$	-	iskoristivost površine za profile i trake na skladištu za iskreaj
$k_{P2}$	-	iskoristivost površine za profile i trake na osnovnom skladištu
$k_{P3}$	-	iskoristivost površine za profile i trake na pripremnom skladištu
$L_L$	m	duljina lima
$L_P$	m	duljina profila i traka
$m_L$	tCM	masa lima
$m_P$	tCM	masa jednoga profila ili trake
$N$	-	diskretna slučajna varijabla
$N_h$	h	broj radnih sati u danu za dvije smjene
$N_L$	kom	broj komada limova prema dozvoljenom opterećenju
$N_o$	-	proračunata potrebna količina opreme za rad
$N_P$	kom	broj komada profila i traka prema dozvoljenom opterećenju
$O_r$	-	opseg rada godišnje
$P_o$	m <sup>2</sup>	potrebna površina objekta
$P_p$	-	proizvodni program
$p_i$	-	vjerojatnost da slučajna varijabla poprimi određenu vrijednost
$RD$	dan	broj radnih dana
$RPS$	-	ravna plošna sekcija
$R_r$	h/god	režim rada
$S$	-	dužina vremena obrade ulaznih jedinica
$\sigma$	-	standardna devijacija
$T$	min	vrijeme dolaska ulaznih jedinica
$TP$	-	tehnološki projekt: radionice, radne površine, proizvodne linije
$T_p$	-	tehnološki proces
$VAR[S]$	-	varijanca kontinuirane slučajne varijable
$VAR[N]$	-	varijanca diskretne slučajne varijable
$ZPS$	-	zakrivljena plošna sekcija
$Q$	tCM	ukupna količina materijala godišnje
$Q_d$	tCM	doprema materijala u određenima vremenskim intervalima
$Q_{dp}$	tCM	količina dnevne pripreme materijala
$Q_p$	tCM	godišnji obim proizvodnje
$Q_s$	tCM	pričuva na osnovnom skladištu
$q_s$	tCM	stalna pričuva na osnovnom skladištu
$q_p$	t/h	specifični obim proizvodnje
$x_i$	-	vrijednost koju slučajna varijabla poprima
$\rho_{\epsilon}$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća čelika

## SAŽETAK

U ovome radu razmatra se metodologija i primjena računalnih simulacijskih sustava temeljenih na metodi diskretnih događaja u svrhu analize i upravljanja tehnološkim procesima brodograđevne radionice. Primarni cilj je prijedlog sveobuhvatne metodologije tehnološkog projektiranja koja formulira, usmjerava te poboljšava nastojanja modeliranja jednog složenog proizvodnog sustava, omogućavajući integriranje strategijskog i taktičkog odlučivanja u proizvodnji. Pristup teži oponašanju i strukture i odziva stvarnih sustava, omogućavajući planiranje i upravljanje proizvodnjom.

Uvodni dio rada opisuje značaj simulacije i simulacijskog modeliranja s ciljem preglednog prikazivanja osnovne ideje i njegove mogućnosti. Odabran je pristup u kojem se ukratko opisuju raspoložive metode simulacijskog modeliranja, a zatim se odabire jedna od metoda koja se razrađuje te se opisuje njeno funkcioniranje na karakterističnom primjeru.

Drugo poglavlje prikazuje klasično tehnološko projektiranje i analizu proizvodnje referentne brodograđevne radionice. Treće poglavlje opisuje primjer simulacijskog modeliranja proizvodnih procesa brodograđevne radionice i proizvodnje u računalnom programu „Tehnomatix Plant Simulation 12“. U četvrtom poglavlju navedeni su izlazni rezultati četiriju simulacijskih modela uz odgovarajuće tablične i grafičke prikaze. Temljem zaključaka, predložene su i smjernice za daljnje eksperimentiranje u svrhu poboljšanja brodograđevnog proizvodnog procesa.

Ključne riječi: Tehnologija izrade i predmontaže sekcije  
Brodograđevni proizvodni proces u radionici  
Simulacijsko modeliranje brodograđevne radionice

## **SUMMARY**

Methodology of the process and application of computer simulation systems based on discrete events method inside of a shipbuilding workshop are considered in this thesis. The process of creating section consisting of girder, panel section and girder section is discussed. The primary objective of the proposal is a comprehensive design methodology that forms, directs and improves the modeling efforts of the production system, as well as increasing the possibility of prediction and integration of strategic and time tactical decision making. This kind of approach imitates structure and system process which is consistent with production planning and production itself.

The introductory section describes the importance of simulation and simulation modeling with the objective review of displaying basic idea and its possibilities. Approach which briefly describes the available methods of simulation modeling is selected, and then one of the method is elaborate in detail on a typical example. The second chapter presents an analysis of the production program referring to a shipbuilding workshop. The third chapter covers and describes the example of simulation, modelling, shipbuilding and production workshops in computer program "Tehnomatix Plant Simulation 12". The fourth chapter consists of listed results of four simulation models with appropriate tables and graphical displays. Based on given conclusion, new guidelines are proposed. The essential conclusions are proposed for further experimentation to optimize shipyard production process design.

Key words: Section manufacturing and preassembly  
Shipyard production process  
Simulation modeling in shipyard workshop

## 1. UVOD

Suvremena brodogradilišta ulažu značajne napore za učinkovitim upravljanjem tehnološkom, pomoćnom i transportnom opremom, radnicima, površinama, proizvodnim linijama, kao nužnim preduvjetom preživljavanja i održavanja konkurentnosti na zahtjevnom brodograđevnom tržištu. Racionalna brodogradilišta teže optimalnom korištenju postojećih resursa i sredstava te se nužno moraju nositi sa zadatkom modernog tehnološkog projektiranja u svrhu uvođenja novih tehnologija u nove ili postojeće proizvodne procese, s ciljem kvantitativnog, kvalitativnog i vremenski pravovremenog ostvarenja planova proizvodnje i to unutar zadanih granica troškova .

Upotrebom simulacijskog modeliranja povezanog s metodama optimizacije (uz odgovarajuću tehnologiju 3D vizualizacije) omogućeno je ostvarenje veće efikasnosti proizvodnje, smanjenje troškova, skraćenje vremena proizvodnje, smanjenje rokova isporuke, minimiziranje neiskorištenog vremena te transparentan (dinamički) pregled proizvodnje. Analizom znanstvenih i stručnih radova u predmetnom području može se zaključiti kako je metodologija simulacije proizvodnih procesa temeljena na metodi diskretnih događaja dovoljno pouzdan alat za primjenu u suvremenim brodograđevnim proizvodnim procesima.

Pri realizaciji projekta gradnje plovnog objekta, a s ciljem eliminiranja neefikasnoga rada i neodgovarajućih proizvodnih procesa za vrijeme kretanja materijala kroz proizvodnju, potrebno je organizirati proizvodnju s naglaskom na planiranje radnih aktivnosti, efikasno korištenje kapaciteta i uravnoteženost opterećenja (proizvodnje i logistike). Rezultat takvog pristupa tehnologiji gradnje plovnog objekta povećanje je ekonomske koristi poduzeća.

### 1.1. Osnovni pojmovi u simulacijskim sustavima

U uvodnom dijelu ne namjeravamo detaljno upoznati čitatelja s metodologijom i alatima simulacijskog modeliranja, što bi uostalom bio i prevelik zadatak, jer to nije tema ovog rada. Ova problematika opsežno se obrađuje u zasebnoj literaturi. Cilj je pružiti čitatelju pregledan uvid u najosnovnije pojmove i osnovne ideje simulacijskog modeliranja.

#### 1.1.1. Proizvodni sustav

Proizvodni sustav je dio stvarnog svijeta koji promatramo. Sastoji se od dijelova koji se nazivaju podsustavi, koji su međusobno odijeljeni fizičkim ili logičkim granicama. Podsustavi su međusobno povezani točno definiranim vezama.



Proizvodni sustav je skup osnovnih tehnoloških sustava uređenih tako da osiguravaju postizanje funkcije projektnih ciljeva. Pomoću odgovarajućih veza podsustavi međusobno mogu djelovati jedan na drugoga tako da svi zajedno djeluju kao cjelina, te on mora izvršavati svoju funkciju, odnosno osiguravanje kontinuirane proizvodnje.

Svaki podsustav može opet predstavljati sustav za sebe. Sustav je dakle hijerarhijska struktura građena od podsustava i veza između njih. Proces rada proizvodnog sustava je proizvodni proces koji predstavlja skup aktivnosti neophodnih za izvršavanje postupka promjene ulaznih i izlaznih veličina proizvodnog sustava.

### **1.1.2. Stanje proizvodnog sustava**

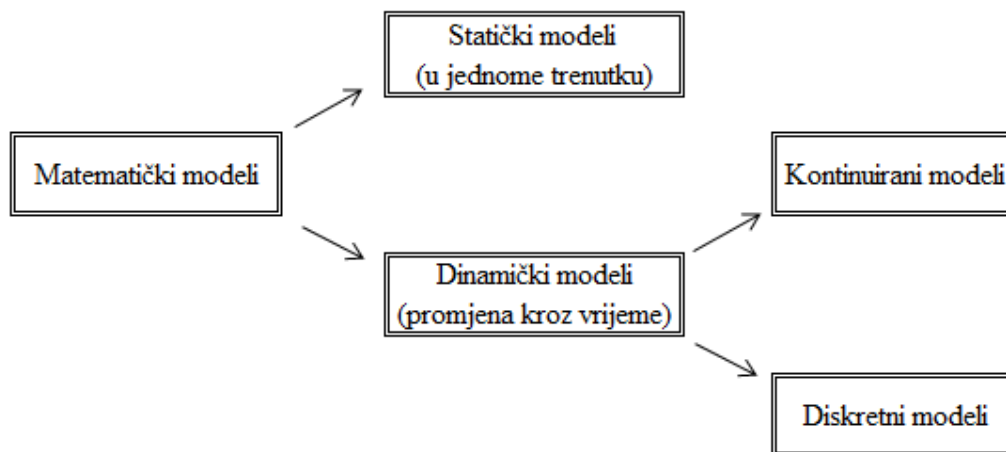
U svakom vremenskom trenutku sustav se nalazi u nekom stanju. Ukupno stanje sustava određeno je stanjima svih njegovih podsustava. Kao što sustavu odgovara model, tako i stanju sustava odgovara stanje modela. Stvarnim promjenama stanja sustava odgovaraju promjene stanja modela tijekom simulacije.

### **1.1.3. Model**

Model je sredstvo kojim predstavljamo neki stvarni sustav, a zadaje se simulacijskim jezikom kako bi se omogućilo njegovo daljnje proučavanje i eksperimentiranje. Model ne prikazuje sve, nego samo najbitnije dijelove sustava. To znači da model opisuje sustav samo s određenom razinom točnosti. Stanje sustava u modelu je predstavljeno vrijednostima varijabli stanja. Stvarni sustav je više manje izdvojeni dio stvarnoga svijeta koji čini funkcionalnu cjelinu. Stvarnim sustavom smatramo i nešto što u stvarnosti ne postoji, nego je zamišljeno (planirano) za izgradnju u budućnosti. Prema strukturi, modeli su fizički (manja ili veća fizička kopija sustava) i simbolički (apstraktni).

Simulacijski modeli temelje se na matematičkim modelima koji su prikazi stvarnog sustava zapisani u obliku algebarskih (statički modeli), diferencijalnih ili parcijalnih diferencijalnih jednadžbi (dinamički modeli) često i uz primjenu teorije vjerojatnosti. Opis i rješenje modela je analitičkom u obliku. Takav oblik modeliranja je analitičko modeliranje, gdje su funkcijske veze zavisne o nezavisnim varijablama. Modeli se dijele prema ponašanju u vremenu na statičke i dinamičke modele, [Slika 1]. U ovome radu proučavaju se apstraktni modeli. Zovu se tako jer su pojedine varijable tih modela prikazane brojčanim vrijednostima, dakle apstraktnim pojmovima. Dinamički model predstavlja sustav koji se mijenja tijekom vremena i upravo te promjene želimo ispitivati simulacijom na računalu.

Prema vrsti varijabli modeli se dijele na determinističke i stohastičke (izvjesnost/neizvjesnost rezultata), dok se prema načinu na koji se mijenja stanje modela, razlikuju se modeli diskretnih događaja i modeli kontinuiranih događaja.



**Slika 1. Osnovna podjela matematičkih modela**

Kako se složeni dinamički problem teško može zapisati u analitičkom obliku, modeli se zadaju simulacijskim jezikom kojim se prikazuje način rada sustava. Problem se rješava numerički, provođenjem eksperimenata modelom koji oponaša razvoj sustava u vremenu, odnosno pronalaženjem parova vrijednosti zavisnih i nezavisnih varijabli koji zadovoljavaju zadane jednadžbe modela.

#### **1.1.4. Varijable stanja**

Varijable stanja su varijable u modelu. Njihove vrijednosti predstavljaju veličine iz stvarnog sustava, a promjene predstavljaju promjenu stanja sustava.

#### **1.1.5. Modeliranje**

Modeliranje je postupak opisivanja modela nekim simulacijskim jezikom. Pritom se stvarni sustav prikazuje na način koji je omogućen simulacijskim jezikom. Za različite vrste sustava postoje različiti jezici.

Za izradu modela potrebno je iskustvo, sustavnost, način razmišljanja, pažljiv rad i temeljno provjeravanje funkcionalnosti modela. Stoga je modeliranje prije svega umijeće, a ne znanost. Treba voditi računa da model nije previše složen i detaljan, nego treba opisati relevantne značajke sustava. Model prevelike složenosti bilo bi gotovo nemoguće vrednovati i razumjeti, što znači da su njegov razvoj i upotreba nepraktični i neizvjesne kvalitete.

Također model ne smije biti ni trivijalno pojednostavljen, nastao npr. izbacivanjem velikog broja značajnih varijabli potrebnih za opis sustava. Model je potrebno racionalno rastaviti na više dobro definiranih komponenti s točno određenom funkcijom koju je lakše izgraditi i provjeriti. Ključni koraci u procesu modeliranja:

- razvoj dobro definiranog skupa ciljeva koje treba ispuniti procesom modeliranja,
- planiranje procesa modeliranja i načina kako će model biti potvrđen (obzirom na svrhu za koju će se koristiti),
- prikupljanje i analiziranje valjanosti podataka potrebnih za model,
- matematičko definiranje modela tako da su opisane temeljne značajke sustava iz stvarnog svijeta (profinjenje razine detaljnosti modela može doći u kasnijoj fazi),
- testiranje i analiza racionalnosti rezultata numeričkog eksperimenta,
- dokumentacija rezultata numeričkog eksperimenta.

#### **1.1.6. Verifikacija**

Provjera modela (*engl. verification*) je postupak kojim se provjerava ponaša li se model onako kako je zamišljeno. Provjera se provodi npr. prethodnim izračunavanjem očekivanog stanja modela i zatim simuliranjem. Ako se izračunati rezultati ne podudaraju s rezultatima dobivenim simuliranjem, znači da model nije ispravan.

#### **1.1.7. Validacija**

Verifikacija ispituje je li računalni model pomoću kojeg će se realizirati simulacija ispravan u odnosu na konceptualni model, dok vrednovanje (*engl. validation*) modela ispituje dali je model ispravan u odnosu na stvarni sustav. Validacija se provodi tako da se kao ulaz simuliranog modela koriste ulazne varijable iz realnog sustava za koje su poznate izlazne varijable. Ima za cilj eliminirati različite vrste grešaka modela kao što su greške u logici modela, matematičkim odnosima, programu, ulaznim podacima, načinu upotrebe modela, obradi i interpretaciji rezultata simulacijskih eksperimenata.

#### **1.1.8. Simulacija**

Simulacija je numerička eksperimentalna metoda koja se provodi na modelu sustava. Izvođenjem simulacije može se pratiti ponašanje modela iz čega se može zaključiti kakvo bi bilo ponašanje stvarnog sustava. Treba reći da simulacija, kao eksperimentalna metoda, ne

mora dovesti do optimalnog rješenja. Kod provođenja simulacijskih eksperimenata možemo odabrati najpovoljnije rješenje između onih koje smo simulacijom ispitali.

### **1.1.9. Simulirano vrijeme**

Vrijeme u stvarnom sustavu reprezentirano je i u modelu. Promjene stanja sustava kao i promjene stanja modela odvijaju se u vremenu. Pri tome treba razlikovati simulirano vrijeme od stvarnog vremena. Simulirano vrijeme je vrijeme koje opisuje protjecanje vremena u stvarnom sustavu i ono nema veze s trajanjem simulacijskog eksperimenta (stvarnim vremenom). Za promatranje dinamike sustava važno nam je simulirano vrijeme. Budući da simulator nije ništa drugo nego običan program za računalo, on se odvija u nekom stvarnom vremenu. Ovo stvarno vrijeme je za nas važno jedino kao podatak o brzini simulatora.

## **1.2. Simulacijsko modeliranje**

Izraz simulacija proizilazi od latinske riječi „simulare“ što znači „oponašati“, koji je u suštini i glavni cilj izvođenja simulacije.

Simulacija je eksperimentalna metoda koja omogućuje proučavanje virtualnog ili stvarnog procesa pomoću njegovog modela na računalu, te time postaje snažno sredstvo za analizu i projektiranje proizvodnog sustava. Ova metoda se može upotrebljavati u najrazličitijim granama znanosti - od društvenih i prirodnih, pa sve do tehničkih.

Osnovni koncept je sljedeći: stvarni sustav (postojeći ili još nepostojeći) je dinamički sustav tj. sustav koji se mijenja u vremenu i opisuje se modelom. To su modeli koji se ne mogu opisati ni rješavati direktno matematičkim tehnikama. Stanje sustava predstavljeno je stanjem modela koje je određeno varijablama stanja. Model reprezentira sustav sa željenom razinom aproksimacije. Izrada modela naziva se modeliranje, a model se zadaje simulacijskim jezikom.

Nakon što je izrađen model, pristupa se samom simuliranju koje se odvija izvođenjem posebnog programa - simulatora - na računalu. Rad simulatora je upravljan modelom. Izvođenjem simulacije dobivaju se različiti podaci koji se mogu upotrijebiti u razne svrhe.

Zaključujemo dakle da simulacijski modeli moraju omogućiti ispravan prikaz i efikasno izvođenje promatranih procesa tijekom simulacijskog vremena.

Također je važna mogućnost odvijanja istovremenih aktivnosti tijekom simulacijskog procesa. Simulacija se primjenjuje:

- ukoliko se istražuju nova znanstvena područja tamo gdje nema dovoljno teorijskih saznanja o fizičkim procesima i pojavama,
- zbog složenosti problema nemoguće je primijeniti matematičke modele,
- eksperimenti na stvarnim sustavima su skupi i vremenski dugotrajni
- ako još uvijek ne postoji stvarni sustav,
- zbog postojanja slučajnih varijabli,
- zbog upravljanja radom sustava u proizvodnim procesima.

### **1.2.1. Prednosti i nedostaci simulacije**

Prednosti:

- opis i rješavanje složenih, dinamičkih problema sa slučajnim varijablama koji nisu dostupni matematičkom modeliranju,
- rješavanje problema koji se pojavljuju kod odlučivanja (izbor alternativa, predviđanje, oblikovanje),
- uvjeti eksperimentiranja su pod kontrolom za razliku od eksperimenata sa stvarnim sustavom gdje nije moguće utjecati primjerice na dinamiku stizanja limova i profila,
- simulacija olakšava vrednovanje logike i dinamike rada,
- dolazi se do zaključaka bez smetnji rada stvarnog sustava,
- ne trebaju se kupovati dodatni stvarni resursi,
- vrijeme se može sažeti ili rastegnuti ovisno o potrebi,
- moguće je pronalaženje i analiza kritičnih točaka sustava prije nego one dođu do izražaja u stvarnom sustavu.

Nedostaci:

- zbog statističkog karaktera simulacije potrebno je izvođenje većeg broja simulacijskih eksperimenata kako bi se dobio odgovarajući uzorak rezultata simulacije,
- modeliranje sustava zahtjeva specifično znanje i trening,
- ne dobivanje ovisnosti izlaznih varijabli o ulaznim varijablama modela, dobivanje optimalnog rješenja zahtjeva izvođenje niza simulacija s različitim ulaznim varijablama (teorija pokusa),
- za ispravno korištenje simulacijskog modeliranja potrebno je poznavanje više metoda i alata,
- vrednovanje modela je složeno i zahtjeva dodatne eksperimente.

Umjetnost simulacijskog modeliranja zahtjeva usklađenost između stupnja apstraktnosti, vjerodostojnosti i točnosti između modela i stvarnosti. Stupanj apstraktnosti opisuje vanjski izgled modela, gdje se njegovim povećanjem utječe na smanjenje razine stvarne bliskosti u modelu. Pored toga, povećanje stupnja apstraktnosti ujedno znači i povećanje točnosti modela.

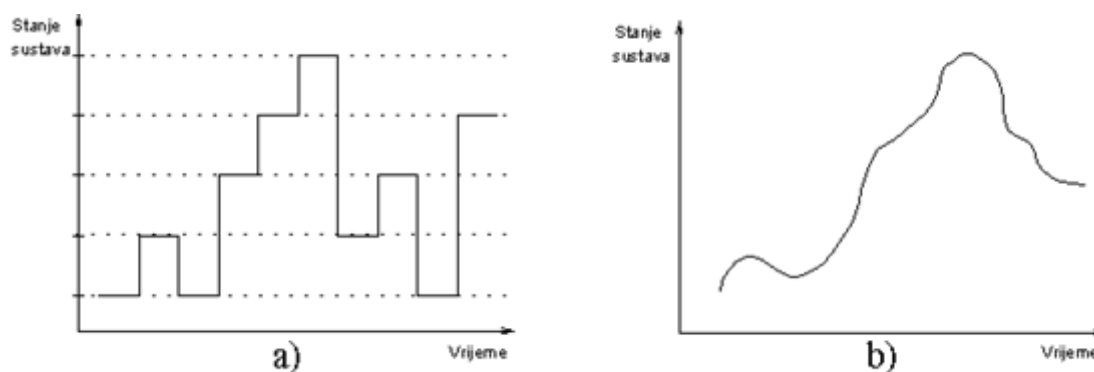
### 1.3. Podjela simulacijskih postupaka

Simulacija se može podijeliti prema različitim kriterijima. Ovdje će biti navedena samo vremenski kontinuirana i vremenski diskretna simulacija.

#### 1.3.1. Kontinuirana simulacija

Kod kontinuiranog vremena stanje sustava je određeno u svim trenucima, odnosno varijable se mijenjaju neprekidno u odnosu na vrijeme [Slika 2 a) i b)].

Primjer je kretanje dizalice čiji se položaj i brzina i ubrzanje mijenjaju kontinuirano u vremenu, pri čemu se kontinuirane veličine dobiju aproksimacijom brojeva od konačno mnogo znamenki. Tada se pod kontinuiranom simulacijom misli na vremenski kontinuiranu simulaciju s kontinuiranim varijablama stanja.



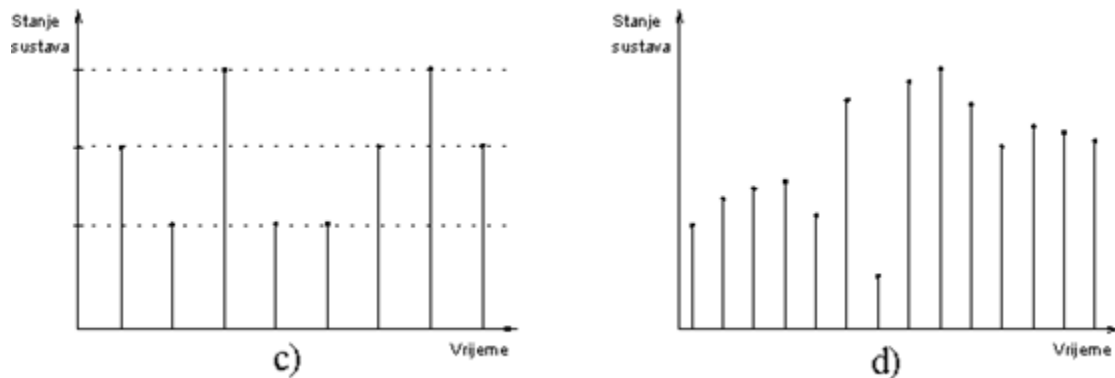
Slika 2. Kontinuirano vrijeme i stanje sustava

#### 1.3.2. Simulacija diskretnim događajima

Pod diskretnom simulacijom se misli na vremenski diskretnu simulaciju s diskretnim varijablama stanja. Takva simulacija omogućuje detaljan prikaz stvarnog sustava uz upotrebu stohastičkih varijabli. Kod diskretnog vremena stanje sustava određeno je samo u nekim trenucima (vremenskim točkama), pri čemu se takve pojave nazivaju događaji i oni mogu biti

međusobno jednoliko ili različito udaljeni. Promjena varijabli stanja odvija se skokovito u odvojenim vremenskim točkama [Slika 3 c) i d)].

Tako npr. ako imamo odgovarajući broj elemenata broskog trupa na međuskladištu, taj se broj može mijenjati samo u trenutku dolaska elemenata na međuskladište i u trenutku početka opsluživanja dizalicama s međuskladišta elemenata.



**Slika 3. Diskretno vrijeme i stanje sustava**

Simulacijom diskretnih događaja dobiva se najbolji opis događaja iz realnog svijeta. Ta simulacija spada pod vjerojatnosnu simulaciju kod koje se ulazni parametri mogu dobro opisati funkcijama raspodjele vjerojatnosti te na osnovi njih upotrijebiti algoritme koji generiraju slučajne vrijednosti. Osnovne komponente od kojih se sastoje sve simulacije diskretnih događaja su:

- entiteti i atributi,
- proces, aktivnosti i događaji,
- skupovi i klase entiteta,
- kalendar i vrijeme,
- sredstva,
- globalne varijable,
- generator slučajnih varijabli,

#### 1.3.2.1. Entiteti i atributi

Entiteti su komponente sustava kojeg modeliramo, i koje uzrokuju promjene u stanju simulacije. Bez njih se ništa ne bi događalo. Imamo:

- privremene entitete (prolaze kroz sustav, npr. limovi i profili),

- stalne entitete (ostaju u modelu tijekom trajanja simulacije npr. stroj za savijanje limova).

Logičke veze povezuju različite tipove entiteta (npr. entitet „lim“ obrađuje entitet „stroj za rezanje, savijanje“). Entiteti imaju svoje jedinstvene karakteristike, tj. attribute koji opisuju svojstva entiteta i važni su za razumijevanje izvedbe i funkcije entiteta u simulaciji (npr. određite limova i profila, brzina rezanja plazma stroja itd.). Stoga, atributi i entiteti definiraju stanje i promjenu sustava. Promjene stanja su posljedica međudjelovanja među objektima sustava (npr. ako stroj napravi obradu na materijalu, obrada materijala je završena i njegovo stanje se mijenja).

#### 1.3.2.2. *Proces, aktivnost i događaj*

Aktivnosti su procesi i logika unutar simulacije - proces definiran vremenom početka i završetka (npr. proces rezanja limova u kojem imamo međudjelovanje radnik, operater, glava za rezanje i dizalica za preuzimanje obrađenog lima, uključujući i radnika dizaličara).

Početak aktivnosti je vezan za neke uvjete (npr. ako je završena obrada prethodnog lima, može početi obrada sljedećeg lima), dok je završetak aktivnosti vezan uz vrijeme trajanja te aktivnosti (po isteku tog vremena aktivnost završava).

Događaji su uvjeti koji se pojavljuju u određenom vremenskom trenutku i uzrokuju promjene u sustavu. Događaj kreiraju entiteti u interakciji s aktivnostima:

- zbog ulaska i izlaska entiteta u sustavu (npr. ako dođe još pet profila za ručno rezanje),
- zbog promjene vrijednosti atributa (npr. ako se promjeni brzina kretanja dizalica, brzina zavarivanja itd.).

Tri su osnovne vrste aktivnosti:

- odgoda (*delay*),
- rep (red čekanja),
- logika.

Odgoda je aktivnost u kojoj je izvršenje entiteta odgođeno za točno određeni vremenski period, odnosno odgađanje nekih budućih događaja koje ima unaprijed nepoznato trajanje (npr. odgoda transporta limova i profila ako imamo dovoljnu zalihu na međuskladištu).

Rep je aktivnost u simulaciji u kojoj entitet mora čekati neodređeni vremenski period (npr. limovi i profili na međuskladištu).

Logika omogućava entitetu da utječe na stanja sustava kroz upravljanje varijablama ili logikom odlučivanja.



Događaji mogu biti:

- uvjetni (događaju se tek kada je ispunjen neki uvjet, npr. vezan je za dostupnost nekog resursa za odvijanje procesa proizvodnje kao dodatni materijal za zavarivanje, energetika, dolazak radnika temeljem radnog naloga o izvršenju posla itd.),
- bezuvjetni, odnosno planirani koji se odvijaju nakon protoka određenog vremena (npr. automatizirana linija za proizvodnju podsklopova).

#### 1.3.2.3. Skupovi i klase entiteta

Skupovi entiteta su grupe entiteta istog tipa npr., broj limova i profila na međuskладиštu, broj limova i profila na liniji za izradu ravnih plošnih sekcija.

Klase entiteta su grupe npr., svi radnici proizvodnog pogona, proizvodna oprema, transportna oprema itd.

#### 1.3.2.4. Kalendar i vrijeme

Kalendar sadrži popis događaja koji se trebaju dogoditi nakon početka simulacije. Ti događaji ovise samo o vremenu, a ne o uvjetima u simulaciji.

Vrijeme je varijabla koja je zajednička svim simulacijskim modelima. Mjeri proteklo vrijeme simulacije (npr. ako je radniku potrebno 5 minuta za ručno rezanje profila, tada se vrijeme događaja mjeri svakih 5 minuta).

#### 1.3.2.5. Sredstva

Sredstva su u simulaciji sve što ima ograničenu vrijednost i kapacitet. To može biti npr. broj ulaznih varijabli, strojevi za obradu, dizalice, međuskладиšta i sl.

#### 1.3.2.6. Globalne varijable

Globalne varijable su zavisne i nezavisne varijable. One se koriste kako bi se pratile vrijednosti svih važnih faktora u simulaciji. Ove su varijable uvijek dostupne čitavom modelu tijekom izvođenja simulacije. Zavisne (izlazne) varijable su vrijednosti koje se dobiju kao rezultat simulacije:

- dužina reda čekanja (broj limova i profila u redu čekanja npr. broj limova na panel liniji),
- vrijeme čekanja u redu (vrijeme koje entitet provede u čekanju),

- iskorištenje resursa (postotak iskorištenja resursa npr. postotak radnog vremena djelatnika u kojem on radi),
- propusnost sustava (broj entiteta koji sustav može obraditi).

Nezavisne varijable su ulazne varijable koje korisnik upisuje u sustav:

- vrijeme između dva uzastopna dolaska entiteta (vrijeme odvijanja pojedinog processa u stvarnosti nije neki fiksni broj, nego se mijenja po nekoj raspodjeli, odnosno distribuciji,
- vrijeme odvijanja pojedinog procesa,
- broj raspoloživih resursa (npr. vrijeme obrade na stroju),
- organizacija čekanja.

#### 1.3.2.7. Generator slučajnih varijabli

Služi generiranju slučajnih vrijednosti između 0 i 1. Te se vrijednosti koriste prilikom kreiranja vjerojatnosnih raspodjela.

### 1.4. Simulacija proizvodnih sustava

S gledišta suvremene brodogradnje simulacijsko modeliranje jedna je od često korištenih metoda za opisivanje, analiziranje i rješavanje složenih proizvodnih procesa i pojava koje se često ne mogu opisati klasičnim pristupom analitičkog matematičkog modeliranja (svi proizvodni procesi u sebi sadrže elemente stohastičkih, nelinearnih ili vremenski promjenjivih značajki).

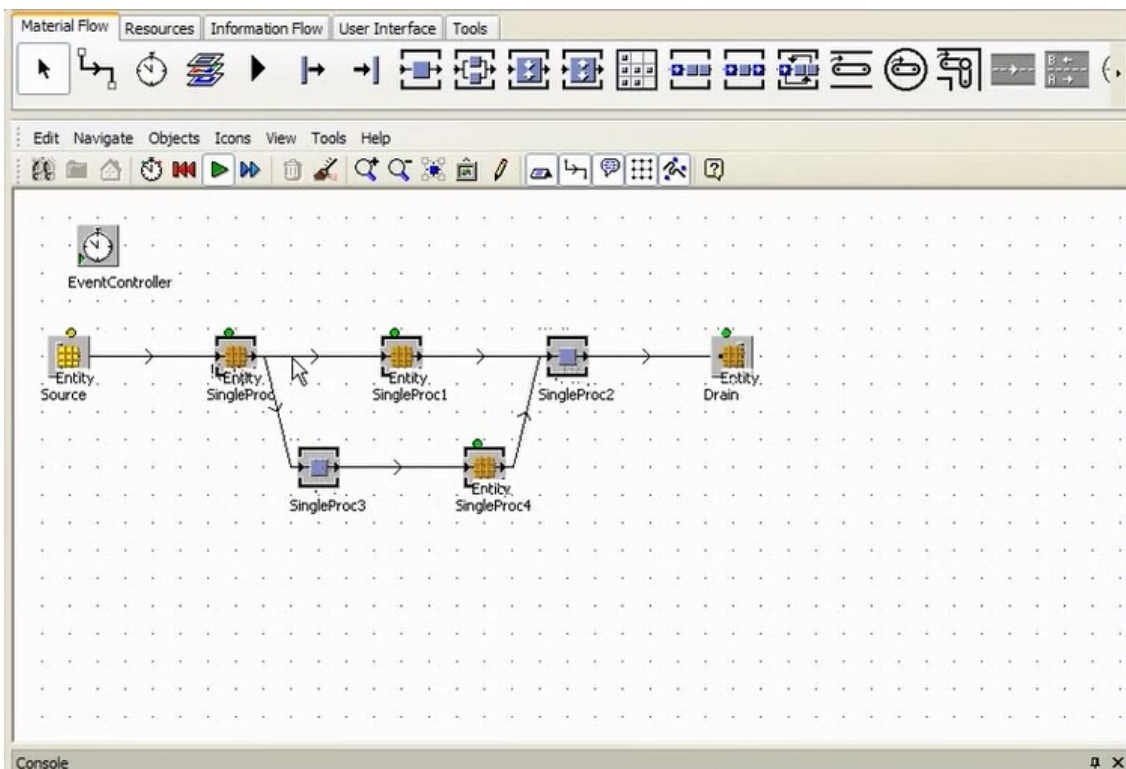
Proizvodnja se odvija s proizvodima različitih namjena i dimenzija koji prolaze kroz isti proizvodni proces i uzrokuju različita opterećenja proizvodne opreme i površina, te je racionalno očekivati prekide u proizvodnji.

Ovi problemi nastoje se rješavati računalnim simulacijskim modelima, gdje matematički modeli ne mogu često dati analitičko rješenje.

Jedna od najčešćih metoda je simulacija diskretnih događaja, a iz područja brodogradnje, to su procesi koji se odvijaju unutar proizvodnih sustava (npr. tokovi materijala, organizacija rada, upravljanje itd.).

Kvaliteta proizvodne simulacije zahtjeva točne, pouzdane, ponovljive i razumljive rezultate, koji ovise i nužno uključuju veliku količinu ulaznih podataka. Rješenje problema

zasniva se na potpunom međudjelovanju koje se odvija između pojedinih jedinica unutar proizvodnog pogona prikazano na [Slika 4].



**Slika 4. Simulacija proizvodnog sustava**

Proizvodna simulacija je racionalno upotrebljiv programski paket koji nudi mogućnost poboljšanja procesa proizvodnje s ciljem pronalaženja najboljeg rješenja brodogradne radionice, usklađen te može pozitivno utjecati na investicijska ulaganja i ključne pokazatelje uspješnosti:

- trošak (minimiziranje troškova proizvodnje),
- vrijeme (optimiranje karakterističnih vremena - rada strojeva, dizalica itd.),
- broj i raspodjela opreme (kako bi se ostvario planirani kapacitet proizvodnog sustava),
- ispitivanje kako smetnje u proizvodnji utječu na kapacitet i stupanj efikasnosti proizvodno-transportne opreme,
- prostor (veličina skladišta, međuskladišta),
- broj radnika (kako bi se ispunila planirana proizvodnja),
- pokazatelj kako se ponaša proizvodni sustav.

Simulacija također omogućuje analizu i prikaz rezultata prije nego se započne odvijati proizvodnja, te optimiranje postojećeg proizvodnog procesa:

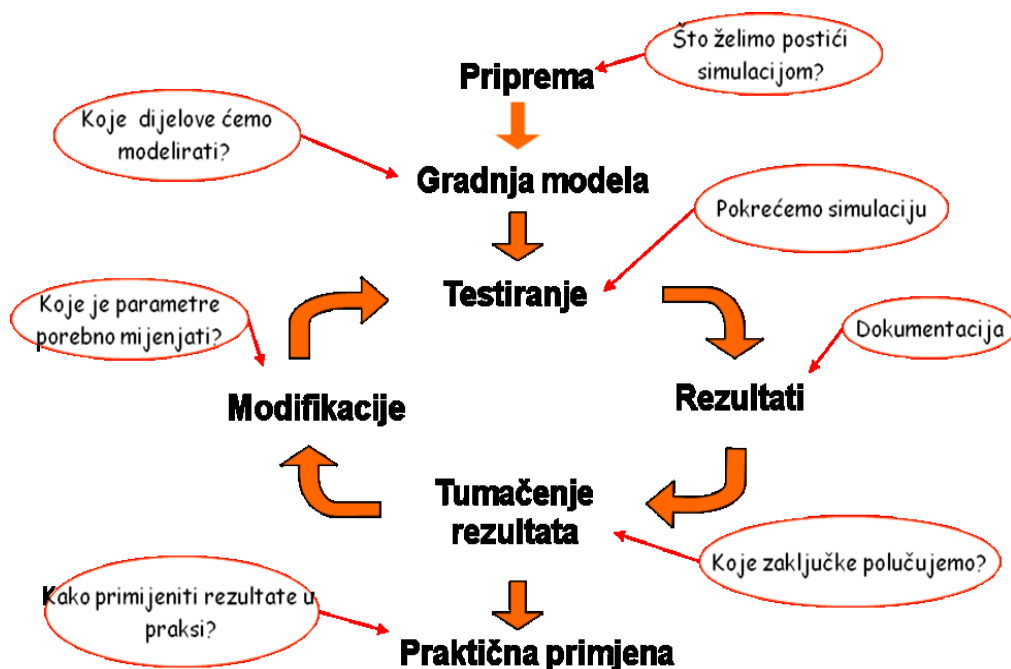
- nova strategija upravljanja proizvodnjom,
- poboljšanje stupnja efikasnosti proizvodno-transportne opreme,
- uklanjanje svakog oblika smetnje u toku proizvodnje na dnevnoj bazi,
- testiranje različitih situacija proizvodne, transportne opreme,
- podučavanje radnika koji će upravljati proizvodnom i transportnom opremom.

#### 1.4.1. Stvaranje simulacijskog sustava

Simulacija proizvodnih sustava provodi se sljedećim koracima:

- priprema,
- gradnja modela,
- testiranje,
- rezultati, tumačenje rezultata, modifikacije,
- praktična primjena.

Schema stvaranja simulacije proizvodnih sustava prikazana je na [Slika 5].



Slika 5. Stvaranje simulacije

### **1.4.2. Priprema**

Priprema podrazumijeva planiranje koncepta modela s početnim vrijednostima, elementima modela, varijablama, logičkim postupkom. Obuhvaća:

- formulaciju problema i uzroka (problem mora biti poznat, jasan i definiran, odnosno što je s postojećim proizvodnim procesom i što se želi unaprijediti),
- definiranje ciljeva simulacije (postaviti jasne ciljeve projekta kao npr. otkrivanje „slabih“ mjesta u stvarnoj proizvodnji, smanjenje trajanja procesa proizvodnje, povećanje efikasnosti proizvodnje, smanjenje potrebne opreme ili radnika, te što se očekuje od novog proizvodnog procesa, niski proizvodni troškovi),
- prikupljanje podataka, (svi tehnički i organizacijski podaci projektnog rješenja za odvijanje proizvodnog procesa).

### **1.4.3. Gradnja modela**

Gradnja modela podrazumijeva stvaranje simulacijskog modela projektiranog brodograđevnog proizvodnog procesa koji adekvatno opisuje sustav i omogućava rješavanje zadanog problema. Osnovni zadaci ove faze su:

- organiziranje i sistematizacija prikupljenih podataka (pregled svih dostupnih podataka i prema potrebi prikupljanje novih),
- definiranje ulaznog proizvodnog asortimana,
- osnivanje simulacijskog modela proizvodnog procesa u diskretnom simulacijskom softveru,
- prikupljanje podataka, odnosno tehnički i organizacijski podaci proizvodnog procesa, npr. struktura proizvodnog pogona koja obuhvaća raspored i vrste strojeva, radne stanice, karakteristike i kapaciteti strojeva, podaci o proizvodnji (količine i vremena), radno vrijeme, razmještaj strojeva, konvejera i skladišta itd.

### **1.4.4. Testiranje**

Testiranje je proces pokretanja simulacije. Nakon što se izgradi simulacijski model potrebno je provjeriti dali sve modelirane komponente funkcioniraju i izvršavaju zadatke za koje su namijenjeni. Kao i svaki proces tako i testiranje treba promatrati s aspekta efikasnosti, te ukoliko je potrebno provesti popravke na simulacijskom modelu kako bi se

otklonile sve nelogičnosti i pogreške u funkcioniranju modela sa svrhom daljnjeg korištenja za potrebe analize i unaprjeđenja procesa.

Bez obzira na to što se testiranje sastoji od vrlo temeljitih priprema, metoda i postupaka ono ipak ima određene rizike. Ti rizici se moraju predvidjeti da bi se postigla što veća pouzdanost i efikasnost. Rizik je stanje koje može rezultirati gubitkom. Cijeli problem u riziku je vjerojatnost da će se gubitak dogoditi. Rizične situacije uvijek postoje iako se gubitak možda nikada neće dogoditi.

Naprimjer uvijek postoji rizik od požara, kvara stroja, ali se požari i kvarovi strojeva rijetko dogode. S obzirom na to da postoji mogućnost od požara i kvara stroja moraju se poduzeti određene preventivne mjere kako bi se smanjila vjerojatnost da do njega dođe. Rizici se ne mogu eliminirati, ali se zato može smanjiti vjerojatnost da se gubitak dogodi.

#### ***1.4.5. Rezultati, tumačenje rezultata, modifikacije***

Osnovni cilj ove faze je vrednovati osnovani simulacijski model predloženog projektnog rješenja, te uvidjeti udovoljava li ono postavljenim ciljevima. U većini slučajeva treba pristupiti analizi projektnog rješenja s ciljem njegova unaprjeđenja zbog toga što se rezultati, koji se dobiju nakon provedbe simulacije, mogu razlikovati od početnih očekivanja i ciljeva. Ujedno je potrebno provesti i odgovarajuću modifikaciju (parametara, podataka). Rezultati se prikazuju tablično i u obliku grafova. Ukoliko vrednovanje rezultata nije uspješno, potrebno se vratiti u fazu gradnje modela.

Rješenje problema primjenom simulacijskog modeliranja ne može biti u analitičkom obliku, u kojem su zavisne varijable funkcije nezavisnih varijabli, već je rješenje simulacijskog modeliranja dobivanje vrijednosti zavisnih varijabli za pojedine nezavisne varijable.

#### ***1.4.6. Praktična primjena***

Nakon završetka simulacijskog procesa potrebno je ažurirati sve značajke modeliranja kako bi se izradila dokumentacija završnog projekta. Dokumentacija daje pregled vremena proizvodnog procesa i obuhvaćenog rada, odnosno sastoji se od prikaza i analize rezultata koji su dobiveni prema zahtjevu projekta. Na temelju dokumentacije mora se moći provesti analiza poboljšanja proizvodnog procesa te implementacija definiranih rješenja u stvarni brodograđevni proizvodni proces s ciljem praćenja stvarne proizvodnje i unaprjeđenja proizvodnog procesa.

## 1.5. Opis i kvantificiranje slučajne varijable

U brodograđevnom proizvodnom procesu uočavaju se nehomogenosti vremena prilikom dolazaka tokova limova i profila, kretanja svih dizalica  $T_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ , kao i vremena opsluživanja  $S_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ , (npr. obrada limova i profila na strojevima za rezanje, oblikovanje svijanjem).

Unutar proizvodnog sustava vrijednosti promatranih veličina ponašaju se kao slučajan proces. Kako bi se opisale takve pojave primjenjuju se statističke metode određivanja vjerojatnosti po kojoj se određuju kako se ona ponašaju.

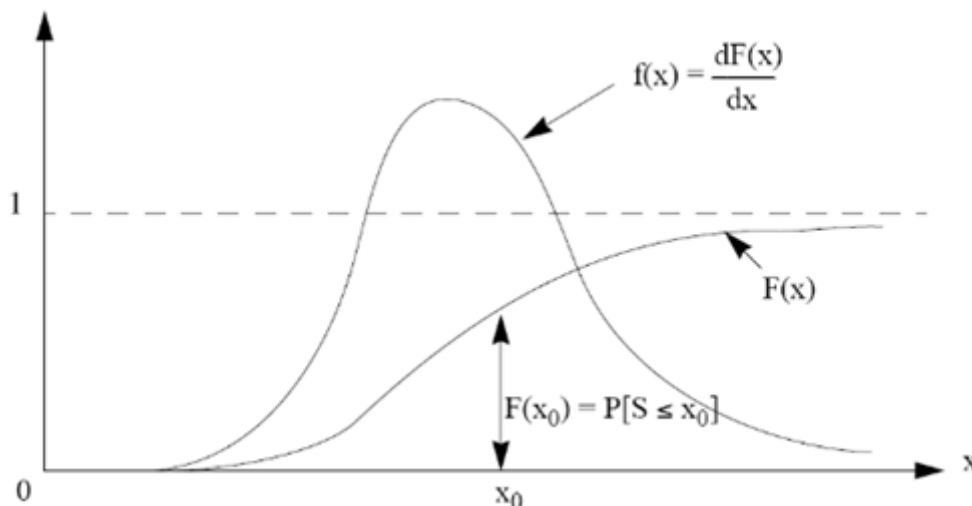
Često se dobivaju empirijski podaci uz pretpostavku da ulazne jedinice (limovi i profili) dolaze pojedinačno ili u grupama identičnih vremenskih intervala između dolaska ulaznih jedinica, pri čemu se proces dolaska opisuje funkcijom raspodjele ili statističkom raspodjelom dolaska veličine grupe.

Vremenski intervali  $\tau_i = T_i - T_{i-1}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ , kao i dužina individualnog ili grupnog vremena obrade  $S_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ , kreiraju slučajne varijable koje su nezavisne i identično raspodijeljene. U tom slučaju veličine  $\tau_i$ ,  $S_i$  mogu se promatrati kao nezavisne realizacije dviju generiranih slučajnih varijabli  $\tau$  i  $S$ .

Ovakve slučajne varijable opisuju se u praksi zadavanjem malog broja empirijskih određenih parametara (npr. srednje vrijednosti i veličine rasipanja). Kako bi se potpuno definirale mora se zadati njihova funkcija raspodjele.  $F_\tau(x) = P[\tau \leq x]$ , odnosno  $F_S(x) = P[S \leq x]$

Izbor prikladne funkcije raspodjele za opis slučajnih promjena neke stvarne veličine provodi se na osnovu statističkih analiza relevantnih podataka kao što su Kolmogorov-Smirnov i Chi-Quadrat test.

Na [Slika 6] je prikazana funkcija kontinuirane raspodjele  $F(x)$  vremena obrade limova i profila  $S_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ . Na osnovu definicije, vrijednost  $F(x)$  na proizvoljnom mjestu  $x_0$ , što predstavlja vjerojatnost za  $x_0$ , tako da je slučajna varijabla u ovom slučaju dužina vremena obrade  $S$  slučajno izabranog lima ili profila manja ili jednaka  $x_0$ .



Slika 6. Funkcija raspodjele i gustoće vjerojatnosti kontinuirane slučajne varijable  $S$

Za opisivanje kontinuiranih slučajnih varijabli  $\tau$  i  $S$  često je korisno umjesto kumulativne funkcije raspodjele  $F(x)$  upotrebljavati prvu derivaciju  $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$ .

Funkcija  $f(x)$  se opisuje kao funkcija gustoće vjerojatnosti odgovarajućih slučajnih varijabli, pri čemu istovjetno funkciji  $F(x)$  u potpunosti definira slučajne varijable. Prema definiciji funkcija gustoće  $f(x)$  je pozitivna funkcija ( $f(x) \geq 0; -\infty < x < \infty$ ) koja zadovoljava uvjet normiranja:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$$

Pri mnogim praktičnim primjenama često se susreću slučajne varijable koje su diskretnog karaktera, odnosno posjeduju skup vrijednosti koje su konačne. Diskretne slučajne varijable  $N$ , čija je funkcija raspodjele  $F(x) = P[N \leq x]$  stepenastog su oblika i ne posjeduju gustoću raspodjele. Njeno definiranje se provodi zadavanjem mogućih vrijednosti  $x_i$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots$ , i njima pripadajućih vjerojatnosti  $p_i$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots$ , pri čemu je  $p_i = P[N = x_i]$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots$ . Veličine  $x_i$  i  $p_i$  predstavljaju veličinu odskoka na funkciji raspodjele  $F(x)$  slučajne varijable.

Od velike praktične važnosti su takozvani momenti funkcije raspodjele, koji predstavljaju skalarne veličine dobivene na osnovu raspodjele te omogućavaju objektivno uspoređivanje različitih raspodjela. Prvi moment, takozvana vrijednost očekivanja kontinuirane slučajne varijable  $S$ , definirana je gustoćom raspodjele  $f(x)$  i prikazana je jednačinom:



$$E[S] = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) dx = 1$$

Identičan izgled prvog momenta za diskretnu slučajnu varijablu  $N$  raspodjele  $\{x_i, p_i, i = 0, 1, 2, \dots\}$  je:

$$E[N] = \sum_i p_i \cdot x_i$$

Općenito  $n$ -ti moment kontinuirane slučajne varijable  $S$  opisan je izrazom:

$$E[S^n] = \int_{-\infty}^{+\infty} x^n \cdot f(x) dx, n = 1, 2, 3, \dots,$$

Odnosno za diskretnu slučajnu varijablu:

$$E[N^n] = \sum_i p_i \cdot x_i^n, n = 1, 2, 3, \dots,$$

Potrebno ja napomenuti da je od velike važnosti za praktičnu upotrebu drugi (centralni) moment, odnosno varijanca raspodjele, te se sa istim označava mjera rasipanja raspodjele oko njezine očekivane vrijednosti. Za kontinualne slučajne varijable varijanca  $S$  je data izrazom:

$$VAR[S] = \sigma^2 = E[(S - E[S])^2] = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - E[S])^2 \cdot f(x) dx = E[S^2] - (E[S])^2$$

odnosno za diskretnu slučajnu varijablu:

$$VAR[N] = \sigma^2 = \sum_i p_i \cdot (x_i - E[N])^2 = E[N^2] - (E[N])^2$$

Drugim korijenom iz varijance dobije se standardna devijacija (odstupanje) raspodjele:

$$\sigma = \sqrt{VAR[S]}$$

odnosno:

$$\sigma = \sqrt{VAR[N]}$$

Ova dva posljednja izraza imaju istu dimenzijsku veličinu kao i vrijednost očekivanja. Na osnovu očekivanja i varijance dobije se varijacijski koeficijent:

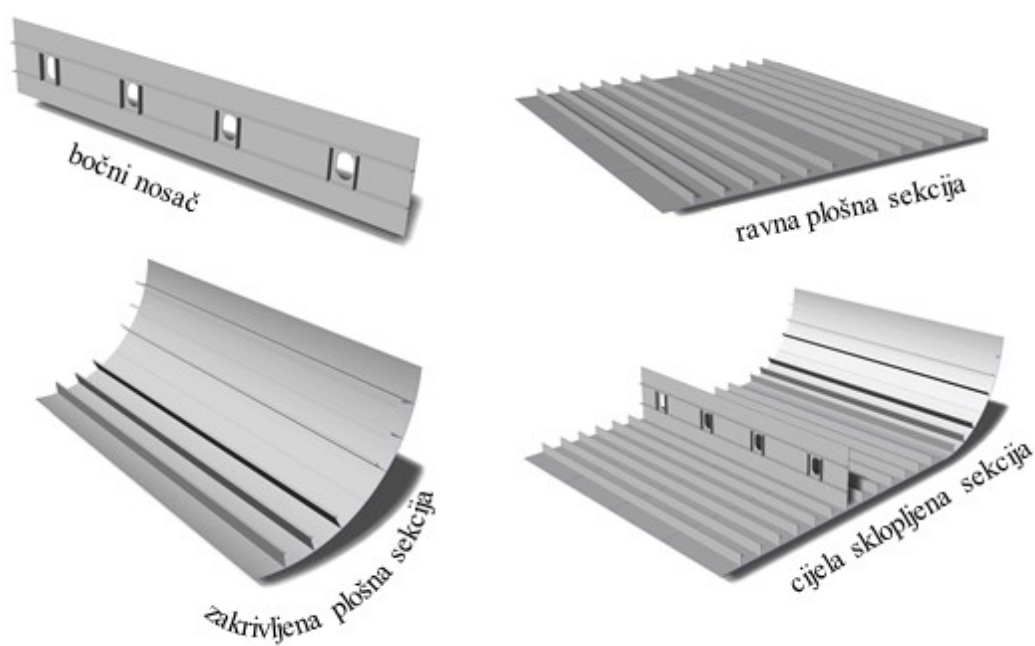
$$C_x = \frac{\sqrt{VAR[X]}}{E[X]}$$

kojim se ocjenjuju i uspoređuju raspodjele. Ovim se definira odnos između standardnog odstupanja i vrijednosti očekivanja, te služi kao mjera relativnog odstupanja vrijednosti slučajnih varijabli.

## 2. REFERENTNA BRODOGRAĐEVNA RADIONICA

### 2.1. Uvod

Idejni projekt referentne brodograđevne radionice definiran je proračunom na bazi okvirnog godišnjeg proizvodnog kapaciteta od 80000 tCM te definiranjem proizvodnog programa [Slika 7] sklopljene sekcije koja se sastoji od bočnog nosača s pripadajućim ukrepljenjem, ravne plošne sekcije i zakrivljene plošne sekcije.



Slika 7. Definiranje proizvodnog programa - sklopljena sekcija

### 2.2. Osnove tehnološkog projektiranja

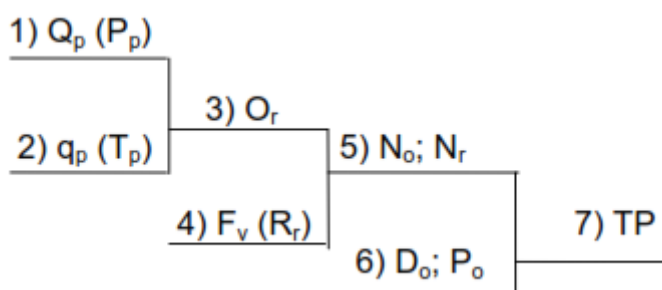
Tehnološko projektiranje podrazumijeva osnivanje proizvodnog pogona koji će racionalno ispuniti funkcionalno postavljene zahtjeve prema proizvodnom programu brodogradilišta.

Rezultat tehnološkog projektiranja:

- sadržaj i tok proizvodnog procesa,
- odrediti potrebna proizvodna sredstva,
- odrediti potreban broj radnika,
- odrediti površine i dimenzije radnih prostora

- odrediti metode i sredstva transporta
- opći plan razmještaja opreme
- proizvodni program (asortiman i količina proizvoda)
- tehnološki proces (sadržaj i tok procesa)
- opseg rada (potrebno vrijeme)
- režim rada i fond vremena

Opća shema tehnološkog projektiranja:



Slika 8. Opća shema tehnološkog projektiranja

gdje je:

$Q_p$  - godišnji obim proizvodnje (kom; m; m<sup>2</sup>; t),

$P_p$  - proizvodni program (asortiman i količina proizvoda godišnje),

$T_p$  - tehnološki proces (specifični opseg rada: h/kom; t; m; m<sup>2</sup>),

$q_p$  - specifični obim proizvodnje (kom/h; t/h; m<sup>2</sup>/h),

$O_r$  - opseg rada godišnje (čovjek sati; stroj sati, efektivni sati godišnje),

$F_v$  - fond vremena godišnje (h/god; h/dan; ),

$R_r$  - režim rada (broj: smjena; radnih dana /god; h/dan; h/god),

$N_o$  - proračunata potrebna količina opreme za rad,

$N_r$  - proračunati broj radnika za rad,

$D_o$  - potrebne dimenzije objekta (duljina, širina, visina),

$P_o$  - potrebna površina objekta (ukupna, proizvodna, pomoćna),

$TP$  - tehnološki projekt: radionice, radne površine, proizvodne linije.

## 2.2.1. Režim rada i fond vremena

### 2.2.1.1. Režim rada

Režim rada obuhvaća broj smjena, broj radnih dana u tjednu, broj radnih sati po danu i broj radnih sati u tjednu.

**Tablica 1. Režim rada u radionici**

Broj smjena (režim rada)	2	
Broj radnih dana u tjednu (režim rada)	5	dana
Broj radnih sati u danu (režim rada)	16	h
Broj radnih sati u tjednu (režim rada)	80	h

Broj radnih sati u danu = Broj smjena · Radni sati po smjeni =  $2 \cdot 8 = 16$  h

Broj radnih sati u tjednu = Radni dani u tjednu · Broj radnih sati u danu =  $5 \cdot 16 = 80$  h

### 2.2.1.2. Fond vremena

Broj radnih sati u godini:

$$D_r = D_k - D_p - D_{SN} = 365 - 11 - 104 = 250 \text{ dana}$$

gdje je:

$D_p$  - broj praznika u godini, iznosi 11

$D_{SN}$  - broj subota i nedjelja u godini, iznosi 104

$D_k$  - broj dana u godini, iznosi 365

Nominalni fond vremena:

$$F_n = (D_k - (D_p + D_{SN})) \cdot N_h = (365 - (11 + 104)) \cdot 16 = 4000 \text{ h/god}$$

gdje je:

$N_h$  - broj radnih sati u danu za dvije smjene, iznosi 16

Efektivni fond vremena:

$$F_e = F_n \cdot k_i = 4000 \cdot 0.87 = 3062 \text{ h/god}$$

gdje je:

$k_i$  - koeficijent iskorištenja fonda vremena (radnici 0.85 – 0.95; oprema 0.6 – 0.9)

## 2.3. Faze proizvodnog procesa

Razradom proizvodnog programa temeljem proračuna određeni su potrebni strojevi, uređaji i transportna sredstva. Na temelju njih utvrđen je raspored površina kojim su definirane pojedine radionice, odnosno faze proizvodnog procesa koje se sastoje od:

- skladišta limova, profila i traka,
- predobrada limova, profila i traka,
- radionica obrade limova,
- radionica obrade profila i traka,
- međuradionica za transport limova, profila i traka,
- radionica podsklopova,
- dvije radionice ravnih plošnih sekcija,
- dvije radionice zakrivljenih plošnih sekcija.

### 2.3.1. Skladište limova, profila i traka

Limovi, profili i trake dostavljaju se morskim ili željezničkim prijevozom tako da su pod dohvatom poluportalnih dizalica koje materijal slažu u hrpe. Materijal koji dolazi na skladište mora biti kontroliran po kvaliteti i postupku izrade te po dimenzijama, općem izgledu i mehaničkim osobinama. Transport limova, profila i traka izvodi pomoću portalnih dizalica. Ukupna količina na skladištima u mjesecu iznosi 1620 limova i 4860 profila i traka.

#### 2.3.1.1. Skladište za iskrcaj limova, profila i traka

*Limovi:*

$$A_{LI} = \alpha \cdot \frac{Q_d}{f_{LI} \cdot k_{LI}} = 0.839 \cdot \frac{6000}{8 \cdot 0.7} = 898 \approx 900 \text{ m}^2$$

gdje je:

$A_{LI}$  - površina skladišta za iskrcaj limova, m<sup>2</sup>

$Q_d$  - količina materijala koja se doprema u određenima vremenskim intervalima, tCM

$\alpha$  - maseni udio u limovima, iznosi 0.839 (proračun u excelu)

$f_{LI}$  - dozvoljeno opterećenje limova na skladištu za iskrcaj, iznosi 5-10 t/m<sup>2</sup>

$k_{LI}$  - iskoristivost površine za limove, iznosi 0.7

$$Q_d = Q_s - q_s = 6666.66 - 666.66 = 6000 \text{ tCM}$$

$$Q_s = 1 \cdot \frac{Q}{12} = 1 \cdot \frac{80000}{12} = 6666.66 \text{ tCM}$$

$$q_s = 0.1 \cdot Q_s = 0.1 \cdot 6666.66 = 666.66 \text{ tCM}$$

gdje je:

$q_s$  - stalna pričuva na osnovnom skladištu, tCM

$Q_s$  - pričuva na osnovnom skladištu, tCM

$Q$  - ukupna količina materijala godišnje, iznosi 80000 tCM

Na skladištu za iskrcaj limova 10% od 900 m<sup>2</sup> iznosi 90 m<sup>2</sup>. Površina skladišta za iskrcaj 2 x (12.5 x 3.5 m). Slaganje limova prema dozvoljenom opterećenju:

$$N_L = \frac{f_{LI} \cdot A_L}{m_L} = \frac{8 \cdot 35.4}{5.5578} = 50.95 \approx 51 \text{ kom}$$

gdje je:

$N_L$  - broj komada limova prema dozvoljenom opterećenju, kom

$A_L$  - površina koju zauzima jedan lim, m<sup>2</sup>

$m_L$  - masa jednoga lima, tCM

$$A_L = L_L \cdot B_L = 11.8 \cdot 3 = 35.4 \text{ m}^2$$

$$m_L \cong L_L \cdot B_L \cdot d_L \cdot \rho_\epsilon = 11.8 \cdot 3 \cdot 0.020 \cdot 7.85 = 5.5578 \text{ tCM}$$

gdje je:

$L_L$  - duljina lima, m

$B_L$  - širina lima, m

$d_L$  - debljina lima, m

$\rho_\epsilon$  - gustoća čelika, kg/m<sup>3</sup>

Profili:

$$A_{PI} = (1 - \alpha) \cdot \frac{Q_d}{f_{PI} \cdot k_{PI}} = (1 - 0.839) \cdot \frac{6000}{3.6 \cdot 0.3} = 894 \approx 900 \text{ m}^2$$

gdje je:

$A_{PI}$  - površina skladišta za iskrcaj profila i traka, m<sup>2</sup>

$(1 - \alpha)$  - maseni udio u profilima i trakama, -

$f_{pl}$  - dozvoljeno opterećenje profila i traka na skladištu za iskrcaj, iznosi 3-6 t/m<sup>2</sup>

$k_{pl}$  - iskoristivost površine za profile i trake, iznosi 0.3

Na skladištu za iskrcaj profila i traka, 10% od 900 m<sup>2</sup> iznosi 90 m<sup>2</sup>. Površina skladišta za iskrcaj 2 x (12.5 x 3.5 m). Slaganje profila/traka prema dozvoljenom opterećenju:

$$N_p = \frac{f_{pl} \cdot A_p}{m_p} = \frac{3.6 \cdot 4.08}{0.384} = 38.21 \approx 39 \text{ kom}$$

gdje je:

$N_p$  - broj komada profila i traka prema dozvoljenom opterećenju, kom

$A_p$  - površina koju zauzima jedan profil i traka, m<sup>2</sup>

$m_p$  - masa jednoga profila ili trake, tCM

$$A_p = L_p \cdot B_p = 12 \cdot 0.34 = 4.08 \text{ m}^2$$

$$m_p \cong L_p \cdot B_p \cdot d_p \cdot \rho_\epsilon = 12 \cdot 3 \cdot 0.012 \cdot 7.85 = 0.384 \text{ tCM}$$

gdje je:

$L_p$  - duljina profila i traka, m

$B_p$  - širina profila i traka, m

$d_p$  - debljina profila i traka, m

Deset profila i traka posloženo jedan pored drugoga po širini od 3,5 m. 30 profila i traka posloženo jedan na drugoga po visini (3 svežnja po 10 profila). Ukupna količina profila i traka na površinu od (12 x 3,5 m) iznosi 300.

### 2.3.1.2. Osnovno skladište limova, profila i traka

Limovi:

$$A_{L2} = \alpha \cdot \frac{Q_s}{f_{L2} \cdot k_{L2}} = 0.839 \cdot \frac{6666.66}{5 \cdot 0.55} = 2013 \approx 2000 \text{ m}^2$$

gdje je:

$A_{L2}$  - površina osnovnog skladišta za limove, m<sup>2</sup>

$f_{L2}$  - dozvoljeno opterećenje limova na osnovnom skladištu, iznosi 3-5 t/m<sup>2</sup>

$k_{L2}$  - iskoristivost površine za limove, iznosi 0.55

Površina osnovnog skladišta limova (80 x 25 m). Slaganje limova prema dozvoljenom opterećenju:

$$N_L = \frac{f_{L2} \cdot A_L}{m_L} = \frac{5 \cdot 35.4}{5.5578} = 31.84 \approx 31 \text{ kom}$$

*Provjera:*

1620 limova mjesečno uskladišteno na osnovnom skladištu.

$$N_{Paleta} = \frac{N_{L/mj}}{N_L} = \frac{1620}{31} = 52.25 \approx 52$$

$$N_{Paleta} \cdot A_L = 52 \cdot 35.4 = 1849 \text{ m}^2$$

*Profili:*

$$A_{P2} = (1 - \alpha) \cdot \frac{Q_s}{f_{P2} \cdot k_{P2}} = (1 - 0.839) \cdot \frac{6666.66}{2.7 \cdot 0.4} = 993.82 \approx 1000 \text{ m}^2$$

gdje je:

$A_{P2}$  - površina osnovnog skladišta profila i traka, m<sup>2</sup>

$f_{P2}$  - dozvoljeno opterećenje profila i traka na osnovnom skladištu, iznosi 1.5-3.5 t/m<sup>2</sup>

$k_{P2}$  - iskoristivost površine za profile i trake, iznosi 0.5

Površina osnovnog skladišta profila i traka (40 x 25 m). Slaganje profila i traka prema dozvoljenom opterećenju:

$$N_P = \frac{f_{P2} \cdot A_P}{m_P} = \frac{2.7 \cdot 4.08}{0.384} = 28.68 \approx 28 \text{ kom}$$

Deset profila i traka je posloženo jedan pored drugoga po širini od 3,5 m. 22 profila i trake posloženo jedan na drugoga po visini (2 svežnja po 11 profila i traka). Ukupna količina profila i traka na površinu od (12 x 3,5 m) iznosi 220.

*Provjera:*

4860 profila i traka mjesečno uskladišteno na osnovnom skladištu.



$$N_{Paleta} = \frac{N_{P/mj}}{N_P} = \frac{4860}{220} = 22.09 \approx 22$$

$$N_{Paleta} \cdot A_{PP} = 22 \cdot 40.08 = 885 \text{ m}^2$$

Otpriblike 120 m<sup>2</sup> za kretanje na osnovnom skladištu profila i traka.

### 2.3.1.3. Pripremno skladište za iskrcaj limova, profila i traka

Limovi:

$$A_{L3} = \alpha \cdot \frac{Q_{dp}}{f_{L3} \cdot k_{L3}} = 0.839 \cdot \frac{320}{8 \cdot 0.6} = 66.66 \approx 70 \text{ m}^2$$

$$Q_{dp} = 1 \cdot \frac{Q}{RD} = 1 \cdot \frac{80000}{250} = 320 \text{ tCM}$$

gdje je:

$A_{L3}$  - površina pripremnog skladišta limova, m<sup>2</sup>

$f_{L3}$  - dozvoljeno opterećenje limova na pripremnom skladištu, iznosi 8-10 t/m<sup>2</sup>

$k_{L3}$  - iskoristivost površine za limove, iznosi 0.8

$Q_{dp}$  - količina dnevne pripreme materijala, t/m<sup>2</sup>

$RD$  - broj radnih dana, iznosi 250

Površina pripremnog skladišta limova (12 x 6 m). Slaganje limova prema dozvoljenom opterećenju:

$$N_L = \frac{f_{L3} \cdot A_L}{m_L} = \frac{8 \cdot 35.4}{5.5578} = 50.9 \approx 50 \text{ kom}$$

Profili:

$$A_{P3} = (1 - \alpha) \cdot \frac{Q_{dp}}{f_{P3} \cdot k_{P3}} = (1 - 0.839) \cdot \frac{320}{6 \cdot 0.6} = 14.31 \approx 15 \text{ m}^2$$

gdje je:

$A_{P3}$  - površina pripremnog skladišta profila i traka, m<sup>2</sup>

$f_{P3}$  - dozvoljeno opterećenje profila i traka na pripremnom skladištu, iznosi 4-6 t/m<sup>2</sup>

$k_{P3}$  - iskoristivost površine za profile i trake, iznosi 0.6

Površina pripremnog skladišta profila i traka: (12 x 6 m). Slaganje profila i traka prema dozvoljenom opterećenju:

$$N_P = \frac{f_{P3} \cdot A_P}{m_P} = \frac{6 \cdot 4.08}{0.384} = 63.75 \approx 63 \text{ kom}$$

#### 2.3.1.4. Ukupna površina skladišta limova, profila i traka

$$A = A_{L1} + A_{L2} + A_{L3} + A_{P1} + A_{P2} + A_{P3} = 90 + 90 + 2000 + 1000 + 70 + 15 = 3265 \text{ m}^2$$

gdje je:

$A$  - ukupna površina skladišta limova, profila i traka,  $\text{m}^2$

Ukupna površina je uvećana za 10% transport i 10% predobrada, što je približno  $4000 \text{ m}^2$ .

#### 2.3.2. Predobrada limova, profila i traka

Limovi, profili i trake se prije ulaska u proces obrade materijala moraju ravnati na valjku za ravnanje te zrnčiti i zaštititi premazom temeljne boje. Na liniji predobrade limova nalazi se komora u kojoj su valjci za ravnanje limova, uređaj za sušenje limova radi lakšeg čišćenja i prijanjanja temeljnog premaza, uređaj za zrnčenje limova radi odstranjivanja nečistoće s površine materijala, uređaj za temeljnu zaštitu limova radi zaštite od korozije, uređaj za sušenje limova. Na liniji predobrade profila i traka se nalazi uređaj za sušenje profila i traka, uređaj za zrnčenje profila i traka, uređaj za temeljnu profila i traka, uređaj za sušenje profila i traka.

#### 2.3.3. Radionica obrade limova

Radionica obrade limova je smještena u laži duljine 84 m i širine 18 m, te obuhvaća ulaznu valjčastu stazu s linije predobrade limova, dva stroja za koordinatno rezanje limova, dva stroja za paralelno rezanje limova te jedan stroj za savijanje limova. Prekrcaj limova sa skladišta predobrađenih limova na platforme za rezanje, potom transport na stroj za savijanje (samo limovi za zakrivljene sekcije) te prekrcaj na međuskladište obrađenih limova odvijat će se pomoću dviju mosnih dizalica.

Karakteristike proizvodne opreme u radionici za rezanje limova:

*NC stroj za paralelno rezanje*

Stroj za paralelno rezanje je numerički upravljani. Paralelno se režu limovi namijenjeni

izradi ravnih plošnih sekcija i izradi zakrivljenih plošnih sekcija. Dva stroja na nosaču dvije glave za rezanje.

#### *NC stroj za koordinatno rezanje*

Stroj za koordinatno rezanje je numerički upravljani. Koordinatno se režu limovi namijenjeni izradi podsklopova. Dva stroja na nosaču dvije glave za rezanje.

#### *Stroj za savijanje limova*

Na savijanje idu limovi namijenjeni za izradu zakrivljenih plošnih sekcija. Duljina savijanja jednog lima ekvivalentna je širini limova koji idu na savijanje.

### **2.3.4. Radionica obrade profila i traka**

Radionica obrade profila i traka je smještena u lađi duljine 84 m širine 18 m, te obuhvaća ulaznu valjčastu stazu s linije predobrade profila i traka, dvije linije za čišćenje ruba profila i te tri automatizirane linije za obradu profila i traka. Prekrcaj profila i traka s ulazne valjčaste staze na liniju za čišćenje, te prekrcaj na međuskладиšte obrađenih profila i traka odvijat će se pomoću dviju mosnih dizalica te poprečni lančani transporteri za transport između operacija na liniji obrade profila i traka.

Karakteristike proizvodne opreme u radionici za rezanje limova:

#### *Uređaj za čišćenje ruba profila*

Podrazumijeva čišćenje profila i traka od „shopprimer“ oko 10-20 mm širine na strani koja je predviđena za rezanje.

#### *Stroj za rezanje profila i traka*

Radne operacije na liniji su mjerenje profila i traka, odnosno glava za rezanje mjeri profil i traku infracrvenim zrakama te rezanje se obavlja plinskim rezanjem (kisik-acetilen).

#### *Valjčasta staza i poprečni transporter*

Ulaz i izlaz profila i traka s linije za čišćenje ruba i rezanja obavlja se valjčastom stazom, a poprečnim transporterom profili i trake se transportiraju na jednu od valjčastih staza linija za rezanje profila.

### **2.3.5. Radionica podsklopova**

Radionica za izradu podsklopova je smještena u lađi duljine 84 m i širine 24 m, te se u njoj nalaze dvije linije za izradu podsklopova. Prekrcaj obrađenih limova i traka s ulaznog međuskладиšta u međuradionici na prvu radnu stanicu robotizirane linije, kao i prekrcaj

gotovih podsklopova na međuskladište gotovih podsklopova se odvija pomoću dvije mosne dizalice. Izrada podsklopova koja se odvija kroz 5 taktova proizvodnje:

*Takt I: transport i postavljanje limova, transport svih traka i privarivanje traka*

- Mosnom dizalicom limovi se transportiraju na radnu platformu, te se na limove, pritišću i privaruju poprečne trake koje su dostavljene u paletama, postavljene pokraj radne platforme.

*Takt II: zavarivanje prve polovice traka u poprečnom smjeru.*

- Traka je izrezana na 8 manjih dijelova. Prva polovica od 4 komada se zavaruje ručnim MAG postupkom. Jedan uređaj za zavarivanje.

*Takt III: zavarivanje druge polovice traka u poprečnom smjeru*

- Druga polovica od 4 komada se zavaruje ručnim MAG postupkom. Jedan uređaj za zavarivanje.

*Takt IV: privarivanje i zavarivanje traka u uzdužnom smjeru*

- Dvije uzdužne trake se privaruju s jednim uređajem za privarivanje, a zavaruju ručnim MAG postupkom. Broj zavarivača je četiri (simetrično zavarivanje).

*Takt V: kontrola, dorada, sortiranje, transport.*

- Zadnji takt obuhvaća završne operacije kontrole i popravaka te transport gotovih podsklopova na pripadno skladište.

### **2.3.6. Radionica ravnih plošnih sekcija**

Radionica za izradu ravnih plošnih sekcija će biti smještena u dvijema lađama duljine 84 m i širine 18 m (ukupno 36 metara), te će se u svakoj lađi nalaziti po jedna panel linija. Prekrcaj obrađenih limova i profila s ulaznog međuskladišta na prvi takt panel linije, kao i prekrcaj gotovih podsklopova na međuskladište gotovih podsklopova će se odvijati pomoću dvije mosne dizalice. Izrada ravnih plošnih sekcija organizirana je na temelju taktne proizvodnje koja se odvija kroz 4 takta:

*Takt I: postavljanje, pozicioniranje i zavarivanje limova*

- Magnetna dizalica prihvaća lim s međuskladišta i postavlja ga na početak linije na stroj za zavarivanje limova. Nakon pozicioniranja idućeg lima i poravnjanja, na krajevima limova postavljaju se kompenzacijske pločice. Limovi se hidraulički pritisnu i zavaruju jednostrano EPP postupkom.

*Takt II: obrada panela (označavanje, zrnčenje, rezanje)*

- Obrada panela podrazumijeva, zrnčenje i označavanje pozicije gdje dolaze profili (plazma markerom), te obrezivanje lima. Zrnčenje služi kao čišćenje dijela lima od temeljne boje na mjestu gdje će se zavariti elementi strukture. Zrnči se pojas širine 50 mm.

*Takt III: postavljanje i pozicioniranje profila*

- Prihvatanje profila s palete i transport na odgovarajuću poziciju.

*Takt IV: zavarivanje profila*

- Zavarivanje profila s obje strane s dva uređaja od sredine prema krajevima MAG postupkom. Nakon četvrtog takta ukrepljeni panel se može kao gotov proizvod transportirati na predviđeno skladište.

### **2.3.7. Radionica zakrivljenih plošnih sekcija**

Radionica za izradu zakrivljenih plošnih sekcija će biti smještena u dvjema lađama duljine 84 m i širine 24 m te će se u jednoj nalaziti tri linije, dok u drugoj dvije linije za izradu zakrivljenih plošnih sekcija. Prekrcaj obrađenih i zakrivljenih limova i profila s ulaznog međuskladišta na prvu radnu stanicu linije, prekrcaj samih platformi, kao i prekrcaj gotovih sekcija na međuskladište gotovih sekcija će se odvijati pomoću dvije mosne dizalice. Izrada zakrivljenih plošnih sekcija organizirana je s tri takta proizvodnje:

*Takt I: postavljanje, pozicioniranje i privarivanje limova*

- Oblikovani limovi se s međuskladišta transportiraju magnetnim dizalicama te se postavljaju na teleskopsku platformu gdje se dva lima centriraju i privaruju skupa s pomoćnim elementima.

*Takt II: rezanje, brušenje i zavarivanje limova*

- Jednostrano zavarivanje limova ručno polu-automatskim MAG uređajem, rezanje elemenata za pozicioniranje uređajem za ispuhivanje zavara, brušenje mjesta na kojima su bili elementi za pozicioniranje, transport panela.

*Takt III: postavljanje, pozicioniranje profila, privarivanje, zavarivanje profila te kontrola i dorada*

- Dostavljanje, pozicioniranje, privarivanje zavarivanje ukrepa ručno MAG-om, zavarivanje ukrepa ručno MAG postupkom, te završne operacije - kontrola dimenzija, kontrola i popravak zavara, označavanje sekcije, odvoz panela i transport platforme s kolijevkom na početni takt. Nakon trećeg takta ukrepljeni panel se može kao gotov proizvod transportirati na predviđeno skladište.

### 3. SIMULACIJSKI MODEL BRODOGRAĐEVNE RADIONICE

#### 3.1. Uvod

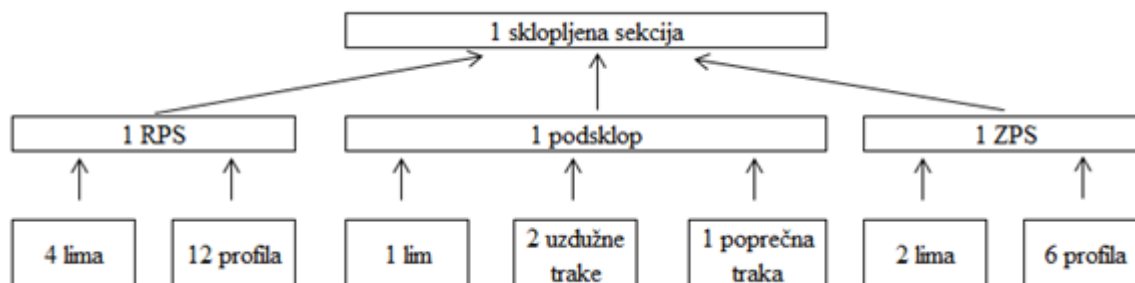
Uz pomoć simulacijskog programskog paketa „Technomatix Plant Simulation 12“, modelirana je brodograđevna radionica, uključujući skladišta s predobradom crne metalurgije, koja su detaljnije prikazana u popisu priloga.

Prilikom gradnje modela vodilo se računa da njegova izvedba i tok materijala bude što vjerodostojniji rezultatima dobivenim klasičnim tehnološkim proračunom s ciljem dobivanja boljih rezultata pri analiziranju modela.

Model će biti opisan po navedenim fazama proizvodnje sa svim značajnim karakteristikama i popisom korištenih objekata.

#### 3.2. Model sklopljene sekcije

Sklopljena sekcija raščlanjuje se prema [Slika 9]. Model sklopljene sekcije dijeli se na modele manjih brodograđevnih elemenata, a izrađuje se pomoću podataka iz analize proizvodnog programa sadržanih u prilogu.



Slika 9. Shema rasčlane sklopljene sekcije

#### 3.3. Model proizvodnje brodograđevne radionice

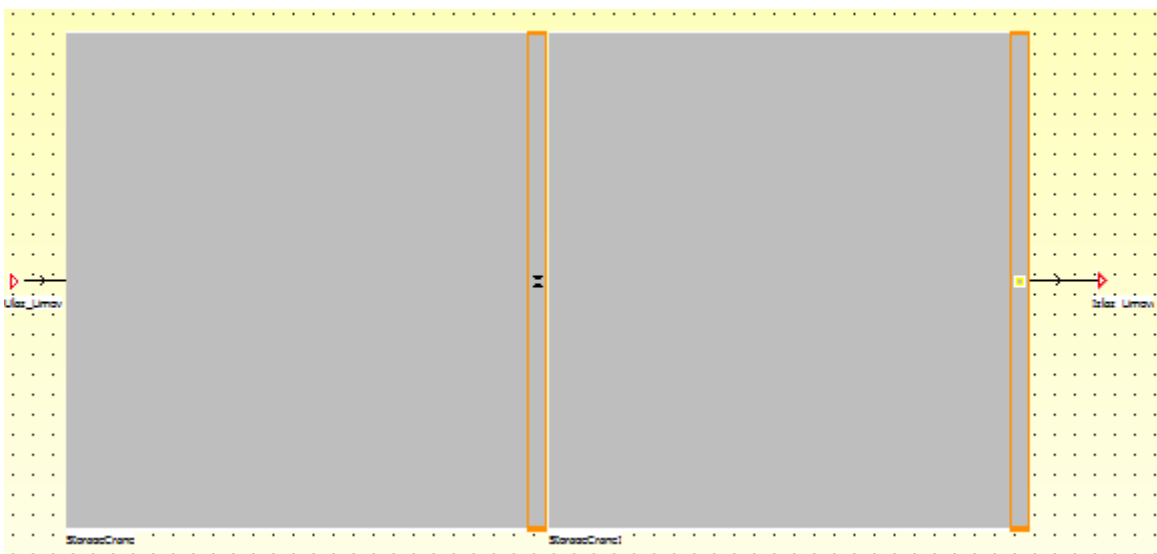
Model proizvodnje brodograđevne radionice prikazan je [Slika 10]. Za pojedine faze proizvodnog procesa upotrebljavaju se podaci dobiveni na temelju klasičnog tehnološkog proračuna te podataka dostupnih iz literature i brodogradilišta.



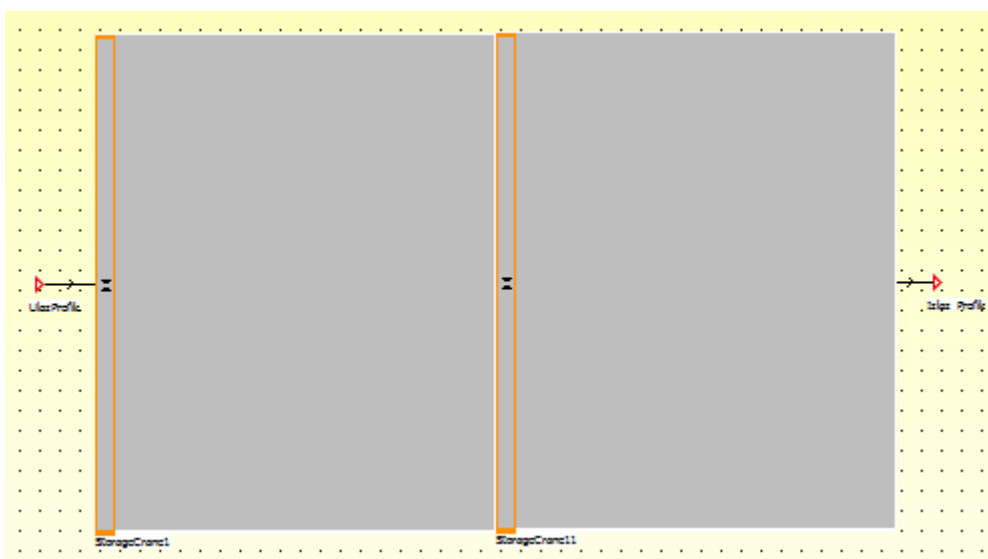
### 3.3.1. Skladište limova, profila i traka

U prvoj fazi proizvodnje potrebno je definirati ulaz elemenata u proizvodni proces. Limovi, profili i trake definirani su pomoću generatora „Source“, odnosno „Ulaz\_Limova“ koji se sastoji od dva entiteta „Lim“ i „Lim\_Nosac“, dok generator „Ulaz\_Profila“ se sastoji od tri entiteta i to „Profil“, „Uzduzna\_Traka“ i „Poprecna\_Traka“.

Svi limovi napuštaju skladište [Slika 11] i [Slika 12] nakon odležanih 26 minuta na skladištu limova, dok profili i trake napuštaju skladište nakon odležanih 9 minuta na skladištu profila i traka.



Slika 11. Model skladišta limova



Slika 12. Model skladišta profila/traka



Limovi, profili i trake puštaju se u proizvodnju pomoću objekta „TableFile“ koji omogućava da se element pušta u proizvodnju s određenom vjerojatnosti pojavljivanja u vremenskom intervalu koji mu se odredi.

Tako npr. „TableFile“ - „Limovi“ je modeliran na način da se entitet „Lim“ pušta s vjerojatnosti pojavljivanja od 58%, dok se entitet „Lim\_Nosac“ se pušta s vjerojatnosti pojavljivanja od 42%. Objekt „TableFile“ - „Profili“ je modeliran na način da se entitet „Profil“ pušta u proizvodnju s vjerojatnosti pojavljivanja od 63%. Entitet „Uzduzna\_Traka“ pušta se s vjerojatnosti pojavljivanja od 24%. Entitet „Poprecna\_Traka“ pušta se s vjerojatnosti pojavljivanja od 13%.

Tako definirani proizvodi idu na skladište limova, profila i traka te se njihov transport modelira pomoću portalnih dizalica koje uzimaju materijal sa skladišta nakon što odleži određeno vrijeme.

Popis i karakteristike objekata skladišta limova, profila i traka:

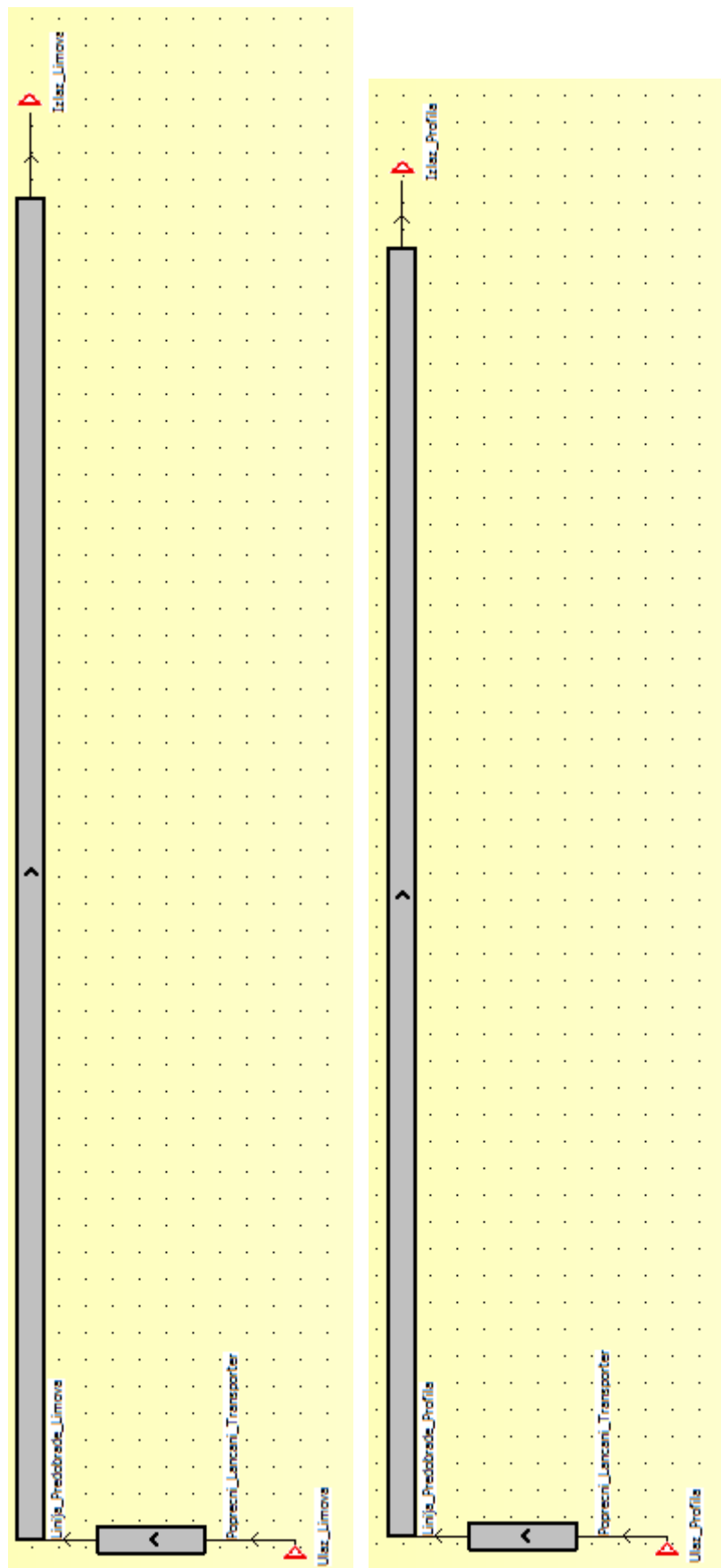
#### *Portalna dizalica*

Nosivost dizalica na skladištu limova, profila i traka je 10 t, raspon staza je 25 m. Duljina staze dizalice na skladištu limova je 97.5 m, dok je na skladištu profila i traka 57 m. Brzina hoda dizalica je 60 m/min, brzina dizanja i spuštanja materijala je 10 m/min. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.

### **3.3.2. Linija predobrade limova, profila i traka**

Postrojenja za predobradu limova, profila i traka [Slika 13] modelirana su poprečnim lančanim transporterima i valjčastim stazama pomoću objekta „Line“. Karakteristike linija predobrade su:

- duljina linije predobrade limova: 80 m
- duljina linije predobrade profila i traka: 78 m
- brzina kretanja limova na liniji: 2.1 m/min
- brzina kretanja profila i traka na liniji: 2.1 m/min
- duljina poprečnog lančanog transportera u predobradi limova: 6 m
- duljina poprečnog lančanog transportera u predobradi profila i traka: 3 m
- brzina kretanja limova na poprečnom lančanom transporteru: 3 m/min
- brzina kretanja profila i traka na poprečnom lančanom transporteru: 1.5 m/min



Slika 13. Linija predobrade limova, profila i traka

### 3.3.3. Skladište predobrađenih limova, profila i traka

Limovi, profili i trake ulaze u brodograđevnu radionicu poprečnim lančanim transporterom s linije predobrade limova i linije predobrade profila i traka. Unutar radionice obrade limova magnetna dizalica preuzima limove te ih slaže na skladište predobrađenih limova, dok unutar radionice obrade profila i traka magnetna dizalica preuzima profile i trake te ih transportira na skladište predobrađenih profila i traka.

Popis i karakteristike objekata skladišta predobrađenih limova [Slika 14]:

#### *Poprečni transporter*

Modelira se prijenosnom stanicom koja prihvaća jedan lim s linije predobrade. Vrijeme prijenosa jednog lima iznosi 1 minutu.

#### *Mosna magnetna dizalica*

Karakteristike dizalice su: raspon staza je 18 m, duljina staze je 44 m, visina dizalice 6 m, prosječna visina dizanja 3 m, brzina dizanja i spuštanja limova 10 m/min, brzina hoda dizalice 60 m/min. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.

#### *Skladište predobrađenih limova*

Modelira se pomoću „Buffer“ čija je maksimalna količina na međuskladištu 103 lima, a određena je dozvoljenim opterećenjem podloge i masom limova.

Popis i karakteristike objekata skladišta predobrađenih profila i traka [Slika 15]:

#### *Poprečni transporter*

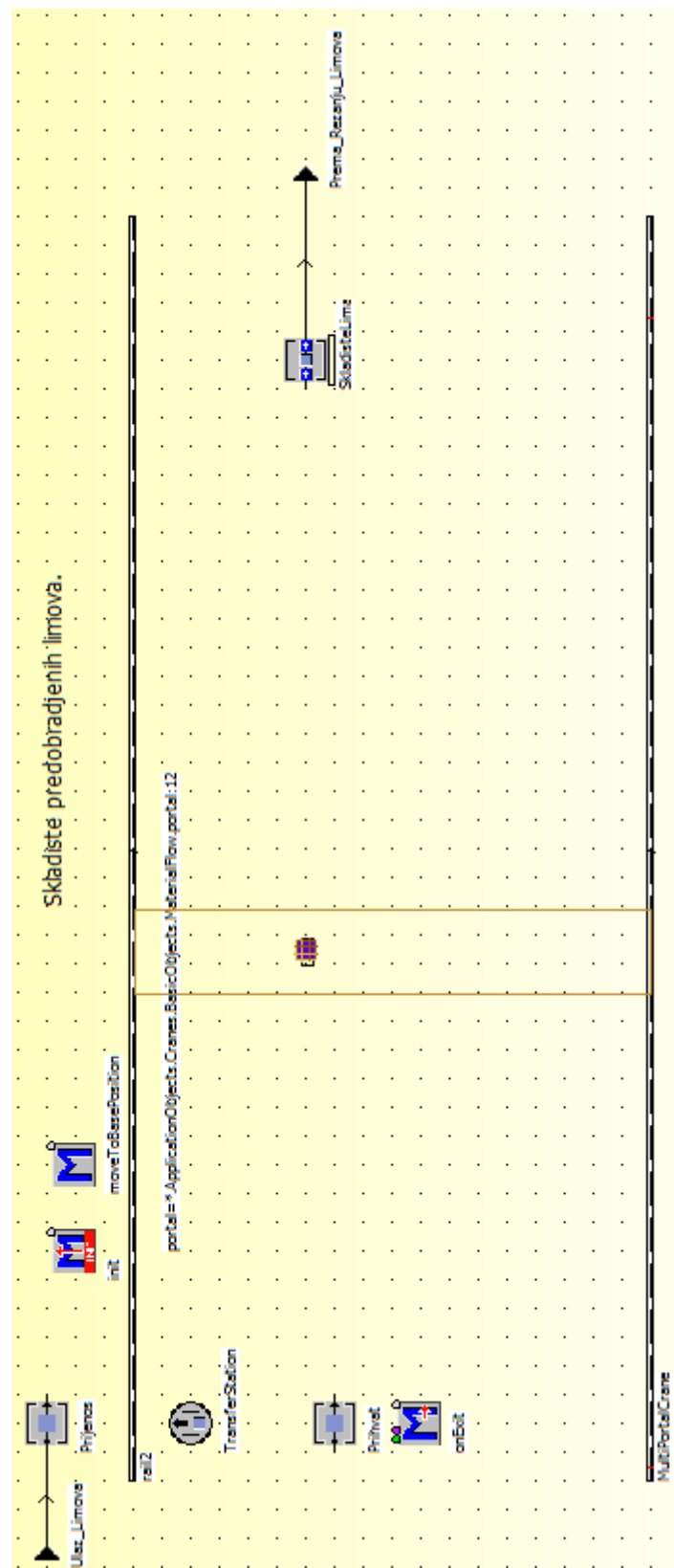
Modelira se prijenosnom stanicom koja prihvaća jedan profil ili traku s linije predobrade. Vrijeme prijenosa jednog profila ili trake iznosi 1 minutu.

#### *Mosna magnetna dizalica*

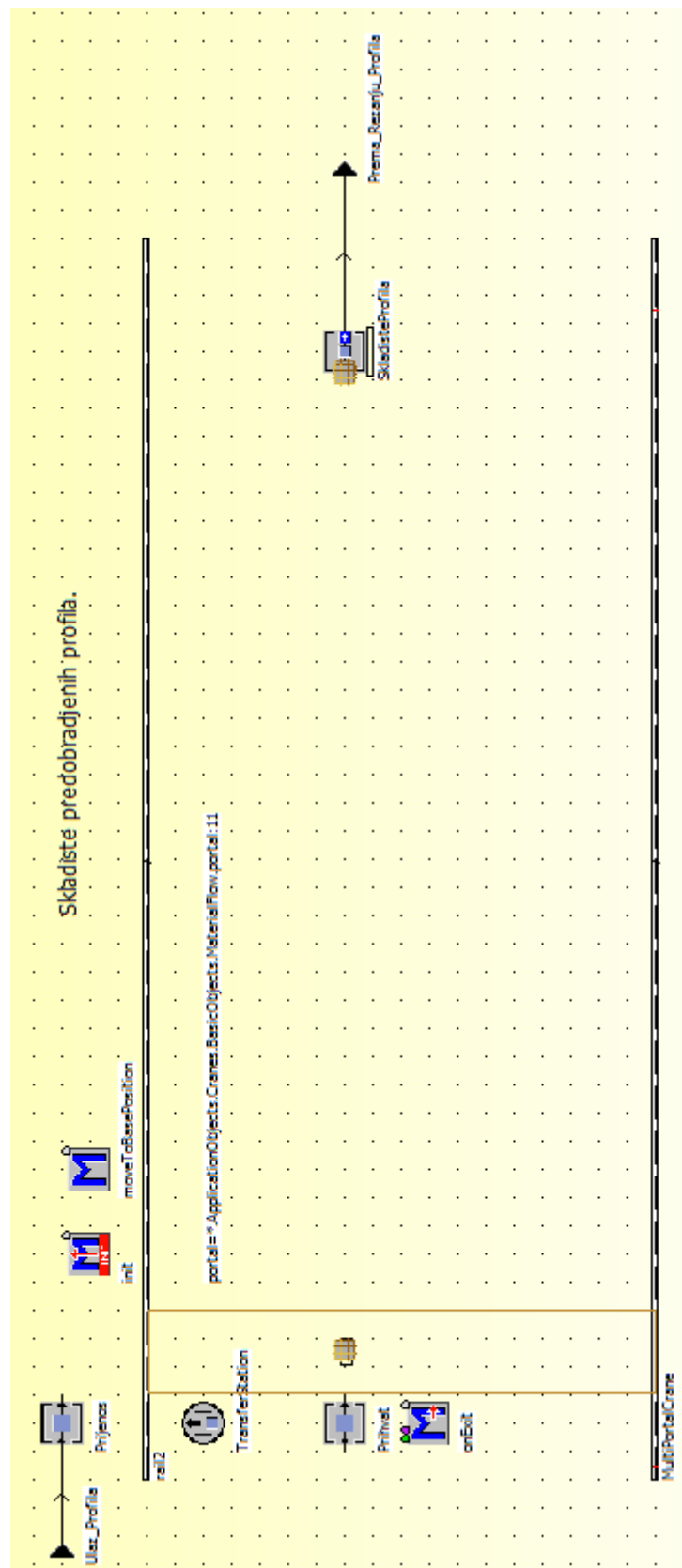
Karakteristike dizalice su: raspon staza je 18 m, duljina staze je 44 m, visina dizalice 6 m, prosječna visina dizanja 3 m, brzina dizanja i spuštanja profila i traka 10 m/min, brzina hoda dizalice 60 m/min. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.

#### *Skladište predobrađenih profila i traka*

Modelira se pomoću „Buffer“ čija je maksimalna količina na međuskladištu 750 profila i traka, a određena je dozvoljenim opterećenjem podloge i masom limova.



Slika 14. Skladište predobrađenih limova



Slika 15. Skladište predobrađenih profila i traka

### 3.3.4. Radionica obrade limova

Model radionice obrade limova podijeljena je na dva „frame-a“. Prvi „frame“ [Slika 16] sadrži strojeve za koordinatno i paralelno rezanje, dok drugi „frame“ [Slika 17] sadrži stroj za savijanje limova. Distribucija limova je definirana tako da se limovi, koji nakon obrade idu u radionice ravnih i zakrivljenih plošnih sekcija, režu na stroju za paralelno rezanje limova, nakon čega 40% limova ide na stroj za savijanje limova dok se limovi koji nakon obrade idu u radionicu podsklopova režu na stroju za koordinatno rezanje.

Popis i karakteristike objekata radionice obrade limova:

#### *Mosna magnetna dizalica I i II*

Karakteristike dizalice su: raspon staza je 18 m, duljina staza je 42 m, visine dizalica 10.5 m, prosječna visina dizanja 3 m, brzina dizanja i spuštanja limova 10 m/min, brzina hoda dizalice 60 m/min, brzina „mačke“ dizalice 10 m/min.. Gibanje dizalica je istovremeno u X, Y i Z smjeru.

#### *Stroj za paralelno rezanje*

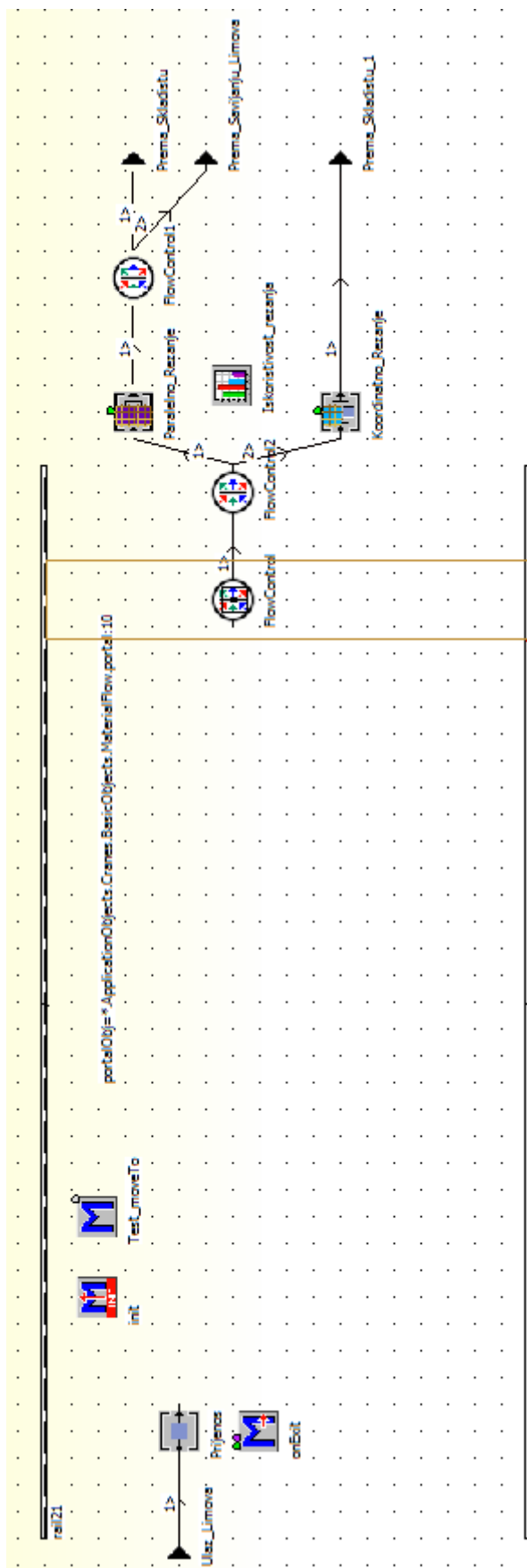
Modelira se pomoću objekta „ParallelProc“ s dimenzijom (X=1,Y=2). Vrijeme obrade lima određeno je proračunom prema prosječnoj duljini rezanja 29 m/kom, broju dnevno obrađenih limova koji iznosi 34, brzini paralelnog rezanja 0.8 m/min te iskoristivosti vremena pri paralelnom rezanju 0.75. Ukupno vrijeme obrade lima je 1643.33 min/dan. Obrada svakog lima s dva stroja iznosi 24.16 min.

#### *Stroj za koordinatno rezanje*

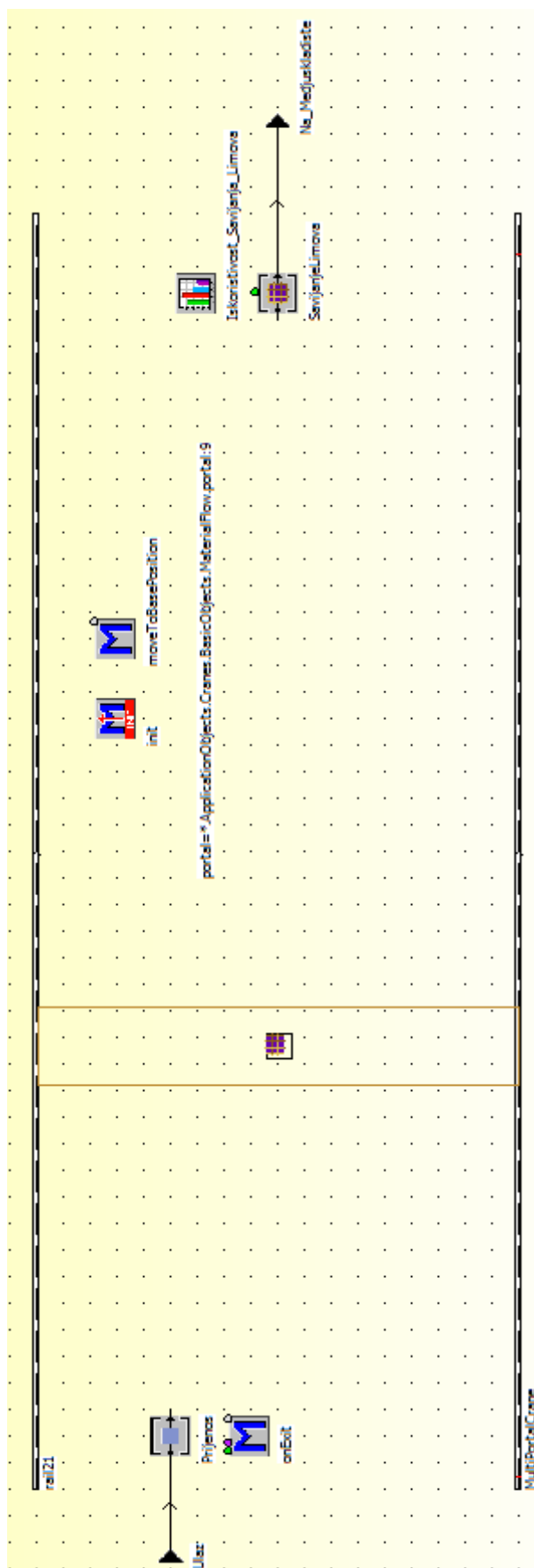
Modelira se pomoću objekta „ParallelProc“ s dimenzijom (X=1,Y=2). Vrijeme obrade lima određeno je proračunom prema prosječnoj duljini krivocrtnog rezanja 21.34 m/kom, prosječnoj duljini krivocrtnog označivanja 29.60 m/kom, broju dnevno obrađenih limova koji iznosi 20, brzini koordinatnog rezanja 0.60 m/min, brzini koordinatnog označivanja 12 m/min te iskoristivosti vremena pri koordinatnom rezanju 0.6 i označavanju 0.6. Ukupno vrijeme koordinatnog rezanja je 1197.35 min/dan. Obrada svakog lima s dva stroja iznosi 32.09 min.

#### *Stroj za savijanje limova*

Modelira se pomoću objekta „SingleProc“. Vrijeme obrade lima određeno je prema broju dnevno oblikovanih limova savijanjem koji iznosi 14, brzini savijanja limova 1 m/min, ukupnoj dnevnoj duljini savijanja 40.60 m te iskoristivosti vremena pri savijanju 0.8. Ukupno vrijeme savijanja jednog lima je 51 min.



Slika 16. Radionica obrade limova - rezanje



Slika 17. Radionica obrade limova – savijanje



### 3.3.5. Radionica obrade profila i traka

Model radionice obrade profila i traka [Slika 18] definiran je proračunom. Sastoji se od dva stroja za čišćenje ruba profila i traka te tri stroja robotiziranog rezanja. Distribucija materijala je definirana tako da trake idu na stazu „Ciscenje\_Rubova“, dok profili idu na stazu „Ciscenje\_Rubova\_1“, nakon čega 40% profila namijenjenih za ZPS ide na stazu „Robot\_Rezanje\_2“, a preostalih 60% namijenjenih za RPS ide na stazu „Robot\_Rezanje\_1“. Nakon obrade materijal se transportira na skladište obrađenih profila i traka.

Popis i karakteristike objekata radionice obrade profila i traka:

#### *Mosna magnetna dizalica*

Karakteristike dizalice su: raspon staza je 24 m, duljina staze je 18 m, visina dizalice 10.5 m, prosječna visina dizanja 2 m, brzina dizanja i spuštanja profila i traka 10 m/min, brzina hoda dizalice 60 m/min, brzina „mačke“ dizalice 10 m/min.. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.

#### *Valjčasta staza*

Modelira se pomoću objekta „Line“. Duljina svih valjčastih staza je 12 m, a vrijeme transporta profila i trake je 15 m/min.

#### *Čišćenje ruba profila i trake*

Modelira se pomoću objekta „SingleProc“. Vrijeme obrade određeno je omjer duljine profila ili trake i brzine čišćenja. Duljina profila i trake je 11.6 m, a brzina čišćenja je 7 m/min. Ukupno vrijeme čišćenja profila i trake je 1.65 min.

#### *Poprečni transporter*

Modelira se objektom „Line“ koji prihvaća jedan profil ili traku s linije čišćenja profila i traka. Duljina svih poprečnih transportera je 2 m, a vrijeme prijenosa jednog profila ili trake iznosi 1 min.

#### *Robot za rezanje*

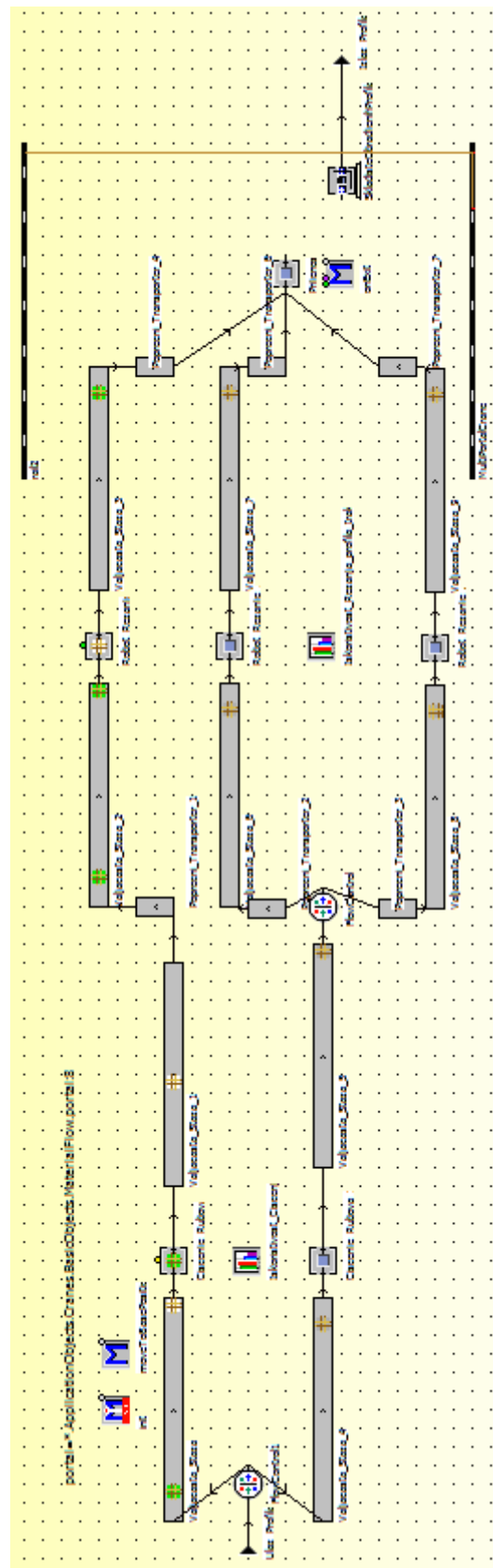
Modelira se pomoću objekta „SingleProc“. Vrijeme obrade profila i traka u jednom danu definirano je proračunom [Tablica 2], prema duljini (skošenju) trake i profila koju je potrebno izrezati 226.12 m, koeficijentu iskoristivosti vremena rezanja 0.6, te brzinama i specifičnim vremenima obrade, prikazano [Tablica 3]. Vrijeme obrade jedne trake za podsklop iznosi 16.25 min. Vrijeme obrade jednog profila namjenjenog za radionice RPS iznosi 8 min. Vrijeme obrade jednog profila namjenjenog za radionice ZPS iznosi 7.9 min.

**Tablica 2. Vremena obrade profila i traka na liniji za rezanje**

Obrada profila i traka za radionice	Podsklop	RPS	ZPS	-
Vrijeme za postavljanje i pozicioniranje na liniju	201.96	60.00	42.00	min
Vrijeme za mjerenje i pripremu za rezanje	403.92	120.00	42.00	min
Vrijeme rezanja	125.62	102.00	35.70	min
Vrijeme transporta izrezanog profila/trake	155.79	99.43	69.60	min
Vrijeme za transport na stazi do robota za rezanje	88.00	101.14	141.60	min
Ukupno vrijeme dnevne obrade	975.30	482.57	330.90	min

**Tablica 3. Specifična vremena i brzine na liniji za rezanje profila i traka**

-	Trake	Profili	-
Specifično vrijeme za postavljanje i pozicioniranje na liniju	1	1	min/kom
Specifično vrijeme za mjerenje i pripremu za rezanje	1	1	min/rez
Brzina rezanja	3	0.4	m/min
Brzina transporta izrezanog profila/trake	7	7	m/min
Brzina transporta na valjčastoj stazi do robota za rezanje	7	7	m/min



Slika 18. Radionica obrade profila i traka ,

### 3.3.6. *Međuradionica limova, profila i traka*

Međuradionica [Slika 19] i [Slika 20] namijenjena je za transport materijala koji dolaze iz radionice obrade limova i radionice profila i traka na međuskladišta radionice podsklopova te radionica ravnih i zakrivljenih plošnih sekcija.

Distribucija materijala je definirana tako da „Lim\_Nosac“ ide na međuskladište limova radionice podsklopova, dok „Lim“ ide prema međuskladištima dviju radionica ravnih plošnih sekcija po 27%, a preostalih po 23 % „Lim-a“ ide prema međuskladištima dviju radionica zakrivljenih plošnih sekcija.

Distribucija pri transportu profila i traka je definirana tako da „Uzduzna\_Traka“ i „Poprecna\_Traka“ idu na međuskladište radionice podsklopova, dok „Profil“ idu na međuskladišta dviju radionica ravnih plošnih sekcija po 27%, a preostalih po 23 % „Profil“ ide prema međuskladištima dviju radionica zakrivljenih plošnih sekcija. Popis i karakteristike objekata:

#### *Mosna magnetna dizalica I*

Namijenjena je za transport limova. Karakteristike dizalice su: raspon staza je 18 m, duljina staze je 144 m, visina dizalice 10.5 m, brzina dizanja i spuštanja limova 10 m/min, brzina hoda dizalice 60 m/min. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.

#### *Mosna magnetna dizalica II*

Namijenjena je za transport profila i traka. Karakteristike dizalice su: raspon staza je 18 m, duljina staze je 144 m, visina dizalice 10.5 m, brzina dizanja i spuštanja profila i traka 10 m/min, brzina hoda dizalice 60 m/min. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.

#### *Skladište predobrađenih limova radionice podsklopova*

Modelira se pomoću „Buffer“ čija je maksimalna količina na međuskladištu 240 limova, a određena je dozvoljenim opterećenjem podloge i masom limova.

#### *Skladišta predobrađenih limova radionica RPS i ZPS*

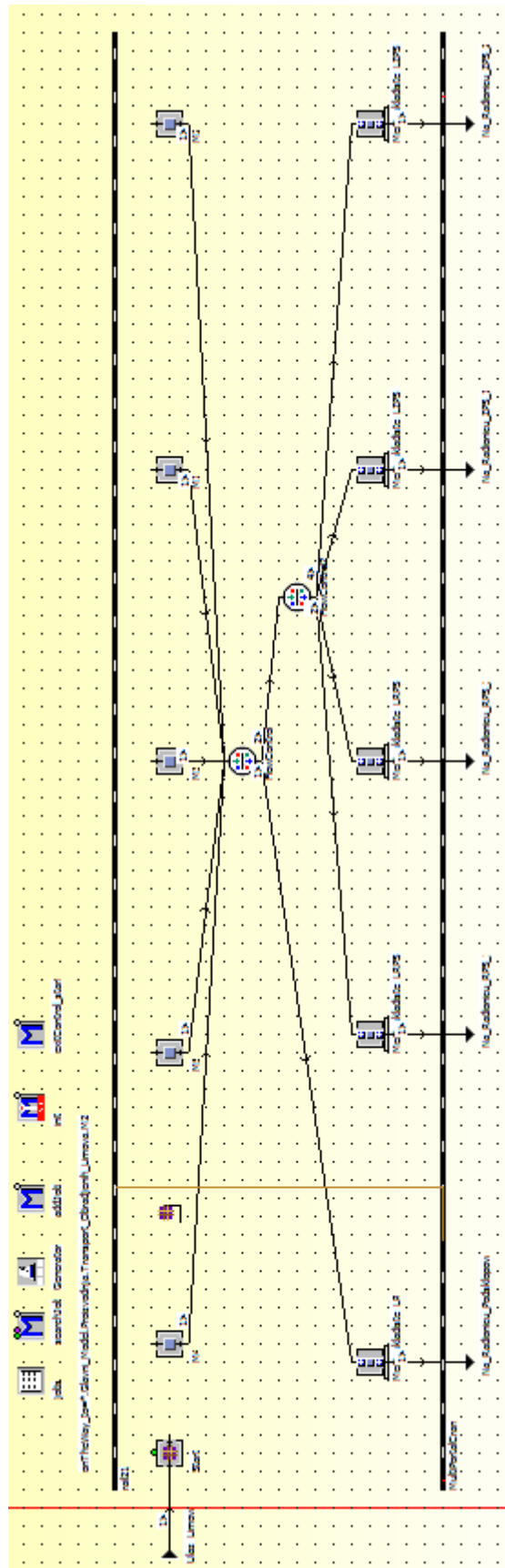
Modelira se pomoću „Buffer“ čija je maksimalna količina na međuskladištu 240 limova, a određena je dozvoljenim opterećenjem podloge i masom limova.

#### *Skladište predobrađenih traka radionice podsklopova*

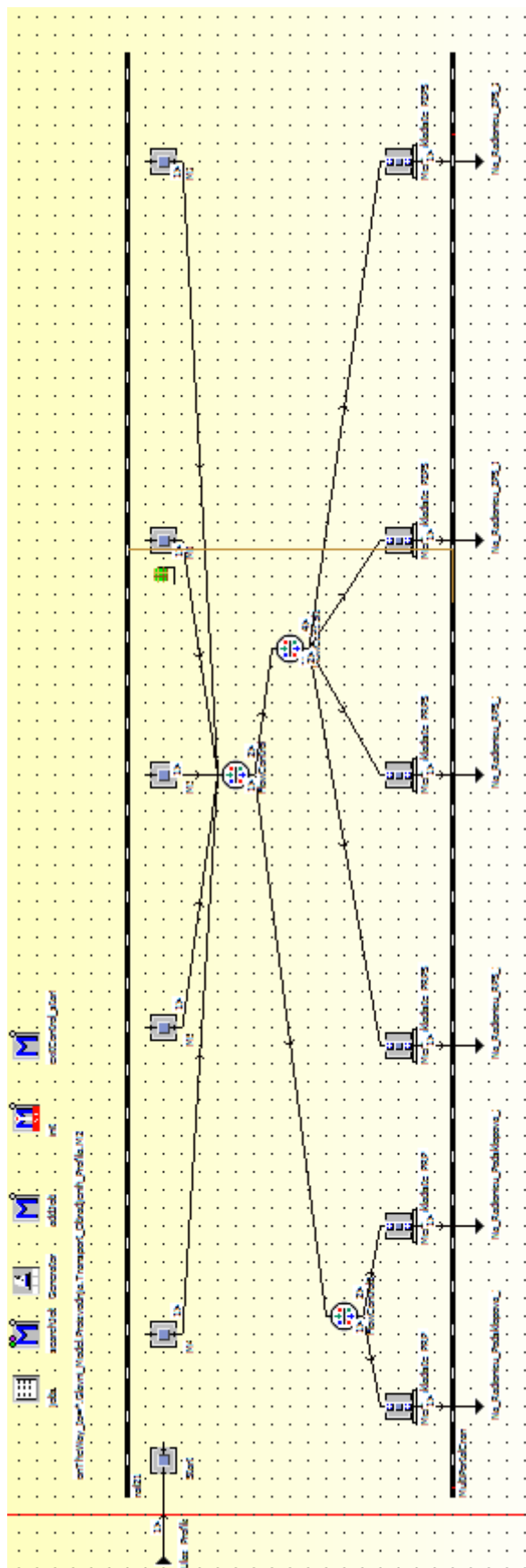
Modelira se pomoću „Buffer“ čija je maksimalna količina na međuskladištu 750 profila/traka, a određena je dozvoljenim opterećenjem podloge i masom limova.

#### *Skladište predobrađenih profila radionica RPS i ZPS*

Modelira se pomoću „Buffer“ čija je maksimalna količina na međuskladištu 750 profila/traka, a određena je dozvoljenim opterećenjem podloge i masom limova.



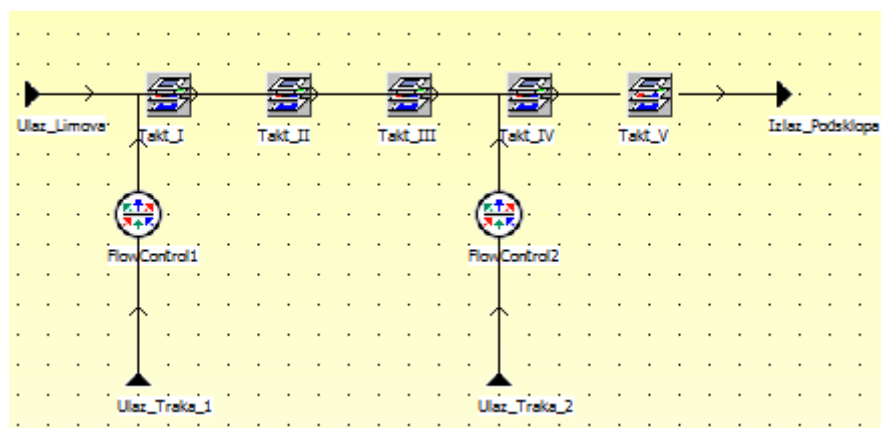
Slika 19. Međuradionica – transport limova



Slika 20. Međuradionica – transport profila i traka

### 3.3.7. Radionica podsklopova

Radionica podsklopova [Slika 21] se modelira „Frame-ovima“ koji se sastoje od 5 taktova [Slika 22-26]. U prvom taktu modelira se objekt „Assembly“ – „Post\_I\_Pozc\_Limova“ u kojem se montiraju poprečne trake, dok se u četvrtom taktu pomoću objekta „Assembly“ – „Post\_I\_Pozc\_Limova“ montiraju uzdužne trake. Za modeliranje radionice podsklopova napravljen je proračun trajanja taktova prema proizvodnom programu brodogradilišta.



Slika 21. Radionica podsklopova

#### 3.3.7.1. Proračun trajanja taktova radionice podsklopova

Proračun trajanja takta I:

Transport i postavljanje limova, transport i postavljanje svih poprečnih traka	- Transport i postavljanje jednog lima: 3 min - Transport i postavljanje poprečne trake: 1 min - Broj limova na radnoj platformi: 1	4 min
Privarivanje poprečnih traka u poprečnom smjeru	- Specifična duljina privarivanja po metru: 0.768 m - Duljina zavara po metru trake: 0.06 m/m - Duljina zavara po metru trake: 12.8 m - Brzina privarivanja: 0.3 m/min - Koeficijent efikasnosti privarivanja: 0.7	3.65 min
Transport platforme na sljedeći takt	- Transport: 2 min	2 min
	Trajanje prvog takta	9.65 min

Proračun trajanja takta II:

Zavarivanje prve polovice poprečnih u poprečnom smjeru	- Polovica duljine traka: 6.4 m - Tehnološko vrijeme zavarivanja: 3.2 m/min - Koeficijent efikasnosti zavarivanja: 0.8	25.6 min
Transport platforme na sljedeći takt	- Transport: 2 min	2 min
	Trajanje drugog takta	27.6 min

## Proračun trajanja takta III:

Zavarivanje druge polovice traka u poprečnom smjeru	- Polovica duljine traka: 6.4 m - Tehnološko vrijeme zavarivanja: 3.2 m/min - Koeficijent efikasnosti zavarivanja: 0.8	25.6 min
Transport platforme na sljedeći takt	- Transport: 2 min	2 min
	Trajanje trećeg takta	27.6 min

## Proračun trajanja takta IV:

Transport i postavljanje panela 1. reda, transport i postavljanje svih uzdužnih traka	- Transport i postavljanje panela 1. reda: 3 min - Transport i postavljanje uzdužnih traka: 10 min	13 min
Privarivanje uzdužnih traka u uzdužnom smjeru	- Specifična duljina privarivanja po metru: 1.392 m - Duljina privara po metru trake: 23.2 m - Duljina privara po metru trake: 0.06 m/m - Brzina privarivanja: 0.3 m/min - Koeficijent efikasnosti privarivanja: 0.7	6.63 min
Zavarivanje uzdužnih traka u uzdužnom smjeru	- Duljina zavara: 92.8 m - Brzina zavarivanja: 0.3 m/min - Koeficijent efikasnosti zavarivanja: 0.7 - Broj zavarivača: 4	117.10 min
Transport platforme na sljedeći takt	- Transport: 2 min	2 min
	Trajanje četvrtog takta	132.10 min

## Proračun trajanja takta V:

Kontrola, dorada, sortiranje	- Tehnološko vrijeme za navedene operacije: 15 min/kom - Broj limova na platformi: 1	15 min
	Trajanje petog takta	15 min

## Popis i karakteristike objekata:

*Takt I radionice podsklopova*

Modelira „Frame-om“ Takt\_I, unutar kojeg se nalazi objekt „Assembly“ koji omogućava montiranje „Lim\_Nosac“ sa „Poprecna\_Traka“. Trajanje takta iznosi 9.65 min. Poprečne



trake dolaze na „Cesalj“ koji se modelira pomoću objekta „Buffer“, kapaciteta 10 traka.

*Takt\_II radionice podsklopova*

Modelira „Frame-om“ Takt\_II. Trajanje takta iznosi 27.6 min

*Takt\_III radionice podsklopova*

Modelira „Frame-om“ Takt\_III. Trajanje takta iznosi 27.6 min

*Takt\_IV radionice podsklopova*

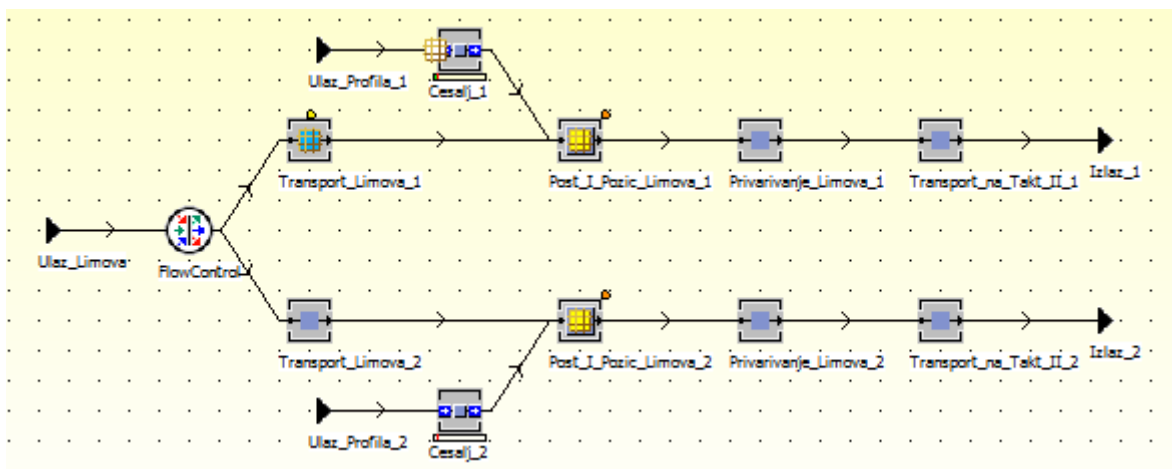
Modelira „Frame-om“ Takt\_IV, unutar kojeg se nalazi objekt „Assembly“ koji omogućava montiranje sklopa sa dvije „Uzduzna\_Traka“. Trajanje takta iznosi 132.10 min.

*Takt\_V radionice podsklopova*

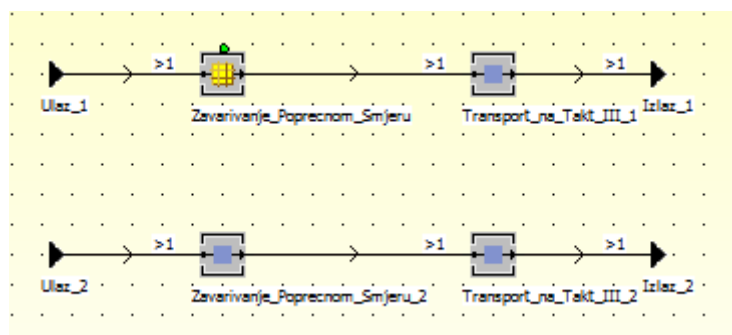
Modelira „Frame-om“ Takt\_V. Trajanje takta iznosi 15 min.

*Mosna magnetna dizalica*

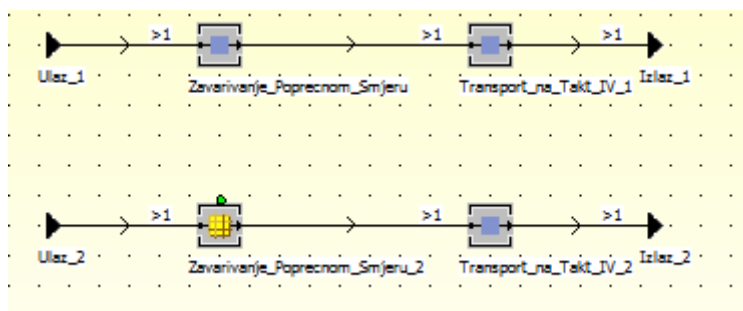
Namijenjena je za transport podsklopova. Karakteristike dizalice su: raspon staza je 18 m, duljina staze je 40 m, visina dizalice 10.5 m, brzina dizanja i spuštanja podsklopova 10 m/min, brzina hoda dizalice 60 m/min. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.



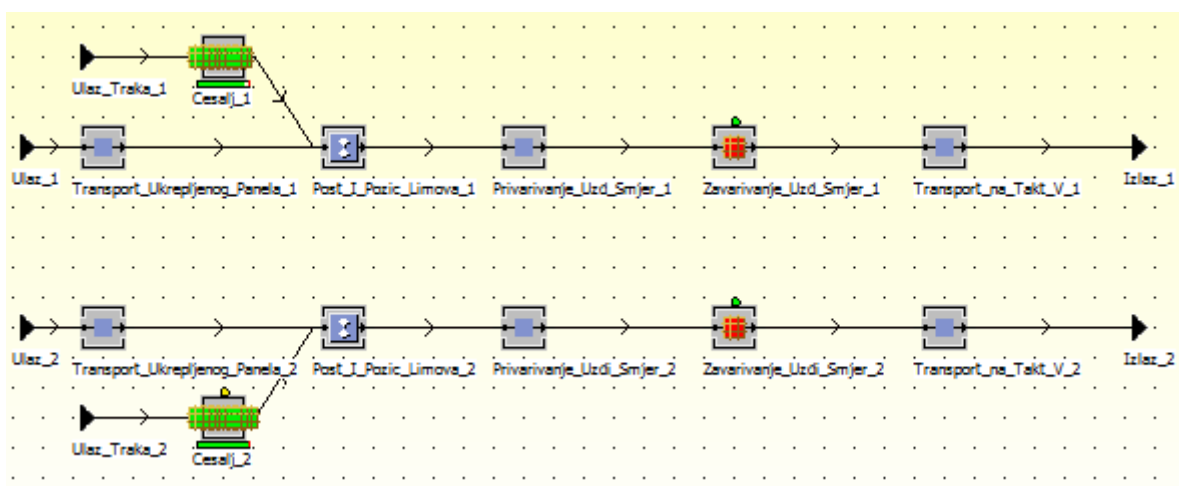
**Slika 22. Prvi takt radionice podsklopova**



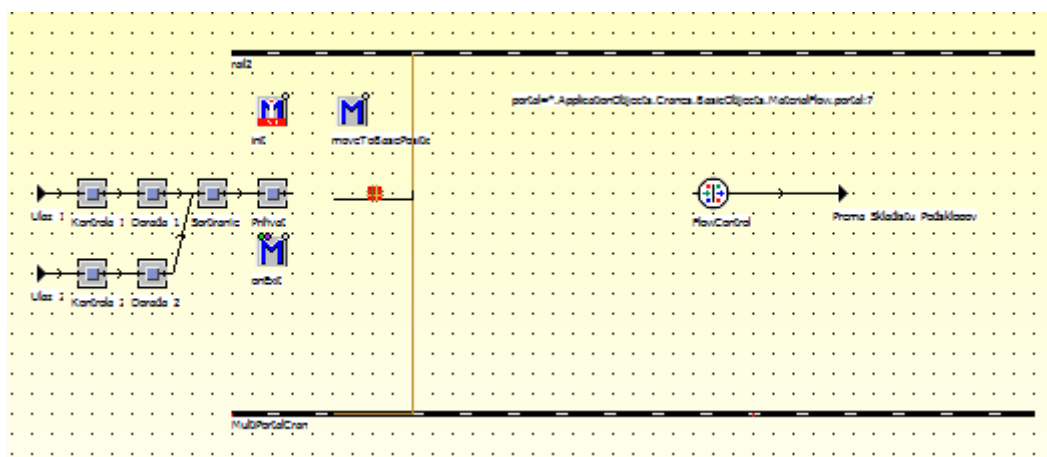
**Slika 23. Drugi takt radionice podsklopova**



Slika 24. Treći takt radionice podsklopova



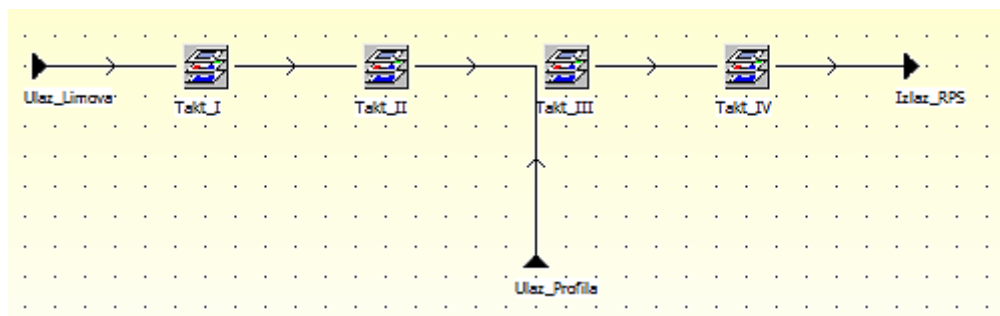
Slika 25. Četvrti takt radionice podsklopova



Slika 26. Peti takt radionice podsklopova

### 3.3.8. Radionica ravnih plošnih sekcija

Prikazati ćemo jednu od dvije radionice ravnih plošnih sekcija [Slika 27]. Modeliraju se „Frame-ovima“ koji se sastoje od 4 takta [Slika 28-31]. Za modeliranje radionice ravnih plošnih sekcija napravljen je proračun trajanja taktova prema proizvodnom programu brodogradilišta.



Slika 27. Radionica ravnih plošnih sekcija

#### 3.3.8.1. Proračun trajanja taktova radionice ravnih plošnih sekcija

Proračun trajanja takta I:

Postavljanje i pozicioniranje limova	- Priprema: 15 min/šav - Broj šavova lima: 3	45 min
Zavarivanje limova	- Vrijeme zavarivanja po metru zavara: 3.5 min/m - Broj šavova: 3 - Duljina šava: 11.7 m - Broj prolaza po šavu: 2	246 min
Transport platforme na sljedeći takt	- Transport: 2 min	2 min
	Trajanje prvog takta	293 min

Proračun trajanja takta II:

Označavanje panela	- Vrijeme označavanja po metru: 0.4 min/m - Opseg panela: 29.2 m	12 min
Rezanje panela	- Vrijeme rezanja po metru: 1.8 min/m - Opseg panela: 29.2 m	53 min
Zrnčenje panela	- Vrijeme zrnčenja po metru: 0.6 min/m - Opseg panela: 29.2 m	17.52 min
Transport platforme na sljedeći takt	- Transport: 2 min	2 min
	Trajanje drugog takta	83.76 min

Proračun trajanja takta III:

Postavljanje i pozicioniranje profila	- Vrijeme pozicioniranja: 6 min/kom - Broj profila: 12	72 min
Transport platforme na sljedeći takt	- Transport: 2 min	2 min
	Trajanje trećeg takta	74 min

Proračun trajanja takta IV:

Zavarivanje profila na panel	- Vrijeme zavarivanja po metru profila: 1 min/m - Duljina jednog profila: 11.6 m	139.2 min
Transport platforme na prvi takt	- Transport: 10 min	10 min
	Trajanje četvrtog takta	149.2 min

Popis i karakteristike objekata:

#### *Takt\_I radionica RPS*

Modelira „Frame-om“ Takt\_I, unutar kojeg se nalazi objekt „Assembly“ – „Post\_I\_Pozic\_Limova“ koji omogućava montiranje četiri „Lim-a“ za formiranje panela limova. Trajanje takta svake radionice iznosi 293 min.

#### *Takt\_II radionice RPS*

Modelira „Frame-om“ Takt\_II. Trajanje takta svake radionice iznosi 83.76 min.

#### *Takt\_III radionice RPS*

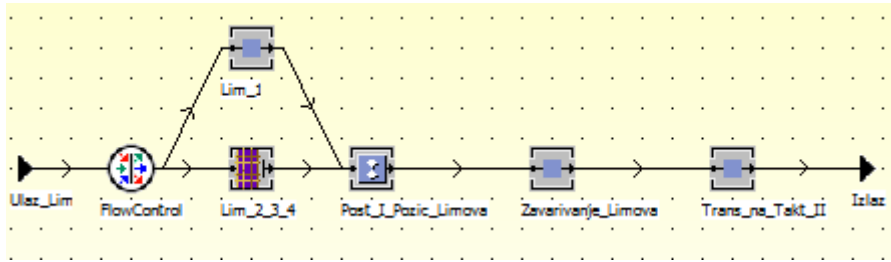
Modelira „Frame-om“ Takt\_III, unutar kojeg se nalazi objekt „Assembly“ koji montira panela limova sa 12 „Profil“. Profili dolaze na „Cesalj“ koji se modelira pomoću objekta „Buffer“, kapaciteta 12 profila. Trajanje takta svake radionice iznosi 74 min.

#### *Takt\_IV radionice RPS*

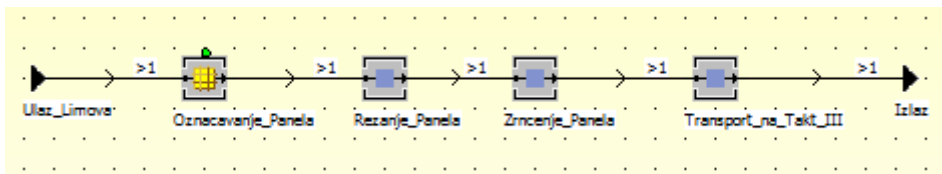
Modelira „Frame-om“ Takt\_IV. Trajanje takta svake radionice iznosi 149.2 min.

#### *Mosna magnetna dizalica*

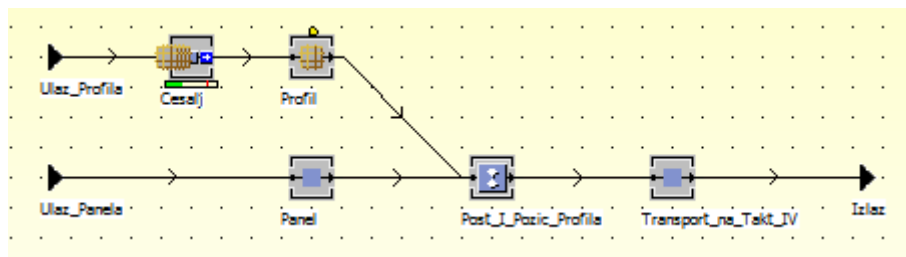
Namijenjena je za transport RPS. Karakteristike dizalice su: raspon staza je 18 m, duljina staze je 40 m, visina dizalice je 10.5 m, brzina dizanja i spuštanja RPS je 10 m/min, brzina hoda dizalice je 60 m/min. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.



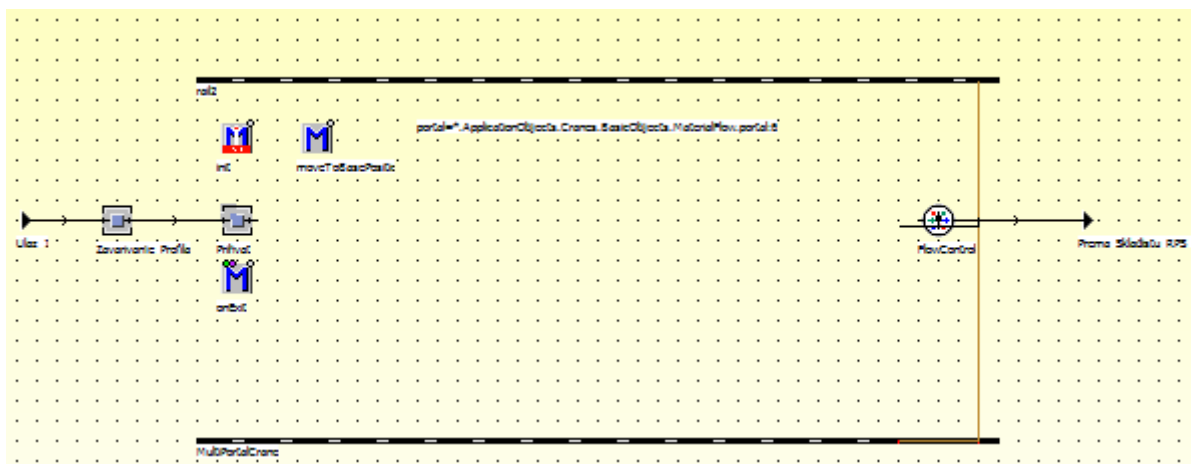
Slika 28. Prvi takt radionica ravnih plošnih sekcija



Slika 29. Drugi takt radionica ravnih plošnih sekcija



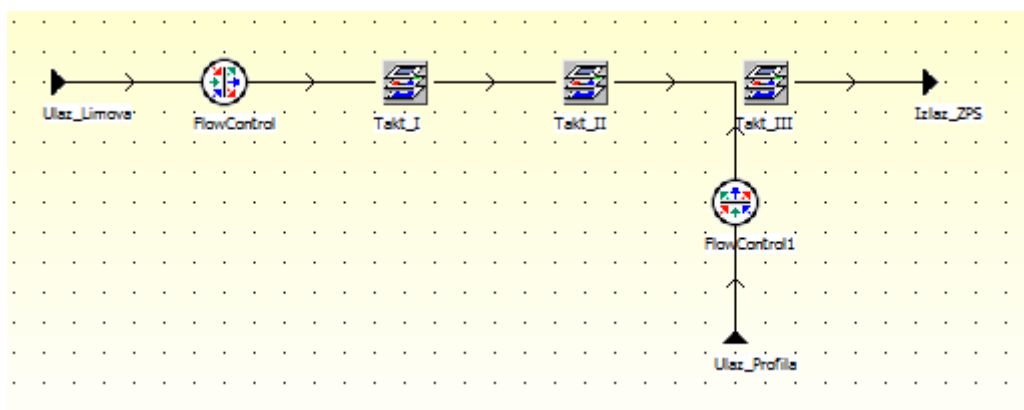
Slika 30. Treći takt radionica ravnih plošnih sekcija



Slika 31. Četvrti takt radionica ravnih plošnih sekcija

### 3.3.9. Radionica zakrivljenih plošnih sekcija

Prikazati ćemo jednu od dvije radionice zakrivljenih plošnih sekcija [Slika 32]. Modeliraju se „Frame-ovima“ koji se sastoje od 3 takta [Slika 33-35]. Distribucija limova i profila modelira se pomoću objekta „FlowControl“. U jednoj radionici zakrivljenih plošnih sekcija imamo 3 proizvodne linije. Stoga, raspodjela materijala na tri linije je po 33%. U drugoj radionici imamo dvije proizvodne linije, pa je raspodjela materijala 50%.



Slika 32. Radionica zakrivljenih plošnih sekcija

#### 3.3.9.1. Proračun trajanja taktova radionice zakrivljenih plošnih sekcija

Proračun trajanja takta I:

Postavljanje i pozicioniranje limova	- Vrijeme transporta jednog komada lima: 10 min/kom - Broj limova sekcije: 2	20 min
Priprema sučeljenog spoja	- Duljina zavora gornjeg elementa: 0.15 m - Duljina zavora donjeg elementa: 0.1 m - Broj elemenata s gornje strane: 23 - Broj elemenata s donje strane: 11 - Duljina zavarivanja pomoćnih elemenata: 9.28 m - Jedinično vrijeme zavarivanja pomoćnih elemenata: 5 min/m - Jedinično vrijeme regulacije: 6 min/m - Duljina zavora spoja: 11.6 m - Broj zavora po spoju: 2	162 min
Transport platforme na sljedeći takt	- Transport: 5 min	5 min
	Trajanje prvog takta	187 min

## Proračun trajanja takta II:

Rezanje pomoćnih elemenata	- Procijenjena duljina rezanja: 9.28 m - Brzina rezanja: 0.26 m/min - Koeficijent efikasnosti rezanja: 0.7	51 min
Brušenje pomoćnih elemenata	- Duljina brušenja: 9.28 m - Jedinično vrijeme brušenja: 15 min/m	139.2 min
Zavarivanje limova	- Brzina zavarivanja: 0.65 m/min - Koeficijent efikasnosti rezanja: 0.8 - Duljina zavara: 23.2 m	44.62 min
Transport platforme na sljedeći takt	- Transport: 2 min	2 min
	Trajanje drugog takta	251.8 min

## Proračun trajanja takta III:

Postavljanje i pozicioniranje profila	- Broj profila: 6 - Jedinično vrijeme pozicioniranja: 3 min/kom	18 min
Privarivanje profila	- Brzina privarivanja: 0.3 m/min - Koeficijent efikasnosti rezanja: 0.5 - Broj zavarivača: 2 - Duljina privara po metru profila: 0.1 m/m - Duljina jednog profila: 11.6 m - Duljina privarivanja: 6.96 m	23.2 min
Zavarivanje profila	- Brzina zavarivanja: 0.4 m/min - Koeficijent efikasnosti rezanja: 0.5 - Duljina zavarivanja: 69.6 m - Broj zavarivača: 4	87 min
Kontrola, dorada	- Duljina koja se kontrolira i popravlja: 13.92 m (20% duljine zavarivanja) - Jedinično vrijeme kontrole i popravka: 10 min/m	139.2 min
Transport platforme na prvi takt	- Transport: 10 min	10 min
	Trajanje trećeg takta	277.4 min

Popis i karakteristike objekata:

*Takt\_I radionica ZPS*

Modelira „Frame-om“ Takt\_I, unutar kojeg se nalazi objekt „Assembly“ – „Post\_I\_Pozic\_Limova“ koji omogućava montiranje dva „Lim-a“ za formiranje panela limova. Trajanje takta svake radionice iznosi 187 min.

*Takt\_II radionice ZPS*

Modelira „Frame-om“ Takt\_II. Trajanje takta svake radionice iznosi 251.8 min.

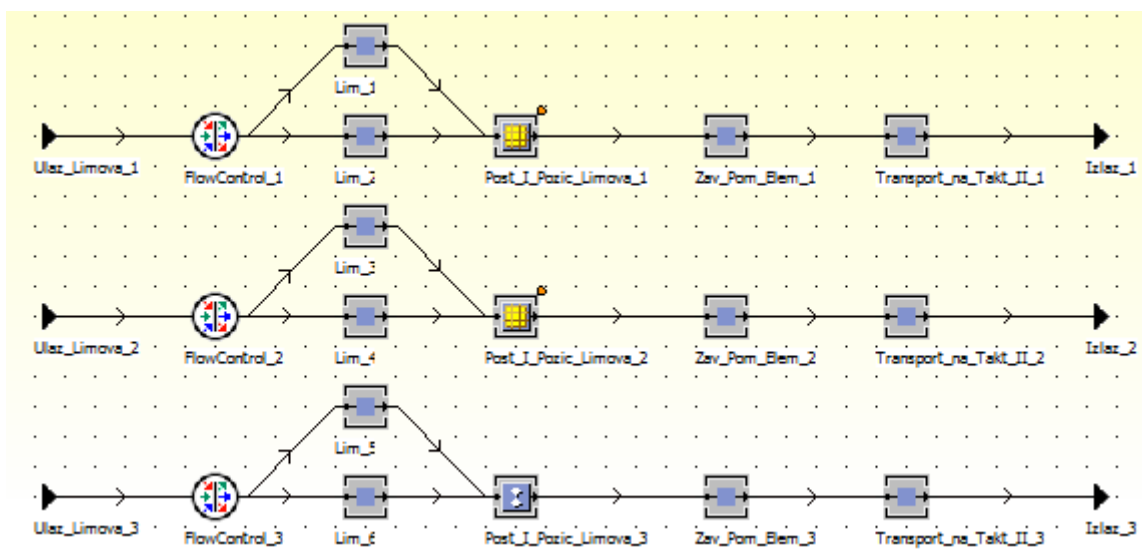
*Takt\_III radionice ZPS*

Modelira „Frame-om“ Takt\_III, unutar kojeg se nalazi objekt „Assembly“ koji omogućava

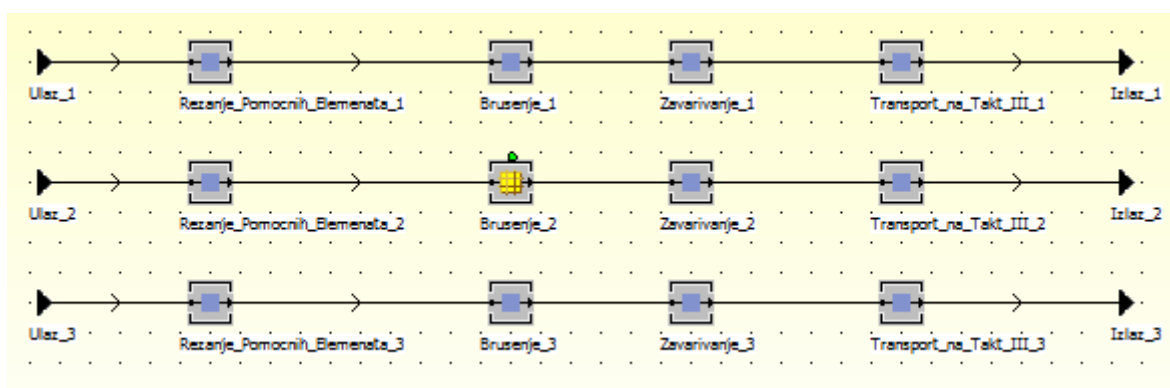
montiranje panela limova sa 6 „Profil“. Profili dolaze na „Cesalj“ koji se modelira pomoću objekta „Buffer“, kapaciteta 10 profila. Trajanje takta svake radionice iznosi 277.4 min.

*Mosna magnetna dizalica*

Namijenjena je za transport ZPS. Karakteristike dizalice su: raspon staza je 24 m, duljina staze je 40 m, visina dizalice je 10.5 m, brzina dizanja i spuštanja ZPS je 10 m/min, brzina hoda dizalice je 60 m/min. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.

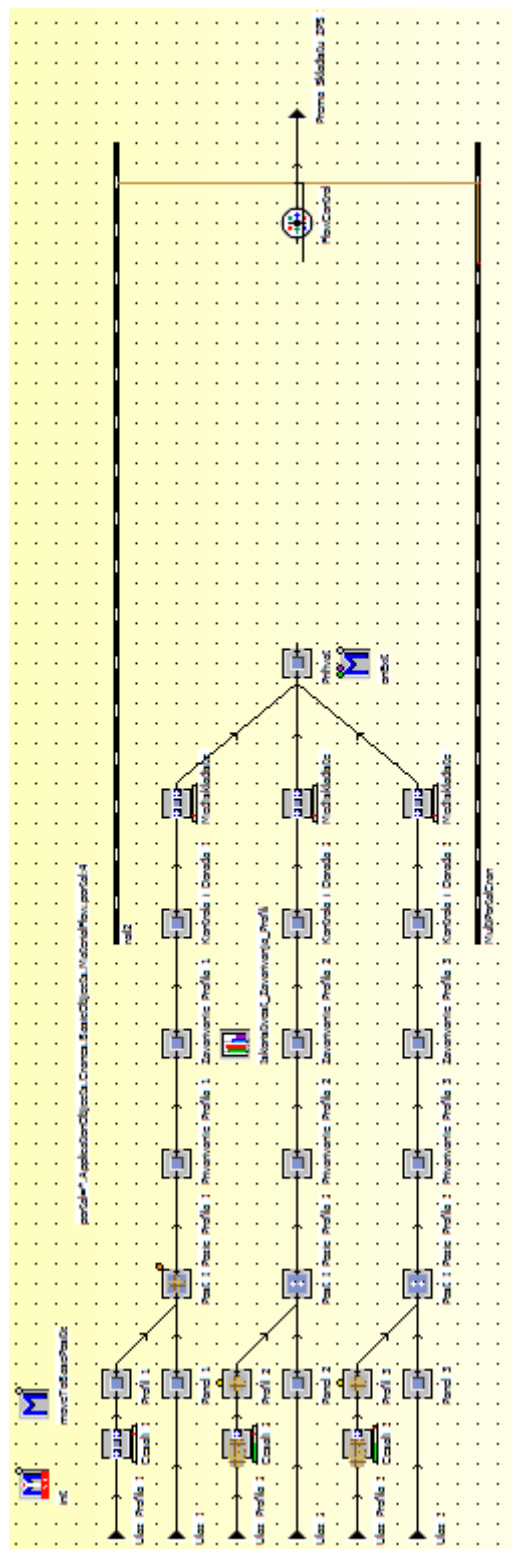


Slika 33. Prvi takt radionica ravnih plošnih sekcija



Slika 34. Drugi takt radionica ravnih plošnih sekcija





Slika 35. Treći takt radionica ravnih plošnih sekcija

#### 4. ANALIZA SIMULACIJSKOG MODELA

Nakon što se simulacijski model verificira, odnosno utvrdi da model ispravno opisuje projektirani proces proizvodnje, pristupa se analizi i vrednovanju modela kako bi se ustanovilo ispunjava li radionica postavljene ciljeve prilikom proizvodnje. Pri analiziranju modela potrebno je temeljem narudžbene specifikacije odrediti redoslijed i vrijeme puštanja materijala u proizvodnju. Kroz provedeno eksperimentiranje s različitim modelima pratit će se rad strojeva:

- Stroj za koordinatno rezanje
- Stroj za paralelno rezanje
- Stroj za savijanje limova
- Stroj za rezanje profila
- Zavarivanja prve polovice traka u radionici podsklopova
- Zavarivanja druge polovice traka u radionici podsklopova
- Zavarivanje uzdužne trake u radionici podsklopova
- Zavarivanje četiri lima na panel liniji u radionici RPS\_1
- Zavarivanje dvanaest profila na panel liniji u radionici RPS\_1
- Zavarivanje dva lima na panel liniji u radionici ZPS\_1
- Zavarivanje šest profila na panel liniji u radionici ZPS\_1

Potreban materijal sa skladišta i linije predobrade limova, profila i traka dolazi u skladište predobrađenog materijala gdje se slaže na međuskladišta limova, profila i traka.

Model je definiran na način da se entitet „Lim“ namijenjen radionicama RPS\_1, RPS\_2, ZPS\_1 i ZPS\_2 reže na strojevima za paralelno rezanje, dok je entitet „Uzduzni\_Lim“ namijenjen za radionicu podsklopova te se reže na stroju za koordinatno rezanje. 40% entiteta „Lim“, namijenjenih za radionicu ZPS\_1 i ZPS\_2, transportira se na stroj za savijanje limova te se zatim transportiraju na međuskladišta u međuradionici. Od te količine limova, 27% entiteta „Lim“ transportira se u radionicu RPS\_1, 27% u radionicu RPS\_2, dok se 23% entiteta „Lim“ transportira u radionice ZPS\_1 i ZPS\_2.

Profili i trake obrađuju se na liniji rezanja profila. Nakon obrade entiteti „Uzduzna\_Traka“ i „Poprecna\_Traka“ transportiraju se u radionicu podsklopova, dok se

entitet „Profil“ transportira po 27% u radionice RPS\_1 i RPS\_2, odnosno po 23% dok u radionice ZPS\_1 i ZPS\_2. Gotovi proizvodi iz radionica transportiraju se na skladišta.

Rezultati simulacije nastali su korištenjem programskog paketa „Tecnomatix Plant Simulation 12“ te se prikazuju grafički i tablično.

Dobiveni rezultati nastali su korištenjem programskog paketa „Tecnomatix Plant Simulation 12“ te se prikazuju grafički i tablično.

Vrijeme promatranja se u programskom paketu „Tecnomatix Plant Simulation 12“ prikazuje u danima, satima i sekundama. Isto tako, vrijeme trajanja svakog promatranja se može prikazati preko broja radnih dana ili efektivnim radnim satima cijelog brodogradilišta. Da bi se dobio broj radnih dana potrebno je ukupno trajanje eksperimenta podijeliti s brojem dnevnih radnih smjena i s brojem radnih sati u toj jednoj radnoj smjeni. Kod svih analiza se pretpostavlja da se na ulaznom skladištu crne metalurgije nalazi dovoljna količina materijala. Kod svakog eksperimenta analizirat će se izlazni rezultati sljedećih slučajeva:

- Dnevna proizvodnja – 1 radni dan
- Mjesečna proizvodnja – 30 radnih dana
- Šestomjesečna proizvodnja – 125 radnih dana
- Godišnja proizvodnja – 250 radnih dana

#### 4.1. Prvi eksperiment – jedan dan proizvodnje

##### 4.1.1. Konstantna proizvodnja

Ulazno skladište materijala je definirano i modelirano tako da profili i trake napuštaju svoje skladište nakon 9 „odležanih“ minuta, dok se za lim pretpostavlja da napušta skladište nakon „odležanih“ 26 minuta. Pri ovom eksperimentu rad strojeva unutar proizvodnje je bez zastoja ili kvara.

**Tablica 4. Dnevna proizvodnja– konstantna proizvodnja**

Naziv	Model s pet entiteta		
	Podsklop	RPS	ZPS
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice			
Simulacijska proizvodnja	19	4	7
Proračun proizvodnje u excelu	20	5	7

[Slika 36] prikazuje stanje stroja za koordinatno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 70.03% vremena te da je 29.97% vremena u stanju čekanja.

[Slika 36] prikazuje stanje stroja za paralelno rezanje. Ona prikazuje da stroj radi 87.3% vremena te da je 12.7% vremena u stanju čekanja.

[Slika 36] prikazuje stanje stroja za savijanje limova. Iz nje se može vidjeti da stroj radi 93.6% vremena te da je 6.4% u stanju čekanja.

Stanje stroja za rezanje profila je prikazano na [Slika 36]. Stroj „Robot\_Rezanje“ radi 97.5% vremena, dok stroj „Robot\_Rezanje1“ radi 50.2% vremena, a stroj „Robot\_Rezanje2“ radi 29.7% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 36] prikazuje praćenje 2. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 22% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 36] prikazuje praćenje 3. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 22% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

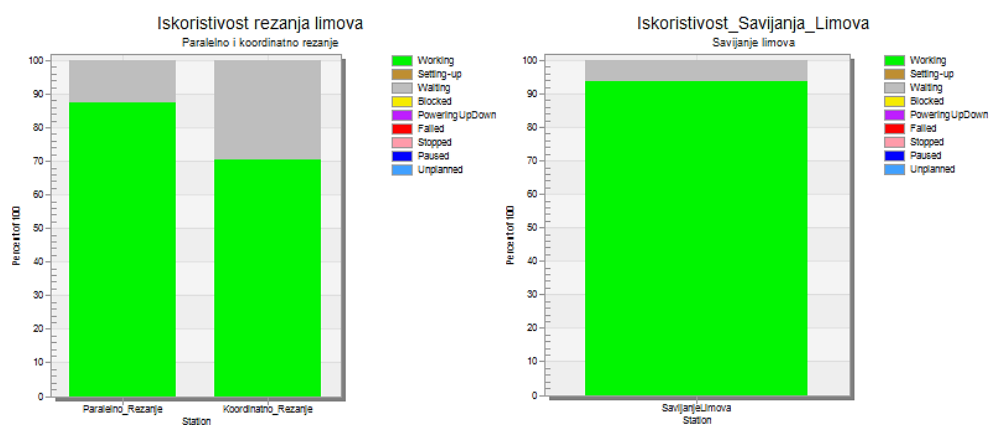
[Slika 36] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade 86.5% i 84% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

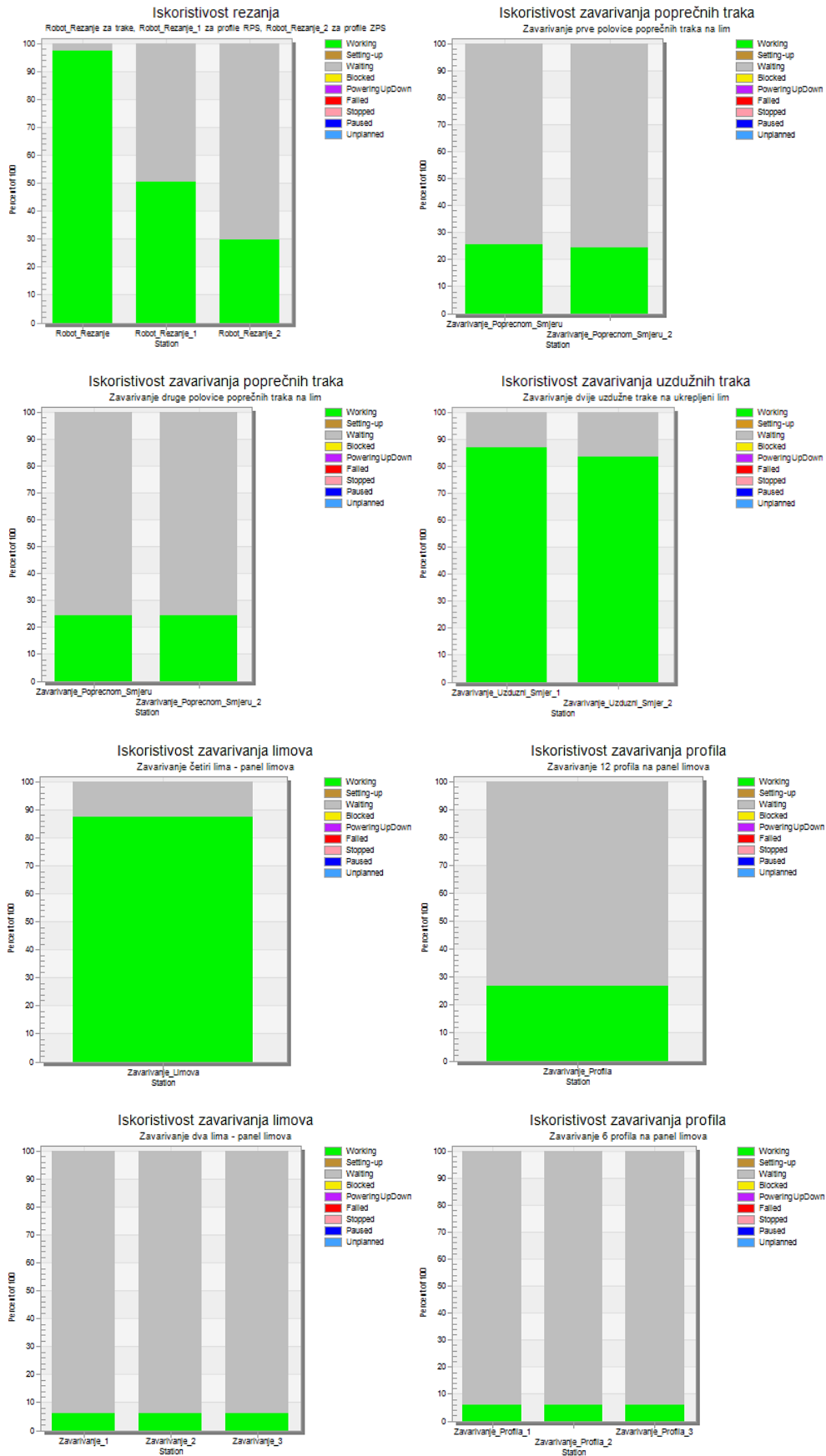
[Slika 36] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 87.8% vremena, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 36] prikazuje praćenje 4. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova s profilima radi 27% vremena, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 36] prikazuje praćenje 2. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje panela limova rade 6% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 36] prikazuje praćenje 3. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje panela limova s profilima rade 6.1% vremena, dok ostatak vremena provode na čekanju.





Slika 36. Rezultati analize dnevne proizvodnje

#### 4.1.2. Održavanje, promjena alata i zastoje u proizvodnji

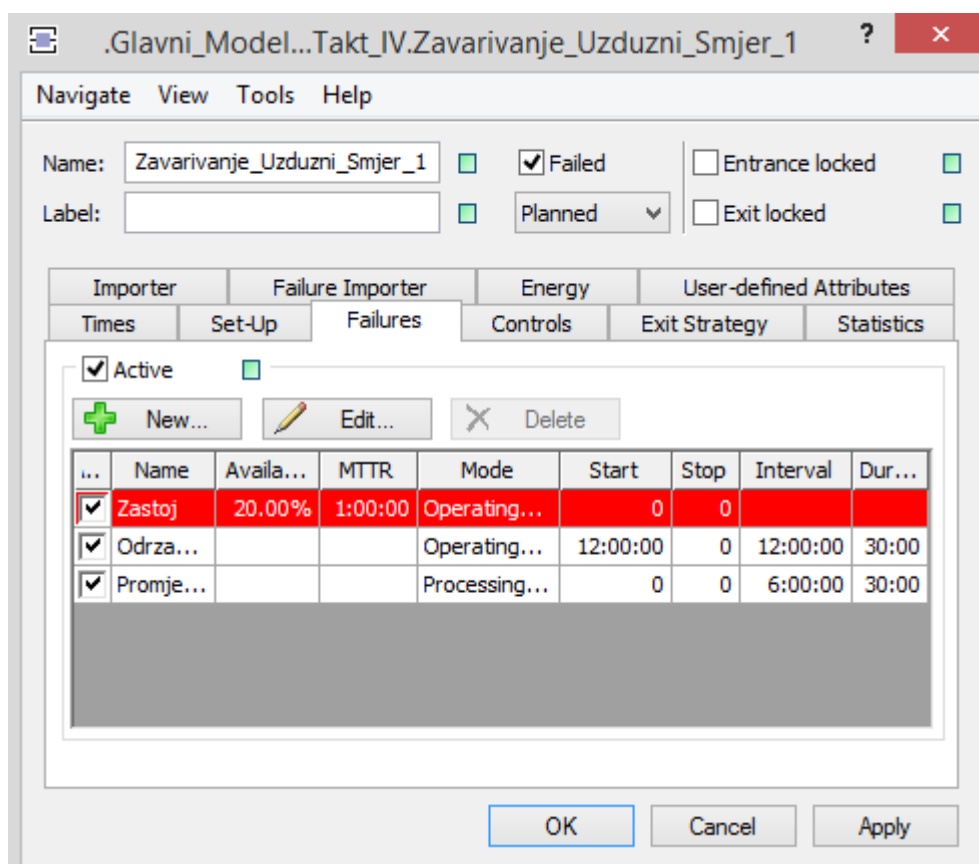
Usvrhu postizanja realnije slike okruženja u proizvodnji pri simulacijskom modeliranju potrebno je uključiti događaje koji sprječavaju konstantan tok materijala. U ovome primjeru analizirati će se tri takta:

- Zavarivanje uzdužne trake u radionici podsklopova
- Zavarivanje dvanaest profila na panel liniji u radionici RPS\_1
- Zavarivanje šest profila na panel liniji u radionici ZPS\_1

U dnevnoj proizvodnji uzeli smo pretpostavke [Slika 37]:

- strojevi trebaju održavanje svakih 12 h, a trajanje održavanja iznosi 30 min,
- promjena alata je svakih 6 h u trajanju od 30 min,
- vjerojatnost da se dogodi zastoje u proizvodnji (kvar stroja, loše rukovanje operatera) je 80 % pri čemu trajanje zastoja iznosi 1 h.

Preostala vjerojatnost od 20% je mogućnost upotrebljavanja stroja u bilo kojem vremenu. Trajanje pogreške kao i njen interval pojavljivanja je nasumično distribuirana („Erlang“ za trajanje i „Negexp“ za interval).



Slika 37. Rezultati analize dnevne proizvodnje

**Tablica 5. Dnevna proizvodnja – održavanje, promjena alata i zastoј**

Naziv	Model s pet entiteta		
	Podsklop	RPS	ZPS
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice			
Simulacijska proizvodnja	11	3	5
Proračun proizvodnje u excelu	20	5	7

**Tablica 6. Usporedba proizvodnje radionica - održavanje, promjena alata i zastoј**

Radionica RPS_1	1
Radionica RPS_2	2
Radionica ZPS_1	1
Radionica ZPS_2	4
Radionica podsklopova	11

[Slika 38] prikazuje stanje stroja za koordinatno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 84.4% vremena te da je 15.6% vremena u stanju čekanja.

[Slika 38] prikazuje stanje stroja za paralelno rezanje. Ona prikazuje da stroj radi 67.7% vremena te da je 33.3% vremena u stanju čekanja.

[Slika 38] prikazuje stanje stroja za savijanje limova. Iz nje se može vidjeti da stroj radi 87.5% vremena te da je 12.5% u stanju čekanja.

Stanje stroja za rezanje profila je prikazano na [Slika 38]. Stroj „Robot\_Rezanje“ radi 93.8% vremena, dok stroj „Robot\_Rezanje1“ radi 48.9% vremena, a stroj „Robot\_Rezanje2“ radi 28.9% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 38] prikazuje praćenje 2. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru“ radi 17.4% vremena te je blokiran 34% vremena. Stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru\_2“ radi 23.6% vremena. Ostatak vremena strojevi su u stanju čekanja.

[Slika 38] prikazuje praćenje 3. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru“ radi 13.9% vremena te je blokiran 49.7% vremena. Stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru\_2“ radi 22.7% vremena. Ostatak vremena strojevi su u stanju čekanja.

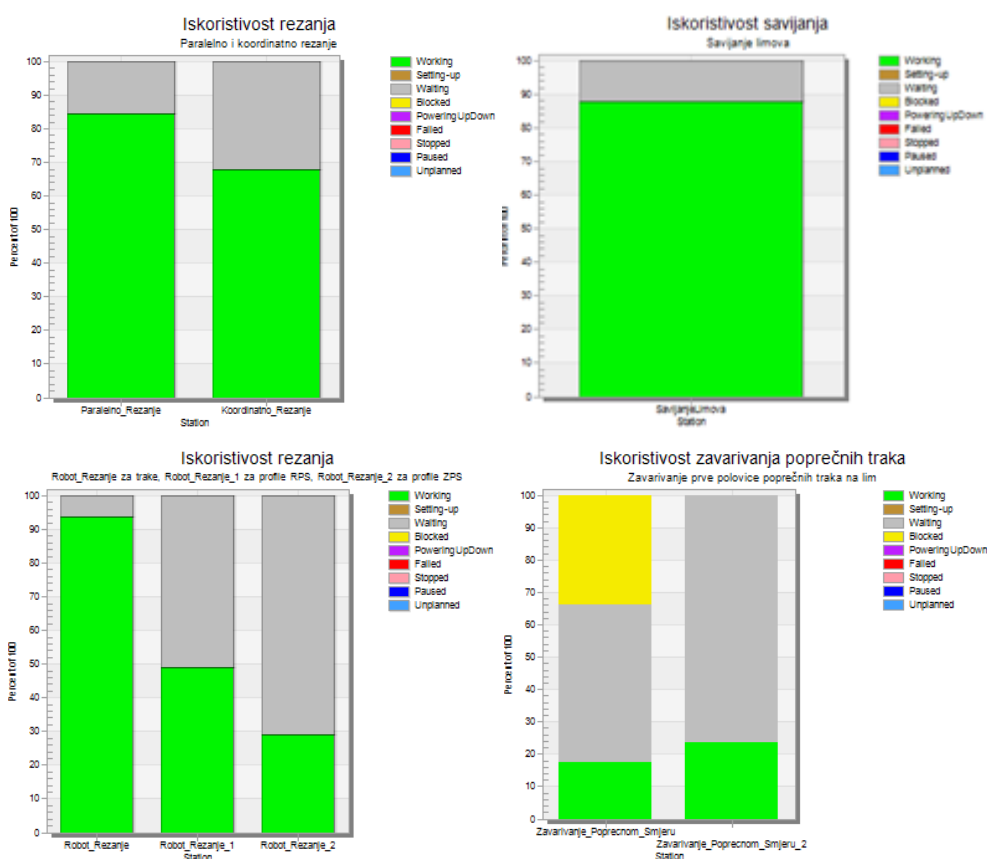
[Slika 38] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_Uzduzni\_Smjer\_1“ radi 18.5% vremena, te je u zastoju 80% vremena. Stroj „Zavarivanje\_Uzduzni\_Smjer\_2“ radi 83.5%. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 38] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 80.5% vremena, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

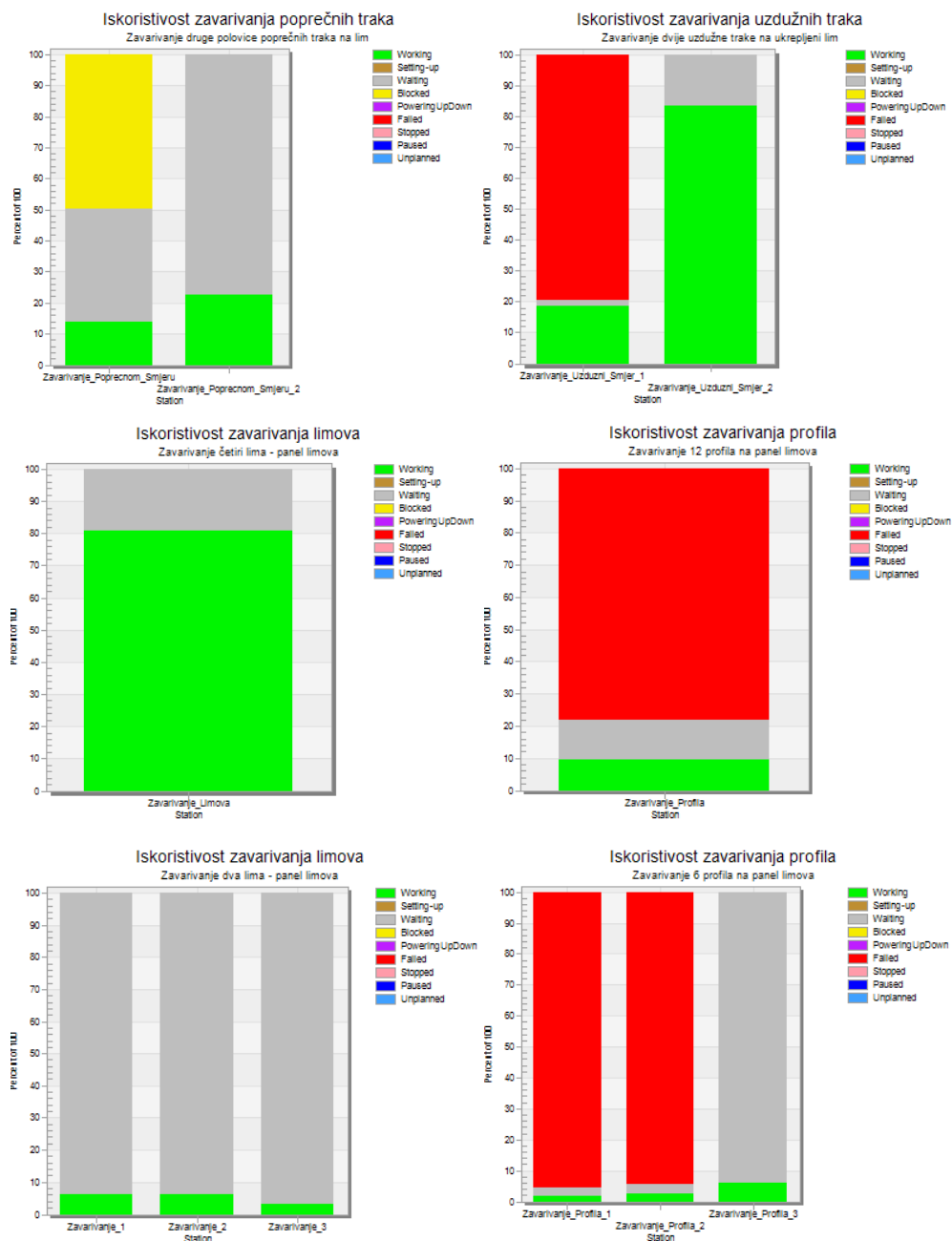
[Slika 38] prikazuje praćenje 4. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova s profilima radi 10% vremena, dok je 78% vremena je u zastoju, a ostatak vremena provodi na čekanju.

[Slika 38] prikazuje praćenje 2. takta radionice ZPS\_2. Stroj „Zavarivanje\_1“ radi 6.3% vremena. Stroj „Zavarivanje\_2“ radi 6.3% vremena. Stroj „Zavarivanje\_3“ radi 3.1% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 38] prikazuje praćenje 3. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_profila\_1“ radi 2% vremena, a 95% vremena je u zastoju. Stroj „Zavarivanje\_profila\_2“ radi 3% vremena, a 94% vremena je u zastoju. Stroj „Zavarivanje\_profila\_3“ radi 6% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.







Slika 38. Rezultati analize mjesečne proizvodnje

## 4.2. Drugi eksperiment – mjesec dana proizvodnje

### 4.2.1. Konstantna proizvodnja

Tablica 7. Mjesečna proizvodnja – konstantna proizvodnja

Naziv	Model s pet entiteta		
	Podsklop	RPS	ZPS
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice			
Simulacijska proizvodnja	618	146	204
Proračun proizvodnje u excelu	606	137	201

[Slika 39] prikazuje stanje stroja za koordinatno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 40% vremena te da je 60% vremena u stanju čekanja.

[Slika 39] prikazuje stanje stroja za paralelno rezanje. Ona prikazuje da stroj radi 60% vremena te da je 40% vremena u stanju čekanja.

[Slika 39] prikazuje stanje stroja za savijanje limova. Iz nje se može vidjeti da stroj radi 47% vremena te da je 2% blokiran. Ostatak vremena je u stanju čekanja.

Stanje stroja za rezanje profila je prikazano na [Slika 39]. Stroj „Robot\_Rezanje“ radi 74% vremena, dok stroj „Robot\_Rezanje1“ radi 33% vremena, a stroj „Robot\_Rezanje2“ radi 19.5% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 39] prikazano je praćenje 2. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 19.1% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 39] prikazuje praćenje 3. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 19.1% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

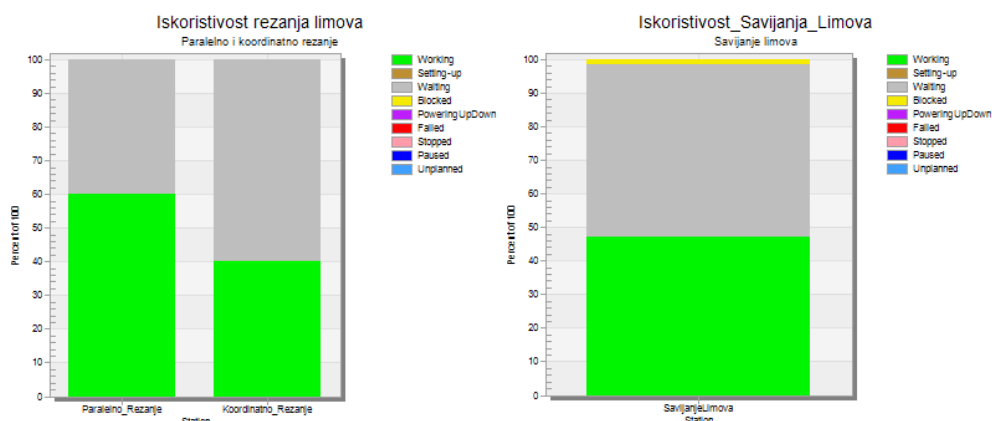
[Slika 39] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 82% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

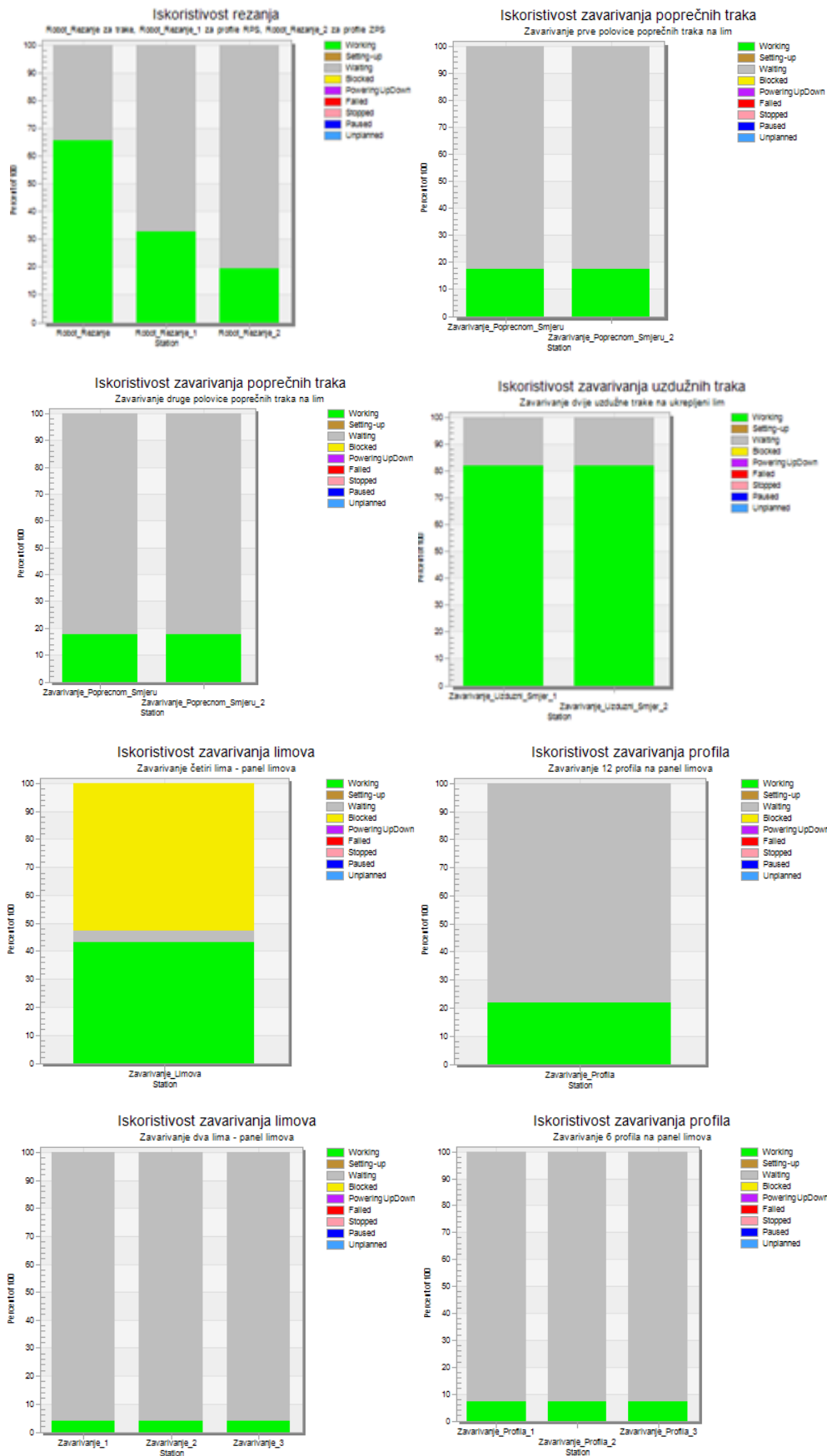
[Slika 39] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 43% vremena te je blokiran 52.5%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 39] prikazuje praćenje 4. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova s profilima radi 21.8% vremena, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 39] prikazuje praćenje 2. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje panela limova rade 4% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja

[Slika 39] prikazuje praćenje 3. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje rade 7.2% vremena, dok ostatak vremena provode na čekanju.





Slika 39. Rezultati analize mjesečne proizvodnje

#### 4.2.2. Održavanje, promjena alata i zastoje u proizvodnji

**Tablica 8. Mjesečna proizvodnja – održavanje, promjena alata i zastoje**

Naziv	Model s pet entiteta		
	Podsklop	RPS	ZPS
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice			
Simulacijska proizvodnja	431	125	192
Proračun proizvodnje u excelu	606	137	201

**Tablica 9. Usporedba proizvodnje radionica - održavanje, promjena alata i zastoje**

Radionica RPS_1	52
Radionica RPS_2	73
Radionica ZPS_1	90
Radionica ZPS_2	102
Radionica podsklopova	431

[Slika 40] prikazuje stanje stroja za koordinatno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 40% vremena te da je 60% vremena u stanju čekanja.

[Slika 40] prikazuje stanje stroja za paralelno rezanje. Ona prikazuje da stroj radi 60% vremena te da je 40% vremena u stanju čekanja.

[Slika 40] prikazuje stanje stroja za savijanje limova. Iz nje se može vidjeti da stroj radi 47 % vremena te da je 2% blokiran. Ostatak vremena provodi u stanju čekanja.

Stanje stroja za rezanje profila je prikazano na [Slika 40]. Stroj „Robot\_Rezanje“ radi 67.3% vremena, dok stroj „Robot\_Rezanje1“ radi 33.5% vremena, a stroj „Robot\_Rezanje2“ radi 20% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 40] prikazuje praćenje 2. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru“ radi 4.6% vremena te je blokiran 92.5% vremena, dok ostatak vremena provodi stanju čekanja. Stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru\_2“ radi 21.4% vremena te je blokiran 68.9% vremena, dok ostatak vremena provodi stanju čekanja.

[Slika 40] prikazuje praćenje 3. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru“ radi 4.5% vremena te je blokiran 93.3% vremena, dok ostatak vremena provodi stanju čekanja. Stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru\_2“ radi 21.3% vremena te je blokiran 69.7% vremena, dok ostatak vremena provodi stanju čekanja.

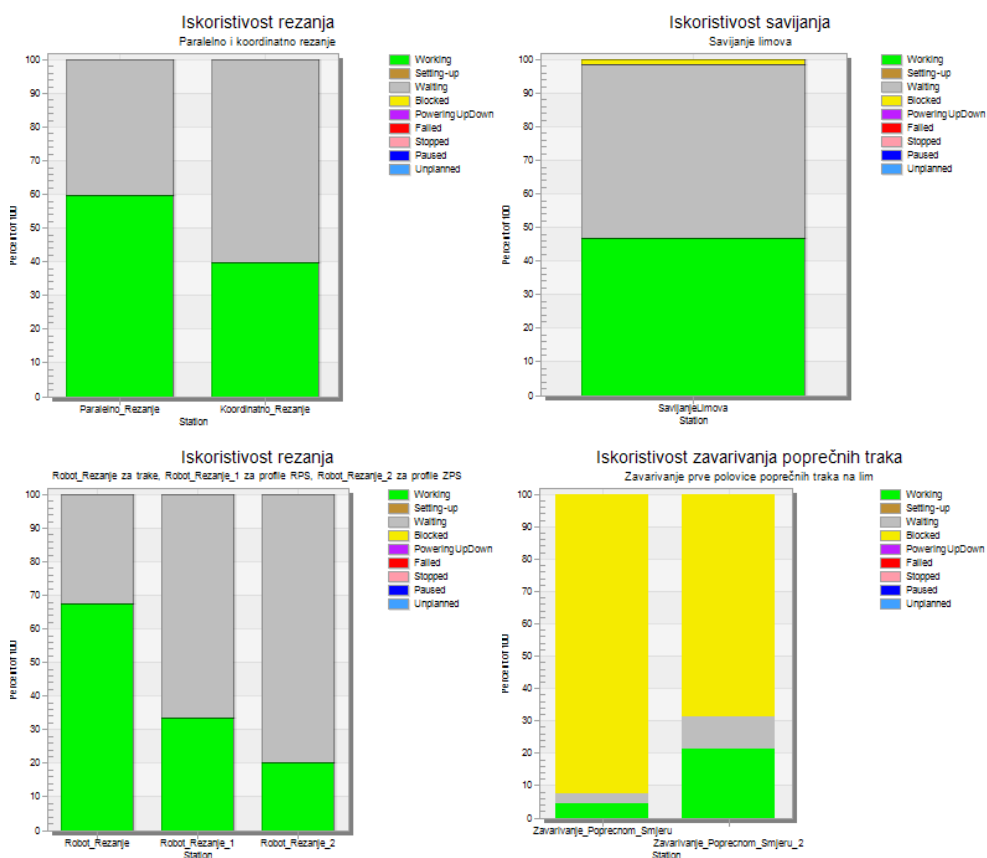
[Slika 40] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_Uzduzni\_Smjer\_1“ radi 19.8% vremena, te je u zastoju 80.2% vremena. Stroj „Zavarivanje\_Uzduzni\_Smjer\_2“ radi 98%, a ostatak vremena prvodi na čekanju.

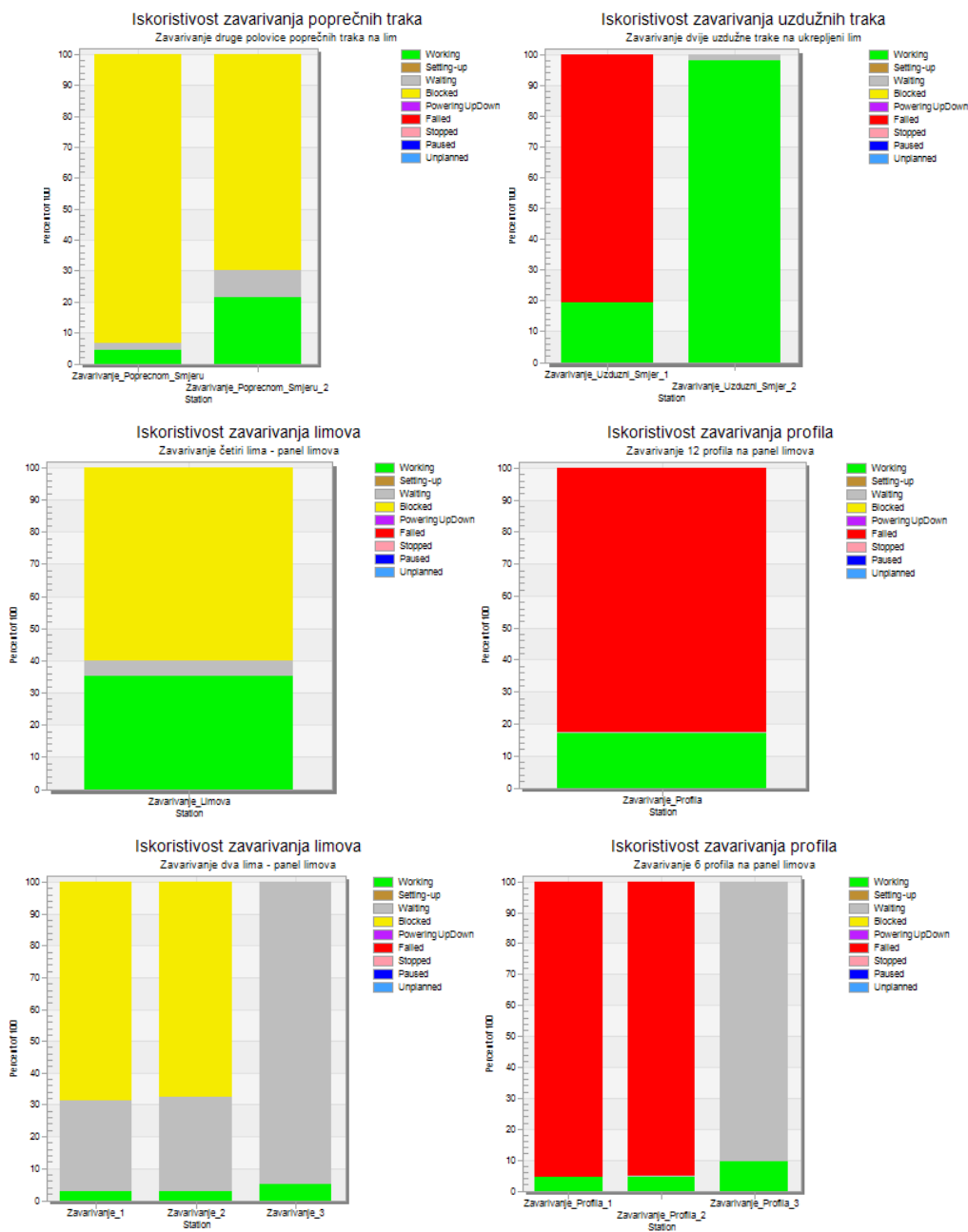
[Slika 40] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 35.3% vremena, te je blokiran 60.2%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 40] prikazuje praćenje 4. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova s profilima radi 17.9% vremena, dok je 82% vremena je u zastoju, a ostatak vremena provodi na čekanju.

[Slika 40] prikazuje praćenje 2. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_1“ radi 2.8% vremena te je blokiran 68.8% vremena. Stroj „Zavarivanje\_2“ radi 2.9% vremena te je blokiran 68.8% vremena. Stroj „Zavarivanje\_3“ radi 5% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 40] prikazuje praćenje 3. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_profila\_1“ radi 4% vremena, a 96% vremena je u zastoju. Stroj „Zavarivanje\_profila\_2“ radi 4% vremena, a 95.9% vremena je u zastoju. Stroj „Zavarivanje\_profila\_3“ radi 10% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.





Slika 40. Rezultati analize mjesečne proizvodnje

### 4.3. Treći eksperiment – šest mjeseci proizvodnje

#### 4.3.1. Konstantna proizvodnja

Tablica 10. Šest mjeseci proizvodnje – konstantna proizvodnja

Naziv	Model s pet entiteta		
	Podsklop	RPS	ZPS
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice			
Simulacijska proizvodnja	2594	615	859
Proračun proizvodnje u excelu	2524	567	836

[Slika 41] prikazuje je stanje stroja za koordinatno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 40% vremena te da je 60% vremena u stanju čekanja.

[Slika 41] prikazuje stanje stroja za paralelno rezanje. Ona prikazuje da stroj radi 60% vremena te da je 40% vremena u stanju čekanja.

[Slika 41] prikazuje stanje stroja za savijanje limova. Iz nje se može vidjeti da stroj radi 47.5% vremena te da je 0.1% blokiran. Ostatak vremena je u stanju čekanja

Stanje stroja za rezanje profila je prikazano na [Slika 41]. Stroj „Robot\_Rezanje“ radi 76% vremena, dok stroj „Robot\_Rezanje1“ radi 33% vremena, a stroj „Robot\_Rezanje2“ radi 19.7% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 41] prikazuje praćenje 2. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 17.9% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 41] prikazuje praćenje 3. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 19.1% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

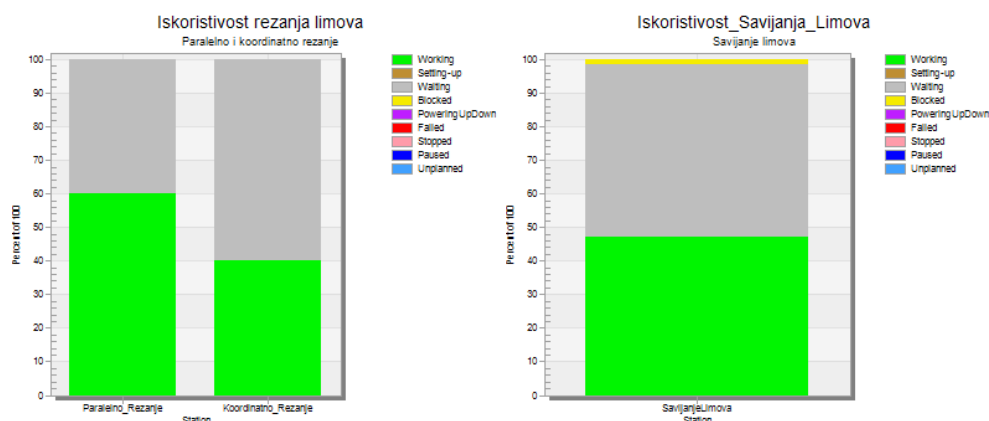
[Slika 41] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 82.3% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

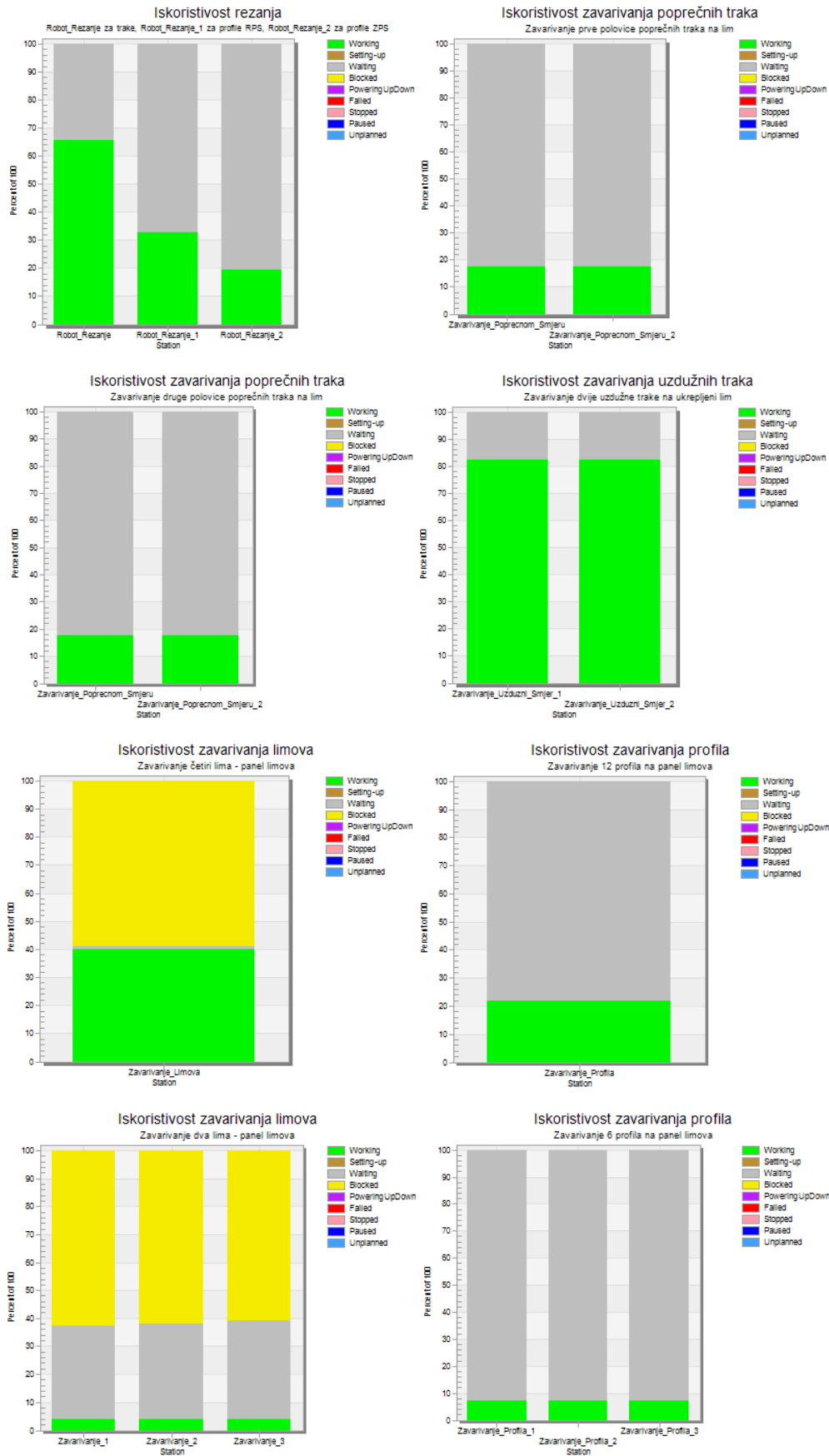
[Slika 41] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS\_1. Stroj za zavarivanje panela limova radi 43% vremena te je blokiran 52.5%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 41] prikazuje praćenje 4. takta radionice RPS\_1. Stroj za zavarivanje panela limova s profilima radi 22% vremena te je blokiran 59%, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 41] prikazuje praćenje 2. takta radionice ZPS\_2. Strojevi za zavarivanje panela limova rade 4% vremena te su blokirani po 58.5%, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 41] prikazuje praćenje 3. takta radionice ZPS\_2. Strojevi za zavarivanje panela limova s profilima rade 7.8% vremena, dok ostatak vremena provode na čekanju.





Slika 41. Rezultati analize šest mjeseci proizvodnje



#### 4.3.2. Održavanje, promjena alata i zastoj u proizvodnji

**Tablica 11. Šest mjeseci proizvodnje – održavanje, promjena alata i zastoj**

Naziv	Model s pet entiteta		
	Podsklop	RPS	ZPS
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice			
Simulacijska proizvodnja	1822	549	852
Proračun proizvodnje u excelu	2524	567	836

**Tablica 12. Usporedba proizvodnje radionica - održavanje, promjena alata i zastoj**

Radionica RPS_1	241
Radionica RPS_2	308
Radionica ZPS_1	422
Radionica ZPS_2	430
Radionica podsklopova	1822

[Slika 42] prikazuje stanje stroja za koordinatno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 40% vremena te da je 60% vremena u stanju čekanja.

[Slika 42] prikazuje stanje stroja za paralelno rezanje. Ona prikazuje da stroj radi 60% vremena te da je 40% vremena u stanju čekanja.

[Slika 42] prikazuje stanje stroja za savijanje limova. Iz nje se može vidjeti da stroj radi 47 % vremena te da je 2% blokiran. Ostatak vremena provodi u stanju čekanja.

Stanje stroja za rezanje profila je prikazano na [Slika 42]. Stroj „Robot\_Rezanje“ radi 40% vremena, dok stroj „Robot\_Rezanje1“ radi 28.3% vremena, a stroj „Robot\_Rezanje2“ radi 16.9% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 42] prikazuje praćenje 2. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru“ radi 4.1% vremena te je blokiran 95% vremena, dok ostatak vremena provodi stanju čekanja. Stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru\_2“ radi 21.3% vremena te je blokiran 77.3% vremena, dok ostatak vremena provodi stanju čekanja.

[Slika 42] prikazuje praćenje 3. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru“ radi 4.5% vremena te je blokiran 95.3% vremena, dok ostatak vremena provodi stanju čekanja. Stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru\_2“ radi 21.4% vremena te je blokiran 69.5% vremena, dok ostatak vremena provodi stanju čekanja.

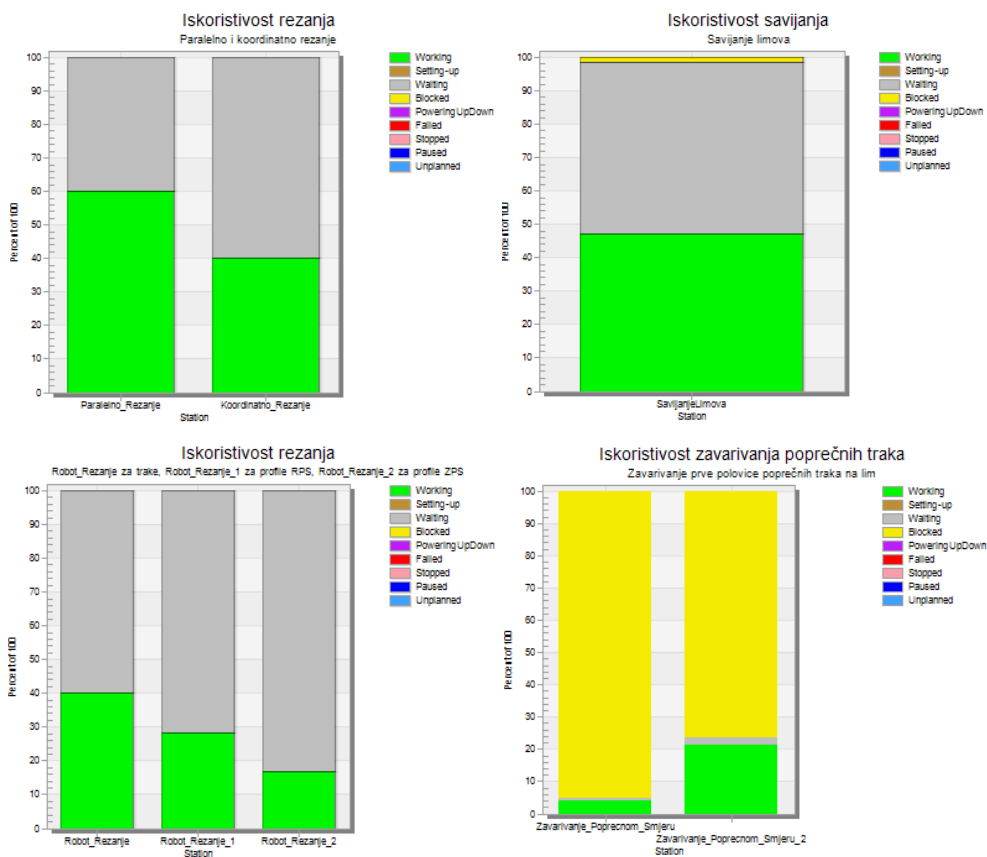
[Slika 42] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_Uzduzni\_Smjer\_1“ radi 20% vremena, te je u zastoju 80% vremena. Stroj „Zavarivanje\_Uzduzni\_Smjer\_2“ radi 99.8%, a 0.2% vremena provodi na čekanju.

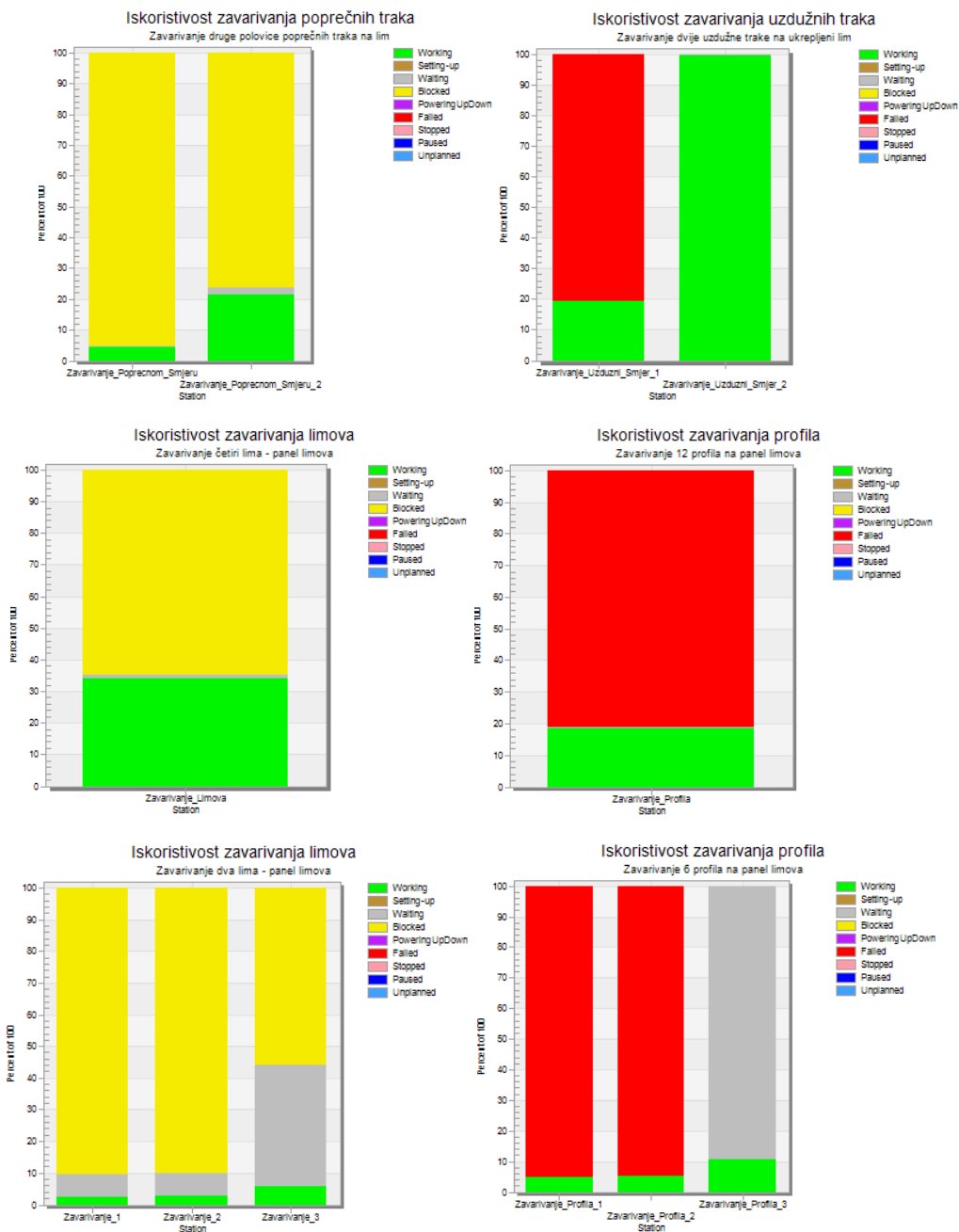
[Slika 42] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 34.2% vremena, te je blokiran 64.7% vremena, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 42] prikazuje praćenje 4. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 18.5% vremena, dok je 81.5% vremena je u zastoju.

[Slika 42] prikazuje praćenje 2. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_1“ radi 2.6% vremena te je blokiran 90.6% vremena. Stroj „Zavarivanje\_2“ radi 2.7% vremena te je blokiran 90.2% vremena. Stroj „Zavarivanje\_3“ radi 5.6% vremena te je blokiran 56% vremena.. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 42] prikazuje praćenje 3. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_profila\_1“ radi 4.5% vremena, a 95.3% vremena je u zastoju. Stroj „Zavarivanje\_profila\_2“ radi 4.5% vremena, a 95.3% vremena je u zastoju. Stroj „Zavarivanje\_profila\_3“ radi 11% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.





Slika 42. Rezultati analize šest mjeseci proizvodnje

#### 4.4. Četvrti eksperiment – godinu dana proizvodnje

##### 4.4.1. Konstantna proizvodnja

Tablica 13. Godinu dana proizvodnje – konstantna proizvodnja

Naziv	Model s pet entiteta		
	Podsklop	RPS	ZPS
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice			
Simulacijska proizvodnja	5194	1236	1721

Proračun proizvodnje u excelu	5049	1136	1674
-------------------------------	------	------	------

[Slika 43] prikazuje stanje stroja za koordinatno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 37% vremena te da je 63% vremena u stanju čekanja.

[Slika 43] prikazuje stanje stroja za paralelno rezanje. Ona prikazuje da stroj radi 56% vremena te da je 44% vremena u stanju čekanja.

[Slika 43] prikazuje stanje stroja za savijanje limova. Iz nje se može vidjeti da stroj radi 44% vremena te da je 2% blokiran. Ostatak vremena je u stanju čekanja.

Stanje stroja za rezanje profila je prikazano na [Slika 43]. Stroj „Robot\_Rezanje“ radi 65.8% vremena, dok stroj „Robot\_Rezanje1“ radi 32.2% vremena, a stroj „Robot\_Rezanje2“ radi 19.7% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 43] prikazuje praćenje 2. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 18% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 43] prikazuje praćenje 3. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 18% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

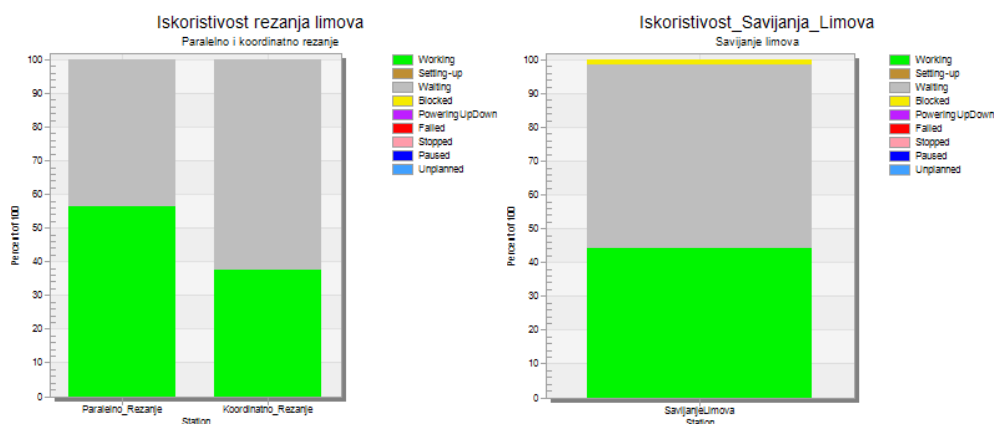
[Slika 43] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 82% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

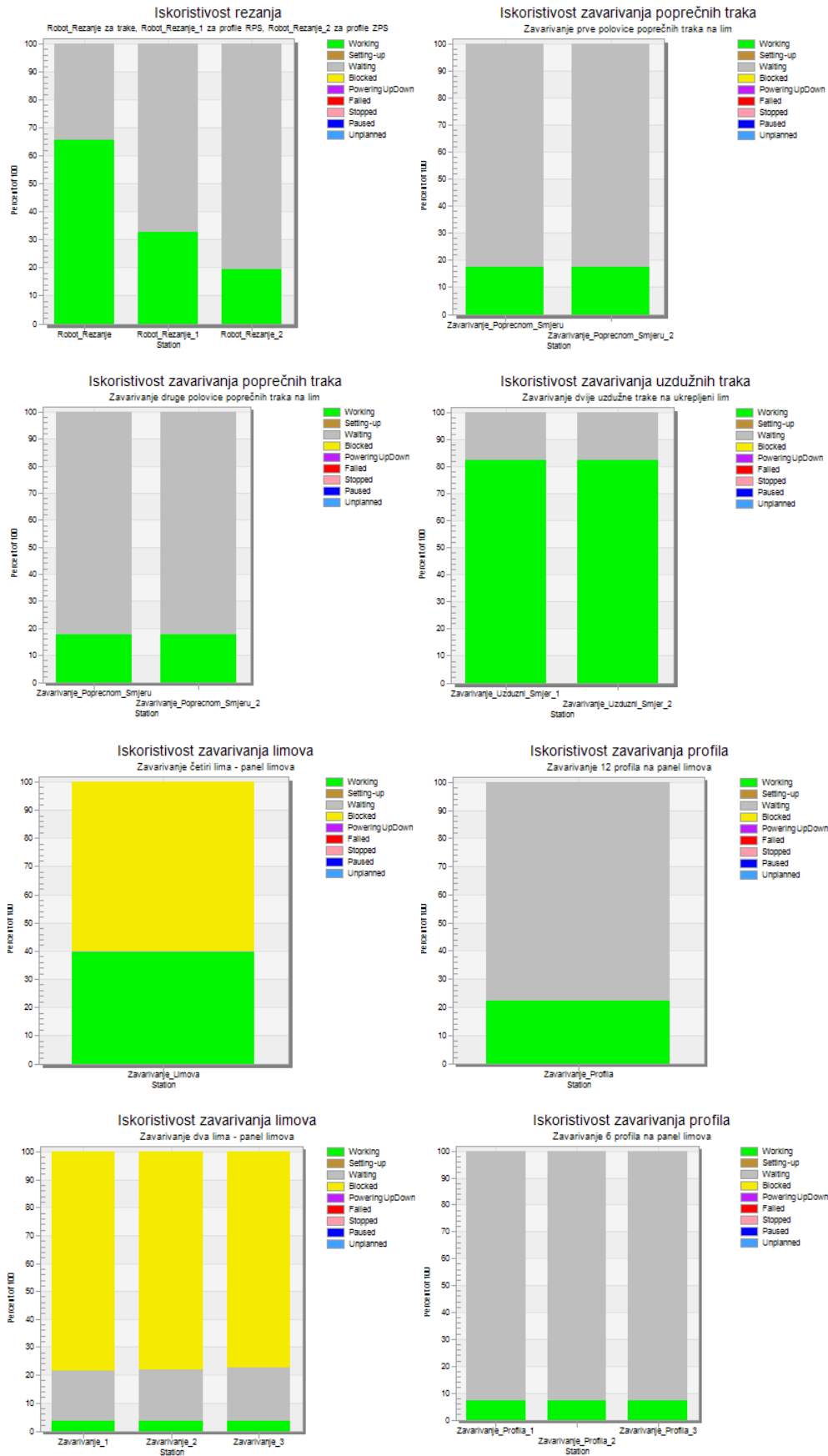
[Slika 43] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS\_1. Stroj za zavarivanje panela limova radi 40% vremena te je blokiran 59.9%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 43] prikazuje 4. takt radionice RPS\_1. Stroj za zavarivanje panela limova s profilima radi 22% te je blokiran 59% vremena. Ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 43] prikazuje praćenje 2. takta radionice ZPS\_2. Strojevi za zavarivanje panela limova rade 3.5% vremena te su blokirani po 78%, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 43] prikazuje praćenje 3. takta radionice ZPS\_2. Strojevi za zavarivanje panela limova s profilima rade 7.8% vremena, dok ostatak vremena provode na čekanju.





Slika 43. Rezultati analize šest mjeseci proizvodnje

#### 4.4.2. Održavanje, promjena alata i zastoj u proizvodnji

**Tablica 14. Godinu dana proizvodnje – održavanje, promjena alata i zastoj**

Naziv	Model s pet entiteta		
	Podsklop	RPS	ZPS
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice			
Simulacijska proizvodnja	3660	1049	1521
Proračun proizvodnje u excelu	5049	1136	1674

**Tablica 15. Usporedba proizvodnje radionica - održavanje, promjena alata i zastoj**

Radionica RPS_1	3660
Radionica RPS_2	500
Radionica ZPS_1	757
Radionica ZPS_2	764
Radionica podsklopova	1822

[Slika 44] prikazuje stanje stroja za koordinatno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 40% vremena te da je 60% vremena u stanju čekanja.

[Slika 44] prikazuje stanje stroja za paralelno rezanje. Ona prikazuje da stroj radi 60% vremena te da je 40% vremena u stanju čekanja.

[Slika 44] prikazuje stanje stroja za savijanje limova. Iz nje se može vidjeti da stroj radi 47 % vremena te da je 2% blokiran. Ostatak vremena provodi u stanju čekanja.

Stanje stroja za rezanje profila je prikazano na [Slika 44]. Stroj „Robot\_Rezanje“ radi 40% vremena, dok stroj „Robot\_Rezanje1“ radi 28.3% vremena, a stroj „Robot\_Rezanje2“ radi 16.9% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 44] prikazuje praćenje 2. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru“ radi 4.2% vremena te je blokiran 95.4% vremena, dok ostatak vremena provodi stanju čekanja. Stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru\_2“ radi 21.3% vremena te je blokiran 77% vremena, dok ostatak vremena provodi stanju čekanja.

[Slika 44] prikazuje praćenje 3. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru“ radi 4.2% vremena te je blokiran 95.5% vremena, dok ostatak vremena provodi stanju čekanja. Stroj „Zavarivanje\_Poprecnom\_Smjeru\_2“ radi 21.4% vremena te je blokiran 77.3% vremena, dok ostatak vremena provodi stanju čekanja.

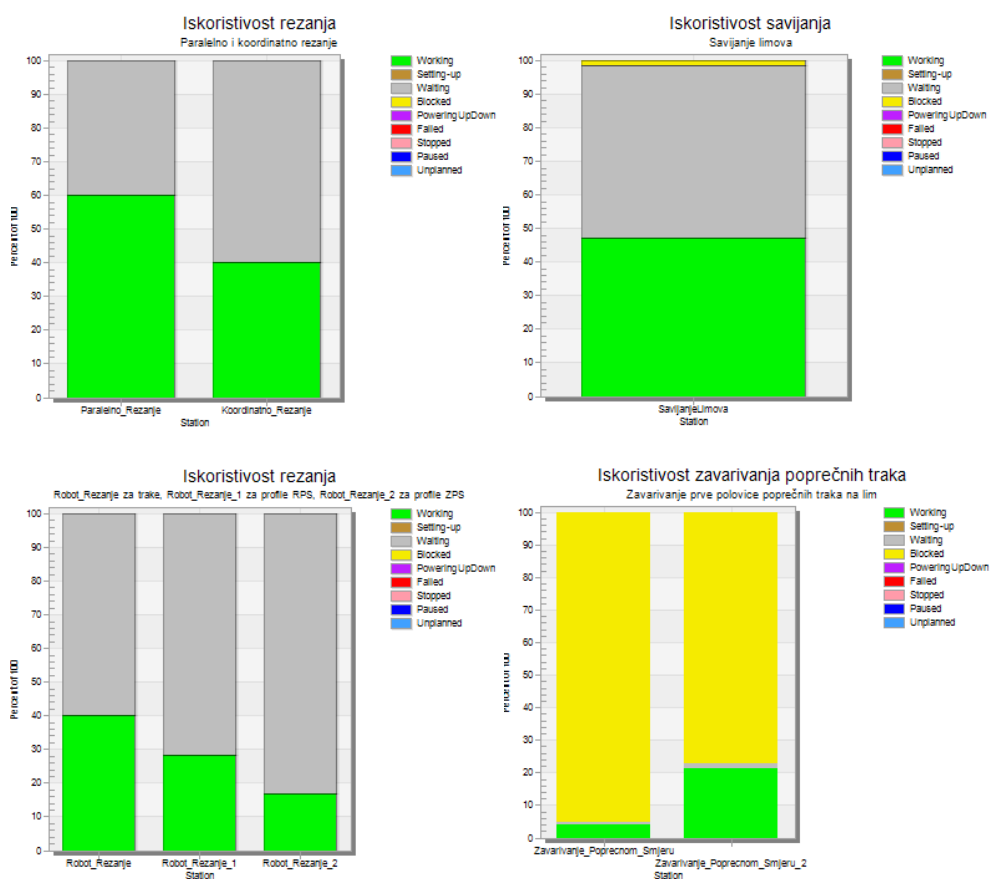
[Slika 44] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_Uzduzni\_Smjer\_1“ radi 20% vremena, te je u zastoju 80% vremena. Stroj „Zavarivanje\_Uzduzni\_Smjer\_2“ radi 100%.

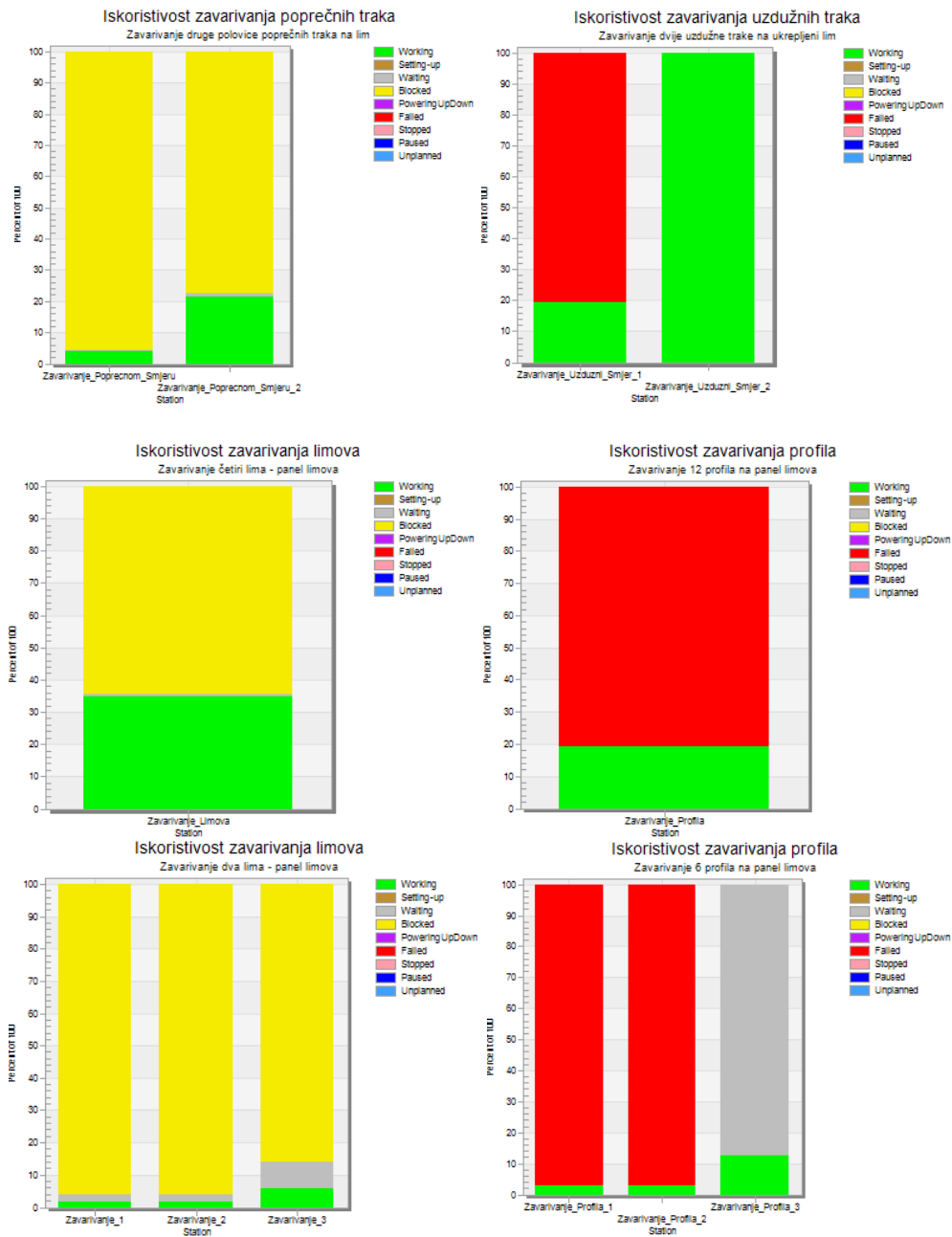
[Slika 44] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 34.9% vremena, te je blokiran 64.6% vremena, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 44] prikazuje praćenje 4. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova s profilima radi 20% vremena, dok je 80% vremena je u zastoju.

[Slika 44] prikazuje praćenje 2. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_1“ radi 1.6% vremena te je blokiran 96% vremena. Stroj „Zavarivanje\_2“ radi 1.6% vremena te je blokiran 95.9% vremena. Stroj „Zavarivanje\_3“ radi 6% vremena te je blokiran 86% vremena.. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 44] prikazuje praćenje 3. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje\_profila\_1“ radi 2.5% vremena, a 97.5% vremena je u zastoju. Stroj „Zavarivanje\_profila\_2“ radi 2.5% vremena, a 97.5% vremena je u zastoju. Stroj „Zavarivanje\_profila\_3“ radi 12.2% vremena, a ostatak vremena provodi na čekanju.





Slika 44. Rezultati analize šest mjeseci proizvodnje



## 5. POBOLJŠANJE PREDLOŽENOG PROJEKTOG RJEŠENJA

Analiza simulacijskog modela pruža nam uvid u proizvodni proces brodograđevne radionice na osnovu čega se donose zaključci o poboljšanju procesa proizvodnje. Simulacijom poboljšanog stanja nastoji se potvrditi te povećana efikasnost pojedinih strojeva ili proizvodnih linija.

Predložena su poboljšanja samog proizvodnog procesa u radionicama kod kojih je moguće provesti promjene i dobiti željene pozitivne rezultate.

Prilikom eksperimentiranja na modelu, a na temelju rezultata analize, došlo se do zaključka da stroj za koordinatno rezanje limova provodi 60% vremena u praznom hodu. Stoga je predloženo poboljšanje proizvodnog procesa izbacivanjem jednoga stroja iz proizvodnog procesa, te analiza takvog procesa za sva četiri eksperimenta s rezultatima.

Stroj za koordinatno rezanje je modeliran sa objektom „SingleProc“, dok je stroj za paralelno rezanje modeliran s objektom „ParallelProc“ s dimenzijom (X=1, Y=2), odnosno 2 stroja.

Također, analizom postojećeg stanja u izradi zakrivljenih sekcija došlo se do zaključka da je jedna linija za izradu zakrivljenih sekcija suvišna. Dvije linije iz radionice ZPS\_2 proizvode istu količinu gotovih proizvoda kao i radionica ZPS\_1 u kojoj su tri linije.

Reduciranje i ponavljanje nekih aktivnosti pridonosi manjim troškovima izrade, odnosno manji broj sati i ljudi potrebnih na proizvodnim linijama.

Predloženo poboljšanje je izbacivanje jedne linije za izradu zakrivljenih plošnih sekcija, odnosno reducirano na dvije radionice koje imaju po dvije linije zakrivljenih sekcija te analiza istoga procesa za sva četiri eksperimenta s rezultatima. Prikazat ćemo rezultate skupa linijom zakrivljenih sekcija koja nije u funkciji proizvodnje.

### 5.1. Prvi eksperiment – jedan dan reducirane proizvodnje

**Tablica 16. Dnevna proizvodnja – reducirana proizvodnja**

Naziv	Model s pet entiteta		
	Podsklop	RPS	ZPS
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice			
Simulacijska proizvodnja	18	4	4
Proračun proizvodnje u excelu	20	5	7

**Tablica 17. Usporedba proizvodnje radionica – reducirana dnevna proizvodnja**

Radionica RPS_1	2
Radionica RPS_2	2
Radionica ZPS_1	2
Radionica ZPS_2	2
Radionica podsklopova	18

[Slika 45] prikazuje stanje stroja za koordinatno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 81% vremena te da je 29.9% vremena u stanju čekanja.

[Slika 45] prikazuje stanje stroja za paralelno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 60% vremena te da je 40% vremena u stanju čekanja.

[Slika 45] prikazuje stanje stroja za savijanje limova. Iz nje se može vidjeti da stroj radi 40% vremena te da je 1% blokiran. Ostatak vremena je u stanju čekanja.

Stanje stroja za rezanje profila je prikazano na [Slika 45]. Stroj „Robot\_Rezanje“ radi 60.9% vremena, dok stroj „Robot\_Rezanje1“ radi 31.1% vremena, a stroj „Robot\_Rezanje2“ radi 18.3% vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 45] prikazuje praćenje 2. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 15.3% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 45] prikazuje praćenje 3. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 15.3% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

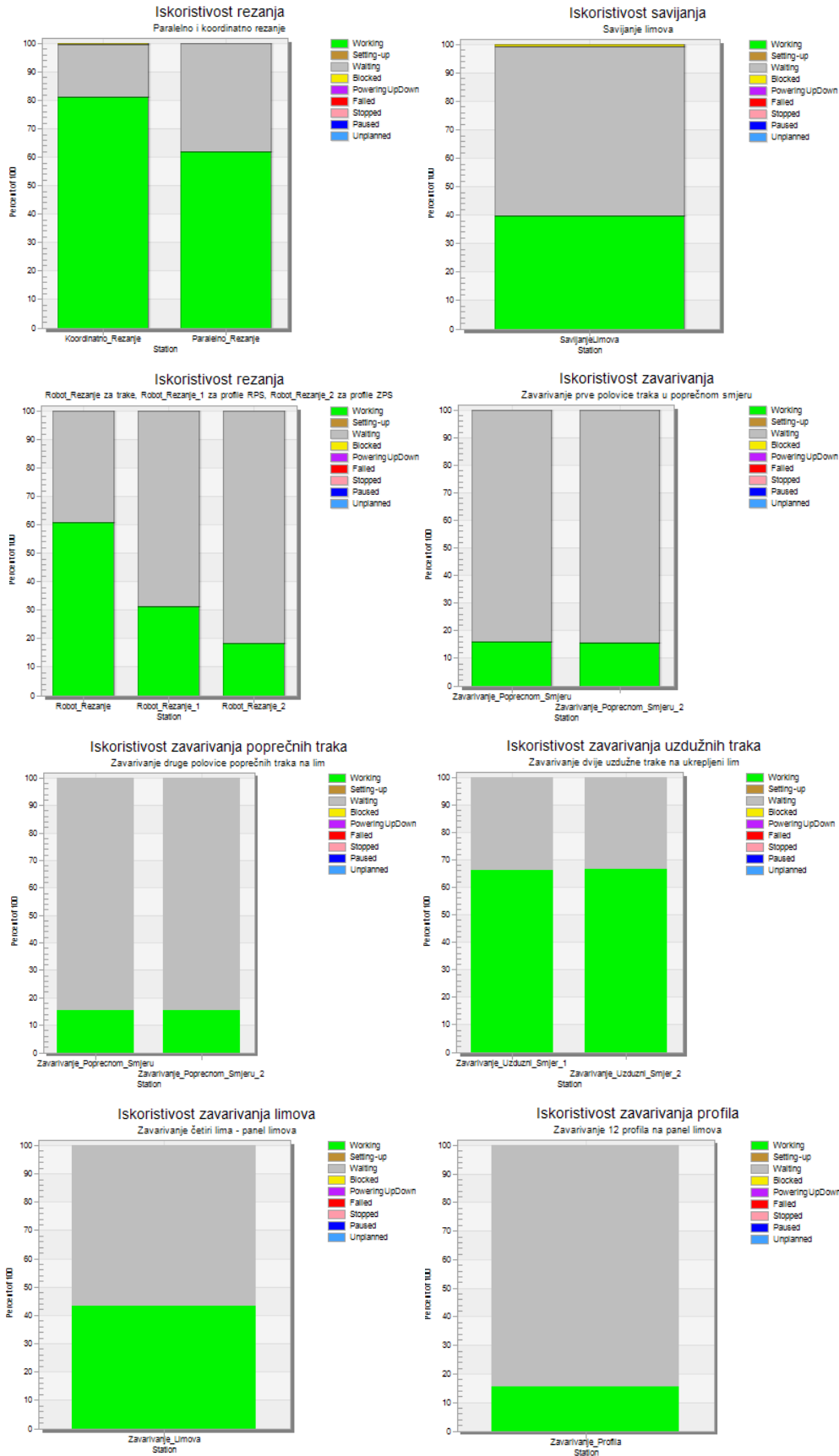
[Slika 45] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 65.4% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

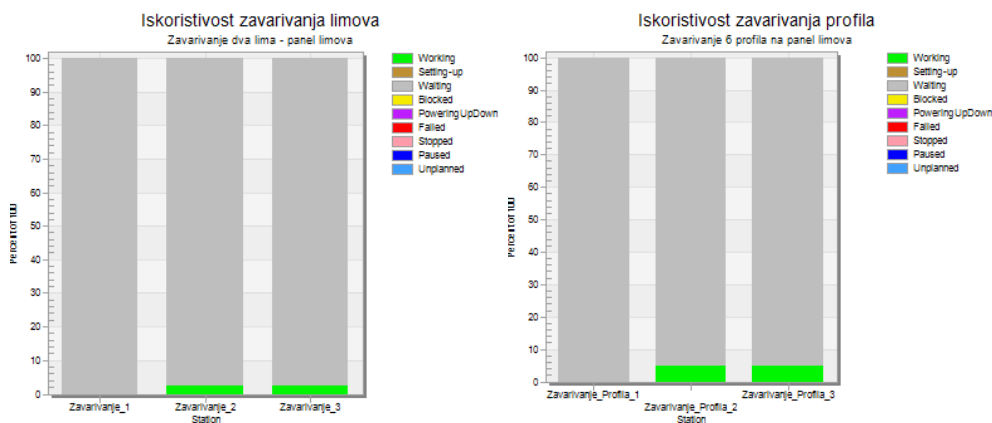
[Slika 45] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 41.8% vremena, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 45] prikazuje praćenje 4. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova s profilima radi 15.4% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 45] prikazuje praćenje 2. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje panela limova rade 2.5% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja. Stroj „Zavarivanje\_1“ nije u funkciji.

[Slika 45] prikazuje praćenje 3. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje panela limova s profilima rade 4.9% vremena, dok ostatak vremena provode na čekanju. Stroj „Zavarivanje\_profila\_1“ nije u funkciji.





Slika 45. Rezultati analize jednog dana reducirane proizvodnje

## 5.2. Drugi eksperiment – mjesec dana reducirane proizvodnje

Tablica 18. Mjesečna proizvodnja – reducirana proizvodnja

Naziv	Model s pet entiteta		
	Podsklop	RPS	ZPS
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice			
Simulacijska proizvodnja	618	146	204
Proračun proizvodnje u excelu	606	137	201

Tablica 19. Usporedba proizvodnje radionica – reducirana mjesečna proizvodnja

Radionica RPS_1	73
Radionica RPS_2	73
Radionica ZPS_1	102
Radionica ZPS_2	102
Radionica podsklopova	618

[Slika 46] prikazuje stanje stroja za koordinatno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 92% vremena te da je 8% vremena u stanju čekanja.

[Slika 46] prikazuje stanje stroja za paralelno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 60% vremena te da je 40% vremena u stanju čekanja.

[Slika 46] prikazuje stanje stroja za savijanje limova. Iz nje se može vidjeti da stroj radi 47% vremena te da je 2% blokiran. Ostatak vremena je u stanju čekanja.

Stanje stroja za rezanje profila je prikazano na [Slika 46]. Stroj „Robot\_Rezanje“ radi 67.4% vremena, dok stroj „Robot\_Rezanje1“ radi 33.6% vremena, a stroj „Robot\_Rezanje2“ radi 20 % vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 46] prikazuje praćenje 2. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 18.1% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 46] prikazuje praćenje 3. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 18.1% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

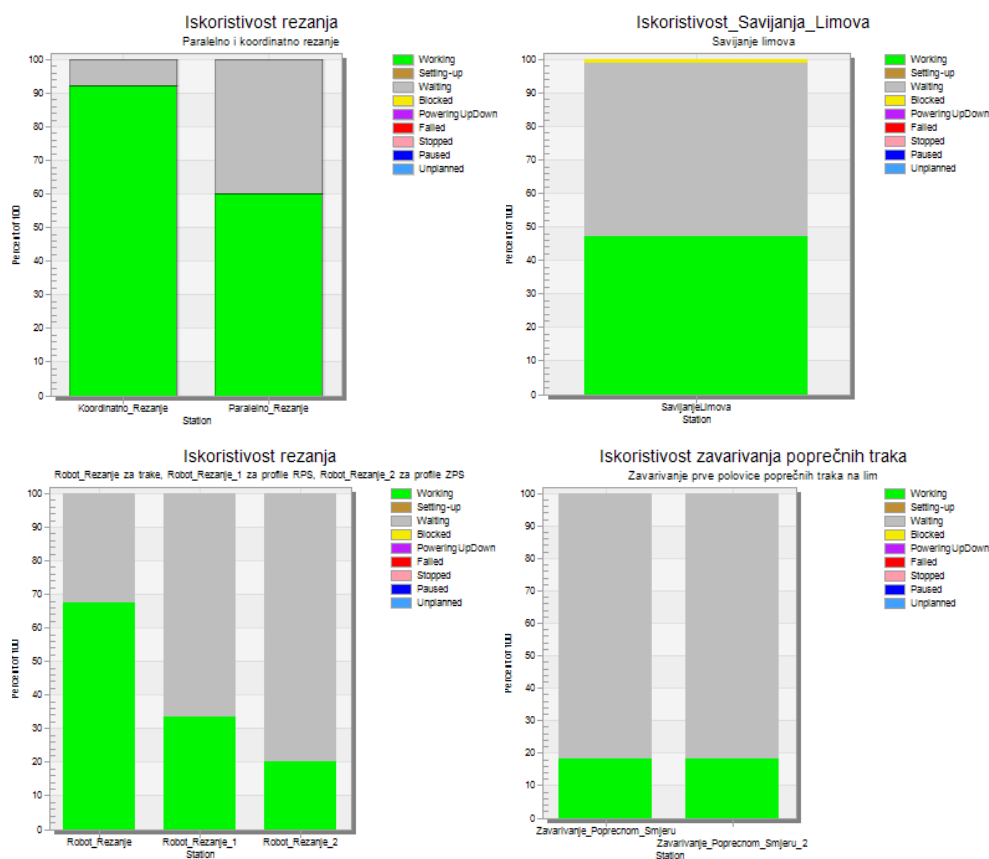
[Slika 46] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 84% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

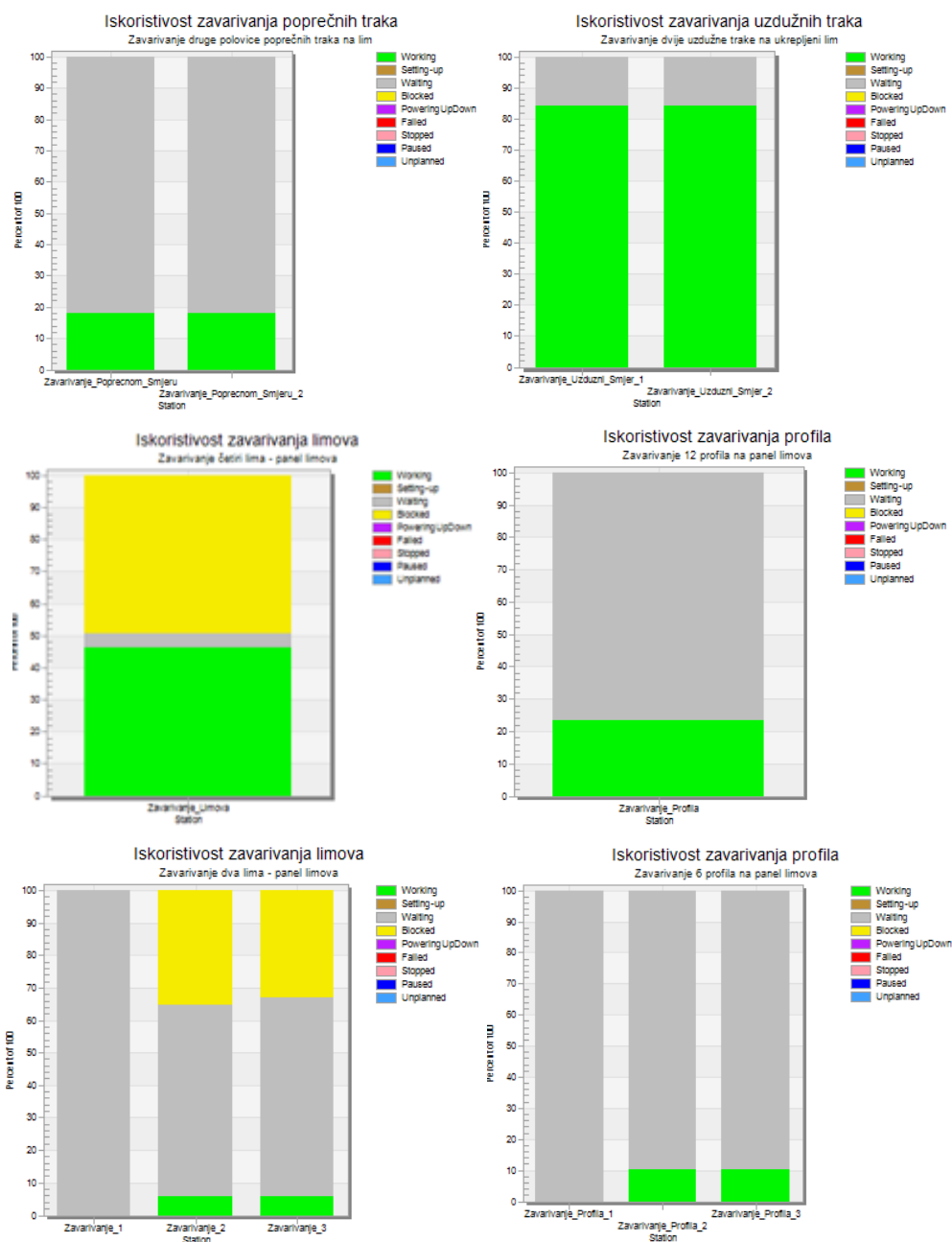
[Slika 46] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS\_1. Stroj za zavarivanje panela limova radi 46.2% vremena te je blokiran 49.4%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 46] prikazuje praćenje 4. takta radionice RPS\_1. Stroj za zavarivanje panela limova s profilima radi 23.5% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 46] prikazuje praćenje 2. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje panela limova rade 5.7% vremena. Stroj „Zavarivanje\_2“ je blokiran 35.4% vremena, dok stroj „Zavarivanje\_3“ je blokiran 33% vremena, a ostatak vremena su u stanju čekanja. Stroj „Zavarivanje\_1“ nije u funkciji.

[Slika 46] prikazuje praćenje 3. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje panela limova s profilima rade 10.5 % vremena, dok ostatak vremena provode na čekanju. Stroj „Zavarivanje\_1“ nije u funkciji.





Slika 46. Rezultati analize mjesec dana reducirane proizvodnje

### 5.3. Treći eksperiment – šest mjeseci reducirane proizvodnje

Tablica 20. Šest mjeseci proizvodnje – reducirana proizvodnja

Naziv	Model s pet entiteta		
	Podsklop	RPS	ZPS
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice			
Simulacijska proizvodnja	2594	617	860
Proračun proizvodnje u excelu	2524	567	836

**Tablica 21. Usporedba proizvodnje radionica – šest mjeseci reducirane proizvodnje**

Radionica RPS_1	309
Radionica RPS_2	308
Radionica ZPS_1	430
Radionica ZPS_2	430
Radionica podsklopova	2594

[Slika 47] prikazuje stanje stroja za koordinatno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 92% vremena te da je 8% vremena u stanju čekanja.

[Slika 47] prikazuje stanje stroja za paralelno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 60% vremena te da je 40% vremena u stanju čekanja.

[Slika 47] prikazuje stanje stroja za savijanje limova. Iz nje se može vidjeti da stroj radi 47% vremena te da je 2% blokiran. Ostatak vremena je u stanju čekanja.

Stanje stroja za rezanje profila je prikazano na [Slika 47]. Stroj „Robot\_Rezanje“ radi 67.4% vremena, dok stroj „Robot\_Rezanje1“ radi 33.6% vremena, a stroj „Robot\_Rezanje2“ radi 20 % vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 47] prikazuje praćenje 2. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 18.1% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 47] prikazuje praćenje 3. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 18.1% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

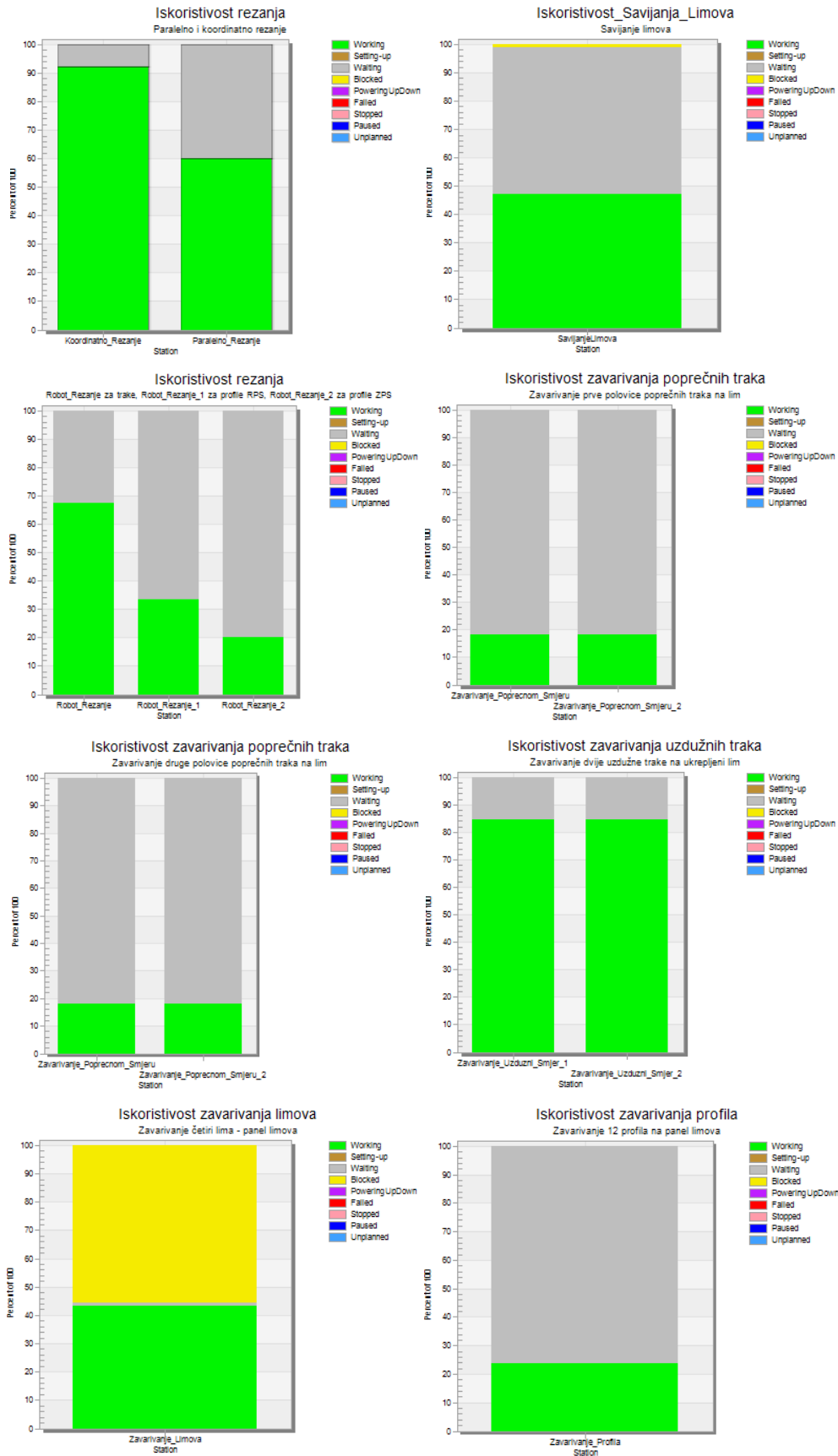
[Slika 47] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 84.5% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 47] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 43.3% vremena te je blokiran 55.7%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

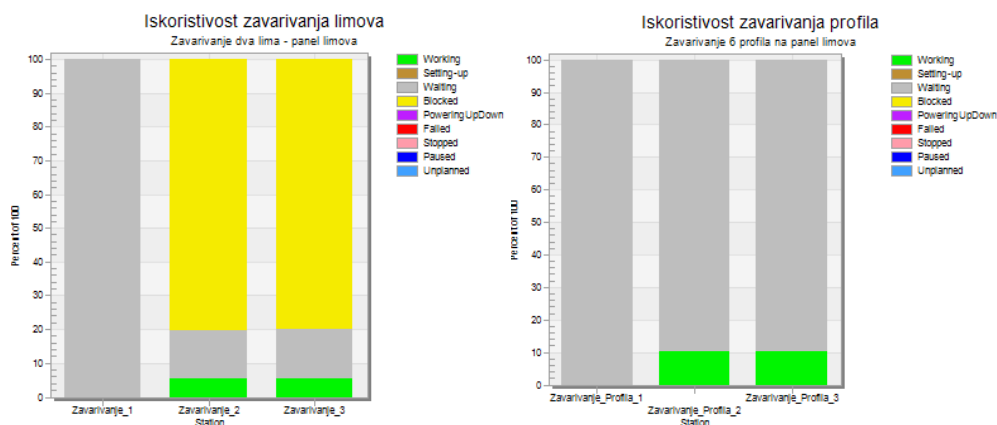
[Slika 47] prikazuje praćenje praćenje 4. takta radionice RPS\_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova s profilima radi 23.9% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 47] prikazuje praćenje 2. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje panela limova rade 5% vremena. Blokirani su 80% vremena, a ostatak vremena su u stanju čekanja. Stroj „Zavarivanje\_1“ nije u funkciji.

[Slika 47] prikazuje praćenje 3. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje panela limova s profilima rade 10.5 % vremena, dok ostatak vremena provode na čekanju. Stroj „Zavarivanje\_1“ nije u funkciji.







Slika 47. Rezultati analize šest mjeseci reducirane proizvodnje

#### 5.4. Četvrti eksperiment – godinu dana reducirane proizvodnje

Tablica 22. Godinu dana proizvodnje – reducirana proizvodnja

Naziv	Model s pet entiteta		
	Podsklop	RPS	ZPS
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice			
Simulacijska proizvodnja	5194	1236	1720
Proračun proizvodnje u excelu	5049	1136	1674

Tablica 23. Usporedba proizvodnje radionica – godinu dana reducirane proizvodnje

Radionica RPS_1	618
Radionica RPS_2	618
Radionica ZPS_1	860
Radionica ZPS_2	860
Radionica podsklopova	5194

[Slika 48] prikazuje stanje stroja za koordinatno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 92% vremena te da je 8% vremena u stanju čekanja.

[Slika 48] prikazuje stanje stroja za paralelno rezanje. Vidljivo je da stroj radi 60% vremena te da je 40% vremena u stanju čekanja.

[Slika 48] prikazuje stanje stroja za savijanje limova. Iz nje se može vidjeti da stroj radi 47% vremena te da je 2% blokiran. Ostatak vremena je u stanju čekanja.

Stanje stroja za rezanje profila je prikazano na [Slika 48]. Stroj „Robot\_Rezanje“ radi 67.5% vremena, dok stroj „Robot\_Rezanje1“ radi 33.6% vremena, a stroj „Robot\_Rezanje2“ radi 20 % vremena. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

[Slika 48] prikazuje praćenje 2. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 18.1% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 48] prikazuje praćenje 3. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje poprečnih traka rade po 18.1% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

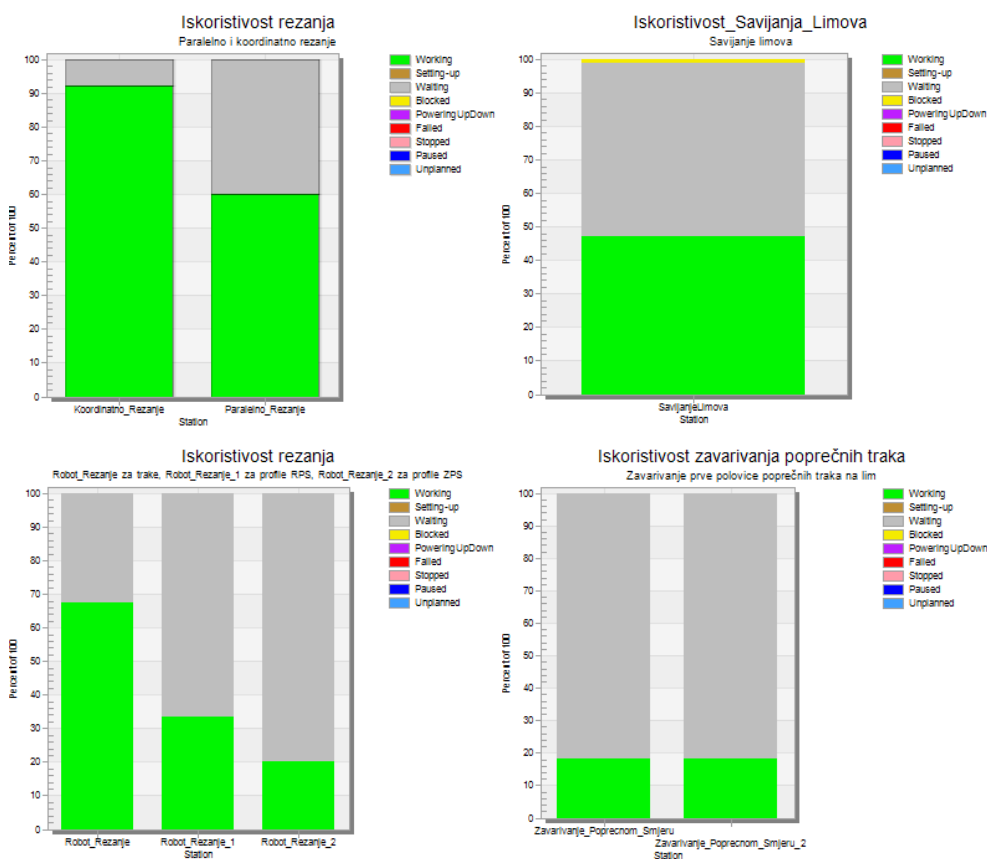
[Slika 48] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 84.5% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

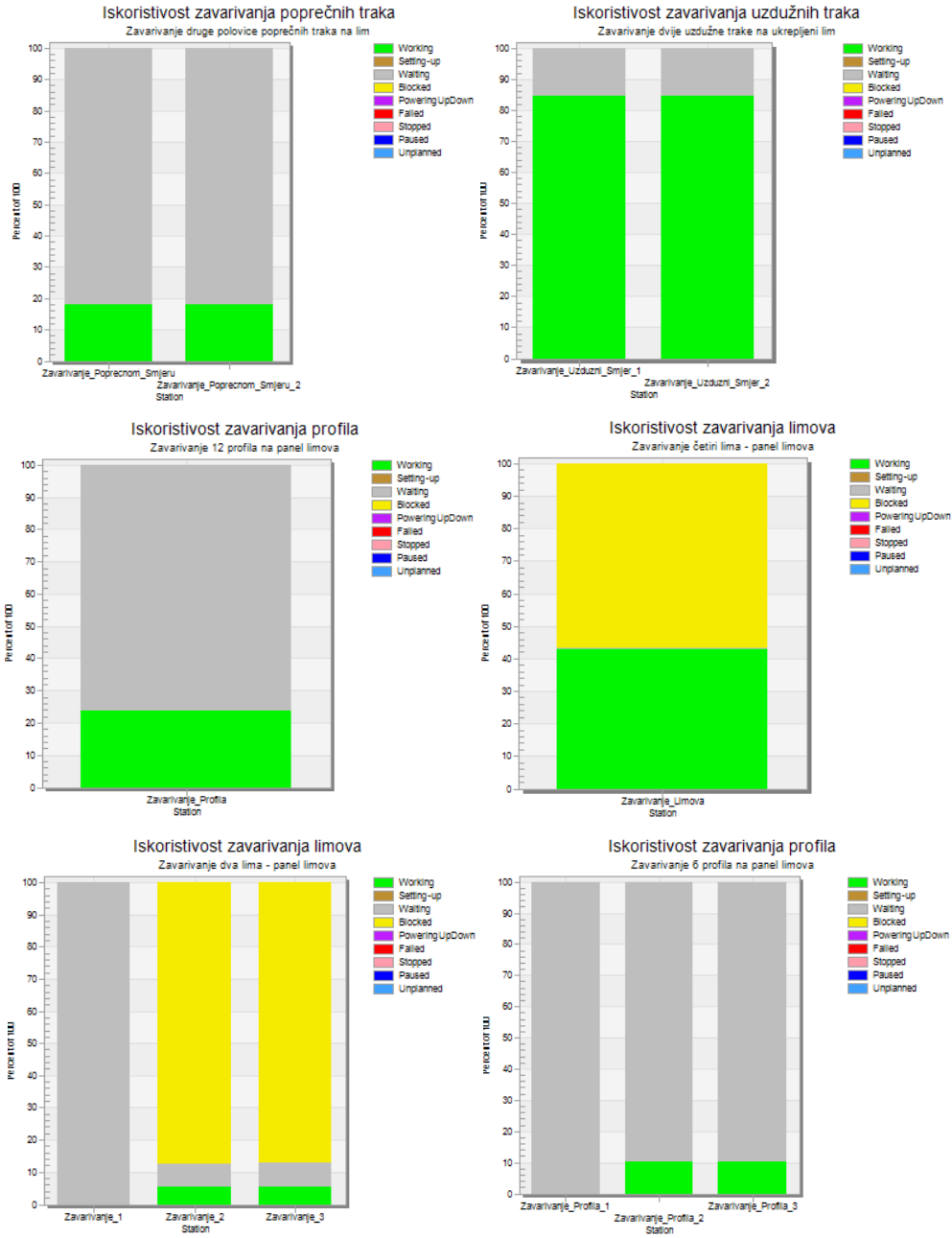
[Slika 48] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS\_1. Stroj za zavarivanje panela limova radi 42.8% vremena te je blokiran 56.7%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 48] prikazuje praćenje 4. takta radionice RPS\_1. Stroj za zavarivanje panela limova s profilima radi 23.9% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

[Slika 48] prikazuje praćenje 2. takta radionice ZPS\_2. Strojevi za zavarivanje panela limova rade 5% vremena. Blokirani su 87% vremena, a ostatak vremena su u stanju čekanja. Stroj „Zavarivanje\_1“ nije u funkciji.

[Slika 48] prikazuje praćenje 3. takta radionice ZPS\_2. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje panela limova s profilima rade 10.5 % vremena, dok ostatak vremena provode na čekanju. Stroj „Zavarivanje\_1“ nije u funkciji.





Slika 48. Rezultati analize godinu dana reducirane proizvodnje

## 6. USPOREDBA DOBIVENIH REZULTATA

Usporedbom rezultata analize numeričkih eksperimenata stvorena je jasnija slika o produktivnosti radionica. U nastavku poglavlja bit će prikazan utjecaj promjene modela na proizvodnju te učinkovitost opsijskih modela u usporedbi s temeljnim (početnim) modelom. S obzirom na osnovne varijable numeričkih eksperimenata detaljnije su analizirane radionica obrade limova te radionica u kojoj je ispitivana produktivnost strojeva sa zastojem, promjenom alata i održavanjem strojeva za sva četiri eksperimenta.

Analizirani početni model s konstantnom proizvodnjom radionice obrade limova ima dva stroja za koordinatno rezanje te dva stroja za paralelno rezanje.

Prva verzija modificiranog modela radionice obrade limova ima dva stroja za koordinatno rezanje te dva stroja za paralelno rezanje. U odnosu na početni model jedan stroj 4. takta radionice podsklopova radi s zastojem, održavanjem i promjenom alata. U radionici RPS\_1 stroj za zavarivanje profila radi s zastojem, održavanjem i promjenom alata, dok u radionici ZPS\_1 dva stroja za zavarivanje profila rade s zastojem, održavanjem i promjenom alata.

Druga verzija modificiranog modela radionice obrade limova ima jedan stroj za koordinatno rezanje te dva stroja za paralelno rezanje. U radionici ZPS\_1 jedna linija za zakrivljene sekcije je uklonjena iz procesa proizvodnje.

### 6.1. Prvi eksperiment – jedan dan proizvodnje

**Tablica 24. Usporedba produktivnosti strojeva u radionici obrade limova**

Model	Početni			2. verzija		
	Stroj	Količina	Radi	Količina	Količina	Radi
-	Stroj	Količina	Radi	Količina	Količina	Radi
Jedinica	kom	kom	%	kom	kom	%
Paralelno rezanje	2	36	52	2	36	60
Koordinatno rezanje	2	24	36.4	1	24	81

**Tablica 25. Usporedba produktivnosti strojeva radionica podsklopova, RPS\_1 i ZPS\_1**

Model	Početni			1. Verzija			2. Verzija		
	Stroj	Količina	Radi	Stroj	Količina	Radi	Stroj	Količina	Radi
-	Stroj	Količina	Radi	Stroj	Količina	Radi	Stroj	Količina	Radi
Jedinica	kom	kom	%	kom	kom	%	kom	kom	%
4.takt mikroplanel	1	10	86.5	1	2	18.5	1	10	65.4
	1	10	84	1	10	83.5	1	10	65.4

linije	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.takt radionice RPS_1	1	2	27	1	1	10	1	2	15.4
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.takt radionice ZPS_1	1	1	6.1	1	0	2	1	1	4.9
	1	1	6.1	1	0	3	1	1	4.9
	1	1	6.1	1	1	6	-	-	-

## 6.2. Drugi eksperiment – mjesec dana proizvodnje

Tablica 26. Usporedba produktivnosti strojeva u radionici obrade limova

Model	Početni			2. verzija		
	Stroj	Količina	Radi	Količina	Količina	Radi
-						
Jedinica	kom	kom	%	kom	kom	%
Paralelno rezanje	2	996	60	2	997	60
Koordinatno rezanje	2	665	40	1	664	92

Tablica 27. Usporedba produktivnosti strojeva radionica podsklopova, RPS\_1 i ZPS\_1

Model	Početni			1.Verzija			2.Verzija		
	Stroj	Količina	Radi	Stroj	Količina	Radi	Stroj	Količina	Radi
-									
Jedinica	kom	kom	%	kom	kom	%	kom	kom	%
4.takt mikropanel linije	1	310	82	1	71	19.8	1	310	84
	1	309	82	1	361	98	1	309	84
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.takt radionice RPS_1	1	73	27	1	52	17.9	1	73	23.5
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.takt radionice ZPS_1	1	34	6.1	1	21	4	1	51	10.5
	1	34	6.1	1	22	4	1	51	10.5
	1	34	6.1	1	47	10	-	-	-

### 6.3. Treći eksperiment – šest mjeseci proizvodnje

Tablica 28. Usporedba produktivnosti strojeva u radionici obrade limova

Model	Početni			2. verzija		
	Stroj	Količina	Radi	Količina	Količina	Radi
-	kom	kom	%	kom	kom	%
Jedinica	kom	kom	%	kom	kom	%
Paralelno rezanje	2	4153	60	2	4153	60
Koordinatno rezanje	2	2769	40	1	2768	92

Tablica 29. Usporedba produktivnosti strojeva radionica podsklopova, RPS\_1 i ZPS\_1

Model	Početni			1.Verzija			2.Verzija		
	Stroj	Količina	Radi	Stroj	Količina	Radi	Stroj	Količina	Radi
-	kom	kom	%	kom	kom	%	kom	kom	%
Jedinica	kom	kom	%	kom	kom	%	kom	kom	%
4.takt mikropanel linije	1	1298	82.3	1	294	20	1	1298	84.5
	1	1297	82.3	1	1528	99.8	1	1297	84.5
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.takt radionice RPS_1	1	309	22	1	241	18.5	1	309	23.9
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.takt radionice ZPS_1	1	143	7.8	1	98	4.5	1	215	10.5
	1	143	7.8	1	104	4.5	1	215	10.5
	1	143	7.8	1	221	11	-	-	-

### 6.4. Četvrti eksperiment – godinu dana proizvodnje

Tablica 30. Usporedba produktivnosti strojeva u radionici obrade limova

Model	Početni			2. verzija		
	Stroj	Količina	Radi	Količina	Količina	Radi
-	kom	kom	%	kom	kom	%
Jedinica	kom	kom	%	kom	kom	%
Paralelno rezanje	2	8308	56	2	8308	60
Koordinatno rezanje	2	5538	37	1	5538	92

Tablica 31. Usporedba produktivnosti strojeva radionica podsklopova, RPS\_1 i ZPS\_1

Model	Početni	1.Verzija	2.Verzija
-------	---------	-----------	-----------

-	Stroj	Količina	Radi	Stroj	Količina	Radi	Stroj	Količina	Radi
Jedinica	kom	kom	%	kom	kom	%	kom	kom	%
4.takt mikropanel linije	1	2598	82	1	593	20	1	2598	84.5
	1	2597	82	1	3068	100	1	2597	84.5
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.takt radionice RPS_1	1	618	22	1	500	20	1	618	23.9
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.takt radionice ZPS_1	1	287	7.8	1	120	2.5	1	430	10.5
	1	287	7.8	1	124	2.5	1	430	10.5
	1	287	7.8	1	513	12.2	-	-	-

Iz usporedbe produktivnosti modela [Tablica 24-30] uočljivo je da najveću produktivnost ima druga verzija modela u kojoj je izbačen jedan stroj za koordinatno rezanje limova te jedna linija zakrivljenih plošnih sekcija. Bolji uvid u povećanje iskoristivosti rada stroja za koordinatno rezanje limova uz istu količinu obrade materijala u odnosu na osnovni model daje [Tablica 24; 26; 28; 30]. Razlog izbacivanja jednog stroja iz proizvodnog pogona je uklanjanje vremena čekanja koje je prema analizi iznosilo preko 60%.

Pri provedbi četiriju eksperimenata [Tablica 25-31] radionica ZPS\_1 s tri linije za izradu zakrivljenih sekcija je imala istu produktivnost kao i radionica ZPS\_2 koja ima dvije linije za izradu zakrivljenih sekcija. Kako proizvodne linije u radionici ZPS\_1 provode prilično vremena na čekanju, došlo se do zaključka da se iz radionice ZPS\_1 izbacila jedna linija. Rezultat toga je da dvije linije koje su preuzele kapacitet linije koja je izbačena, rade s nešto većom radnom iskoristivosti od 10.5%, s proizvodnjom koja iznosi kao i s tri linije za izradu zakrivljenih sekcija.

Prvom verzijom eksperimenta [Tablica 25-31] za ispitane modele strojeva, cilj je bio ispitati što se događa s proizvodnjom u slučaju kvara, održavanja i promjene alata. Za 4. takt mikropanel linije proizvodnja stroja koji je u zastoju ne iznosi niti 20% u odnosu na stroj koji radi s punim kapacitetom. Proizvodnost stroja 4. takta RPS\_1 koji je u zastoju kreće se između 70-80% kapaciteta u odnosu na istu proizvodnju pri konstantnom toku materijala, dok proizvodnost stroja 3. takta ZPS\_1 iznosi manje od 25% kapaciteta proizvodnje u odnosu na stroj koji radi s punim kapacitetom.

## 7. ZAKLJUČAK

Na osnovu analiziranog simulacijskog modela brodograđevne radionice zaključujemo da simulacijsko modeliranje pri suvremenom tehnološkom projektiranju predstavlja pouzdan i efikasan alat za analizu tokova materijala kroz proizvodni proces te omogućava detaljan, ali jednostavan pregled postojećeg ili novog stanja u odnosu na klasični postupak tehnološkog projektiranja. Premda je metodologija izvođenja simulacijske studije razvijena prije 30-ak godina, njena primjena još uvijek nije doživjela široku primjenu u Republici Hrvatskoj zato što izvođenje simulacijske studije zahtjeva dugotrajnu pripremu i obradu ulaznih podataka te je za kreiranje sveobuhvatnog složenog simulacijskog modela potrebno odgovarajuće iskustvo u provođenju numeričkih simulacija kao i znanje programskih jezika.

Metodologija navedena u radu uspješno je implementirana kreiranjem simulacijskog modela sa zadovoljavajućim stupnjem odstupanja proizvodnje gotovih proizvoda u odnosu na statički proračun (kao primjer klasičnog tehnološkog projektiranja). Izvođenje simulacijskih eksperimenata u potpunosti je opisalo procese tokova materijala te su uočene radne stanice s visokom i niskom iskoristivosti te se na temelju takve analize za pojedine strojeve može donijeti primjereno rješenje. Krajnji rezultat ovog rada je pojednostavljenje proizvodnje koji je rezultirao smanjenjem jednog stroja za koordinatno rezanje limova te jedne linije za izradu zakrivljenih sekcija.

Provedenim eksperimentiranjem i dobivenim rezultatima otvoren je niz mogućnosti za nastavak razrade i poboljšanja simulacijskog modela čime bi se dobila još veća raznolikost rješenja uz primjenu optimizacijskih metoda tijekom izvođenja simulacijskih eksperimenata s ciljem određivanja optimalnih radnih parametara, optimalnog unutarnjeg uređenja i izbora adekvatne proizvodno/transportne opreme u funkciji kriterija optimizacije.



## LITERATURA

- [1] Žiha, K.; Tomić, M.: Predavanja i vježbe, Osnivanje brodogradilišta, FSB, Zagreb, 2014.
- [2] Zlopaša, H.: Samopodizna platforma Levingston 111 C, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2015.
- [3] Muftić, D.: Projekt automatiziranih linija predmontaže, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2003.
- [4] Kuzmanić, M.: Tehnološki proces brodograđevne radionice, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2006.
- [5] Caprace, J.-D.; Rigo, P. etc.: Discrete Event Production Simulation and optimisation of ship block erection process, University of Liege and University Federal of Rio de Janeiro, Belgium/Brazil, 2011.
- [6] Caprace, J.-D.; Rigo, P. etc.: Discrete Event Production Simulation in Shipyard Workshops, University of Liege and University Federal of Rio de Janeiro, Belgium/Brazil, 2011.
- [7] Ljubenkov, B.; Đukić, G.; Kuzmanić, M.: Simulation Methods in Shipbuilding Process Design, Kaštel Novi, Hrvatska, 2007.
- [8] Bair, F.; Langer, Y.; Rigo, F.: Simulation and Optimization of a Shipbuilding Workshop, University of Liege, Liege, Belgium, 2006.
- [9] Shin, J.-G.; Woo, J.-H.; Song, Y.-J.: Research on a simulation based ship production support system for middle sized shipbuilding companies, Seoul National University, Seoul, Korea, 2009.
- [10] Liu, Yang.; Meng, M.; Liu, Shuang.: Layout Design Based Research on Optimization and Assessment Method for Shipbuilding Workshop, Harbin Engineering University, China, 2013.
- [11] Bangsow, S.: Manufacturing Simulation with Plant Simulation and Simtalk, Germany, 2010.
- [12] Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1993.
- [13] Oletić, A.: Simulacija proizvodnih sustava, Završni rad, FSB, Zagreb, 2015.
- [14] Gradečak, T.: Simulacijski model proizvodnog procesa, FSB, Zagreb, 2014.

- [15] Cerjaković, E.: Povišenje kapaciteta proizvodno-transportnih segmenata sistema primjenom simulacione studije, Magistarski rad, Sveučilište u Tuzli – Tehnički fakultet, Tuzla, 2008.
- [16] Vitulić, N.: Završno izvješće o studentskoj praksi, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka, 2010/2011.
- [17] Marinčić, Z.; Hećimović, N.; Hribar, L.: Modeliranje i simulacija procesa testiranja programskih proizvoda, Zagreb, 2005.
- [18] Hadjina, M.; Fafandjel, N.; Šimundić, S.; Kolić, Damir.: Metoda simulacije za projektiranje brodograđevnog proizvodnog procesa, Tehnički fakultet Rijeka, Rijeka, 2009.
- [19] Pavlović, M.; Arsovski, S.; Arsovski, Z.; Mirović, M; Lazić, M.: Design Methodology for Discrete Event Simulation Solutions in Manufacturing Enviroment, Fakultet tehnički u Zrenjaninu, Novi Sad, Srbija, 2010.

## **PRILOZI**

- I. Tehnička dokumentacija
- II. Opći plan brodograđevne radionice

# **PRILOG I**

## TEHNIČKI OPIS PROIZVODNOG PROGRAMA I RADIONICE

Naslov zadatka: Idejni projekt brodograđevne radionice

Projektни zadatak: Na bazi godišnjeg proizvodnog kapaciteta brodogradilišta od 80000 tCM, raspoloživom površinom pravokutnog oblika, potrebno je izraditi idejni projekt brodograđevne radionice koja obuhvaća:

- izradu građevnih dijelova (rezanje, savijanje, oblikovanje) za potrebe predmontaže,
- predmontažu podsklopova (npr. rebrenica, uzdužnih nosača) - 30 %,
- predmontažu ravnih plošnih sekcija (ukrepljenih panela) - 38 %,
- predmontažu zakrivljenih plošnih sekcija - 28 %.

Gornji postotci se odnose na udjele pojedinih proizvoda u ukupnoj proizvodnji pojedinih radionica. Izrada zadatka obuhvaća:

- definiranje proizvodnog programa svih dijelova radionice po tehnološkim fazama,
- proračun i izbor potrebne tehnološke, pomoćne i transportne opreme te površina i dimenzije radionice,
- izradu idejnog projekta (tlocrta) radionice u mjerilu 1:500, s načelnim smještajem skladišta čelika, linije predobrade i transportne veze s radionicom,
- kratki tehnički opis radionice (struktura, dimenzije, površina, strojevi, transportna sredstva, uređaji).

## TEHNIČKA DOKUMENTACIJA – NARUDŽBENA I RADIONIČKA DOKUMENTACIJA

### Narudžbena i radionička specifikacija podsklopova

Narudžbena specifikacija podsklopa - neto masa čelika									
Pozicija	Duljina	Širina	Debljina	Broj komada	Suma	Masa po komadu	Suma	Ukupna masa	Udio u masi podsklopa
Naziv dijela	mm	mm	mm	n	-	t	-	t	-
Uzdužni nosač	11800	2200	20	1	-	4.076	-	4.076	0.857
Uzdužna traka	11800	150	20	2	-	0.2779	-	0.556	0.117
Poprečna traka	6900	150	15	1	-	0.1219	-	0.122	0.026
					$\Sigma=$	4.1118	$\Sigma=$	4.4839	1

Radionička specifikacija podsklopa - neto masa čelika									
Pozicija	Duljina	Širina	Debljina	Broj komada	Suma	Masa po komadu	Suma	Ukupna masa	Udio u masi podsklopa
Naziv dijela	mm	mm	mm	n	-	t	-	t	-
Uzdužni nosač	11600	2100	20	1	-	3.8245	-	3.825	0.853
Uzdužna traka	11600	150	20	2	-	0.2732	-	0.546	0.122
Poprečna traka	800	150	15	8	-	0.0141	-	0.113	0.025
					$\Sigma=$	4.1118	$\Sigma=$	4.4839	1

Ukupna bruto masa čelika potrebna za godišnju izradu podsklopa	24000	tCM/god
Ukupna masa godišnje proizvedenih podsklopova	4.7534	tCM
Ukupna masa godišnje proizvedenih podsklopova	22639.53	tCM/god
Masa dnevno proizvedenih podsklopova	90.56	tCM/dan
Broj godišnje proizvedenih sklopova	5049	kom/god
Broj dnevno proizvedenih sklopova	20	kom/dan

## Narudžbena i radionička specifikacija ravnih plošnih sekcija

Narudžbena specifikacija ravne plošne sekcije - neto masa čelika									
Pozicija	Duljina	Širina	Debljina	Broj komada	Suma	Masa po komadu	Suma	Ukupna masa	Udio u masi podsklopa
Naziv dijela	mm	mm	mm	n	-	t	-	t	-
Lim	11800	3000	20	4	-	5.5578	-	22.231	0.831
HP 320x12	11800	340	12	12	-	0.3779	-	4.535	0.169
					$\Sigma=$	5.9357	$\Sigma=$	4.4839	1

Radionička specifikacija ravne plošne sekcije - neto masa čelika									
Pozicija	Duljina	Širina	Debljina	Broj komada	Suma	Masa po komadu	Suma	Ukupna masa	Udio u masi podsklopa
Naziv dijela	mm	mm	mm	n	-	t	-	t	-
Uzdužni nosač	11600	2900	20	4	-	5.2815	-	21.216	0.826
Uzdužna traka	11600	340	12	12	-	0.3715	-	4.458	0.174
					$\Sigma=$	5.653	$\Sigma=$	25.5842	1

Proizvodni program izrade ravnih plošnih sekcija	30400	tCM/god
Ukupna masa proizvedene ravne plošne sekcije	25.58	tCM
Ukupna masa godišnje proizvedenih ravnih plošnih sekcija	29057.37	tCM/god
Masa dnevno proizvedenih ravnih plošnih sekcija	116.23	tCM/dan
Broj godišnje proizvedenih ravnih plošnih sekcija	1135.8	kom/god
Broj dnevno proizvedenih ravnih plošnih sekcija	4.5	kom/dan

## Narudžbena i radionička specifikacija zakrivljenih plošnih sekcija

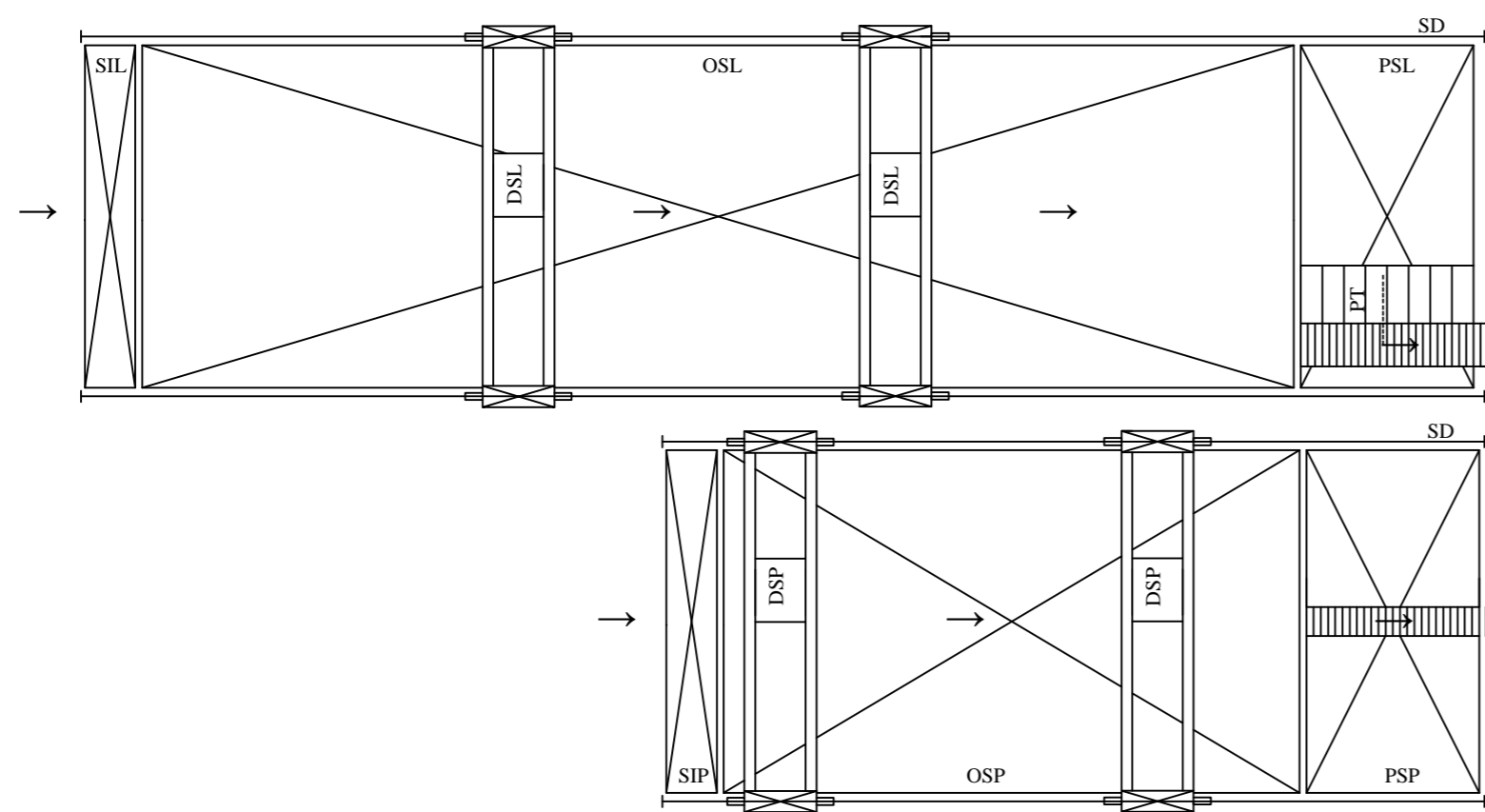
Narudžbena specifikacija zakrivljene plošne sekcije - neto masa čelika									
Pozicija	Duljina	Širina	Debljina	Broj komada	Suma	Masa po komadu	Suma	Ukupna masa	Udio u masi podsklopa
Naziv dijela	mm	mm	mm	n	-	t	-	t	-
Lim	11800	3000	20	2	-	5.5578	-	11.116	0.831
HP 320x12	11800	340	12	6	-	0.3779	-	2.268	0.169
					$\Sigma=$	5.9357	$\Sigma=$	4.4839	1

Radionička specifikacija zakrivljene plošne sekcije - neto masa čelika									
Pozicija	Duljina	Širina	Debljina	Broj komada	Suma	Masa po komadu	Suma	Ukupna masa	Udio u masi podsklopa
Naziv dijela	mm	mm	mm	n	-	t	-	t	-
Uzdužni nosač	11600	2900	20	2	-	5.2815	-	10.563	0.826
Uzdužna traka	11600	340	12	6	-	0.3715	-	2.229	0.174
					$\Sigma=$	5.653	$\Sigma=$	25.5842	1

Proizvodni program izrade zakrivljenih plošnih sekcija	22400	tCM/god
Ukupna masa proizvedene zakrivljene plošne sekcije	12.79	tCM
Ukupna masa godišnje proizvedenih zakrivljenih plošnih sekcija	21410.70	tCM/god
Masa dnevno proizvedenih zakrivljenih plošnih sekcija	85.64	tCM/dan
Broj godišnje proizvedenih zakrivljenih plošnih sekcija	1673.7	kom/god
Broj dnevno proizvedenih zakrivljenih plošnih sekcija	6.7	kom/dan



# **PRILOG II**



**1 Radionica obrade limova**

- MD1 - mosna dizalica nosivosti 10 t
- MPL - međuskладиšte predobrađenih limova
- KRL - koordinatno rezanje limova
- PRL - paralelno rezanje limova
- SL - savijanje limova
- O - kontejner za otpad
- MOL - međuskладиšte obrađenih limova

**2 Radionica obrade profila**

- V1 - valjčasta staza
- MD2 - mosna dizalica nosivosti 10 t
- MPP - međuskладиšte predobrađenih profila
- CP - čišćenje ruba profila
- PT - poprečni transporter
- RP - rezanje profila
- O - kontejner za otpad
- MOP - međuskладиšte obrađenih profila

**3 Radionica za izradu podsklopova**

- MD3 - mosna dizalica nosivosti 20 t
- MLP - međuskладиšte limova za podsklopove
- MPP - međuskладиšte profila za podsklopove
- 1. radna stanica - transport i postavljanje limova, transport svih profila i privarivanje profila u poprečnom smjeru
- 2. radna stanica - zavarivanje prve polovice profila u poprečnom smjeru
- 3. radna stanica - zavarivanje druge polovice profila u poprečnom smjeru
- 4. radna stanica - privarivanje i zavarivanje profila u uzdužnom smjeru
- 5. radna stanica - kontrola, dorada, sortiranje, transport
- SGP - skladište gotovih podsklopova
- MMD - međuradionička mosna dizalica nosivosti 10 t

**4 Radionica za izradu ravnih plošnih sekcija**

- MD4 - mosna dizalica nosivosti 30 t
- MLRPS - međuskладиšte limova za ravne plošne sekcije
- MPRPS - međuskладиšte profila za ravne plošne sekcije
- 1. takt - postavljanje, pozicioniranje i zavarivanje limova
- 2. takt - obrada panela - zrnčenje, označavanje i rezanje
- 3. takt - pozicioniranje profila
- 4. takt - zavarivanje profila
- SGRPS - skladište gotovih ravnih plošnih sekcija
- C - češalj kapaciteta 12 profila

**5 Radionica za izradu zakrivljenih plošnih sekcija**

- MD5 - mosna dizalica nosivosti 30 t
- MLZPS - međuskладиšte limova za zakrivljene plošne sekcije
- MPZPS - međuskладиšte profila za zakrivljene plošne sekcije
- 1. takt - pozicioniranje i privarivanje limova
- 2. takt - zavarivanje limova
- 3. takt - pozicioniranje, privarivanje i zavarivanje ukrepa te kontrola
- SGZPS - skladište gotovih zakrivljenih plošnih sekcija
- C - češalj kapaciteta 6 profila

**Skladište čelika**

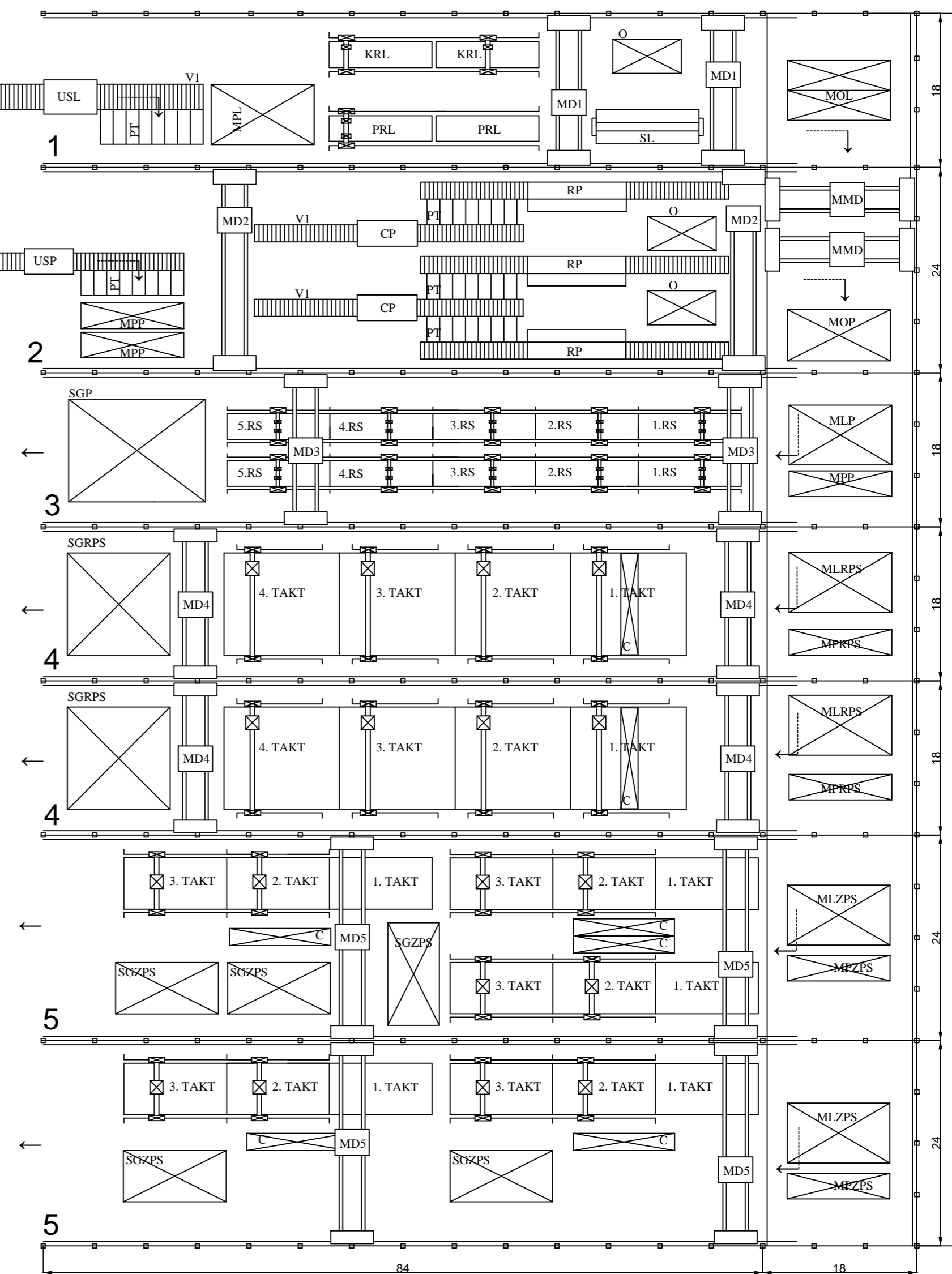
- DSL - dizalica osnovnog skladišta limova
- DSP - dizalica osnovnog skladišta profila
- PSL - pripremno skladište limova: 12x3,5 m
- PSP - pripremno skladište profila: 12x3,5 m
- OSL - osnovno skladište limova: 80x25 m
- OSP - osnovno skladište profila: 40x25 m
- SIL - skladište za iskrcaj limova: 12x6 m
- SIP - skladište za iskrcaj profila: 12x6 m
- SD - dizalična staza
- ←→↑↓ - tok limova i profila

**Predobrada limova i profila**

- V1 - valjčasta staza
- PT - poprečni transporter
- VRL - valjci za ravnjanje limova
- USL - uređaj za sušenje limova
- USL - uređaj za zrnčenje limova
- TZL - temeljna zaštita limova
- USP - uređaj za sušenje profila
- USL - uređaj za zrnčenje profila
- TZL - temeljna zaštita profila

**Karakteristike dizalica na skladištu limova i profila**

- Nosivost dizalica na skladištu limova/profila: 10 t
- Raspon staza dizalica na skladištu limova i profila: 25 m
- Duljina staze skladišta limova: 97,5 m
- Duljina staze skladišta profila: 57 m
- Prosječna visina dizanja: 3 m
- Brzina dizanja/spuštanja limova/profila: 10 m/min
- Brzina hoda dizalica u opterećenom stanju: 60 m/min



	DATUM	IME	FSB ZAGREB AK. GOD. 2015/16
IZRADIO	10.11.2015.	Krešimir Bešlić	
PREGLEDAO			
M 1:500	SKLADIŠTE ČELIKA, PREDOBRAĐA I BRODOGRAĐEVNA RADIONICA ZA IZRADU PODSKLOPOVA I SEKCIJA		LISTOVA 1 LIST BR. 1