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: **2024-03-29**

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
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija brodogradnje

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:	Rok predaje rada:	Predviđeni datumi obrane:
12. studenog 2015.	14. siječnja 2016.	20., 21. i 22. siječnja 2016.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Neven Hadžić

Predsjednica Povjerenstva:

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 PROJEKTNOG 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 zastoj 64
Tablica 6. Usporedba proizvodnje radionica - održavanje, promjena alata i zastoj 64
Tablica 7. Mjesečna proizvodnja – konstantna proizvodnja 66
Tablica 8. Mjesečna proizvodnja – održavanje, promjena alata i zastoj 69
Tablica 9. Usporedba proizvodnje radionica - održavanje, promjena alata i zastoj 69
Tablica 10. Šest mjeseci proizvodnje – konstantna proizvodnja 71
Tablica 11. Šest mjeseci proizvodnje – održavanje, promjena alata i zastoj 74
Tablica 12. Usporedba proizvodnje radionica - održavanje, promjena alata i zastoj 74
Tablica 13. Godinu dana proizvodnje – konstantna proizvodnja 76
Tablica 14. Godinu dana proizvodnje – održavanje, promjena alata i zastoj 79
Tablica 15. Usporedba proizvodnje radionica - održavanje, promjena alata i zastoj 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, PREDOBRADA I BROROGRAĐEVNA 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
α	%	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
$E\left[N^n\right]$	-	n-ti moment diskretne slučajne varijable
$E\left[S^n\right]$	-	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 iskrcaj
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^2	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
σ	-	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
$\rho_č$	kg/m^3	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 brodogradevne radionice. Primarni cilj je prijedlog sveobuhvatne metodologije tehnološkog projektiranja koja formulira, usmjerava te poboljšava nastojanja modeliranje 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 brodogradevne radionice. Treće poglavlje opisuje primjer simulacijskog modeliranja proizvodnih procesa brodogradevne 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 brodogradevnog proizvodnog procesa.

Ključne riječi: Tehnologija izrade i predmontaže sekcije
Brodogradevni proizvodni proces u radionici
Simulacijsko modeliranje brodogradevne 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, mimiziranje 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 tehnloških 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

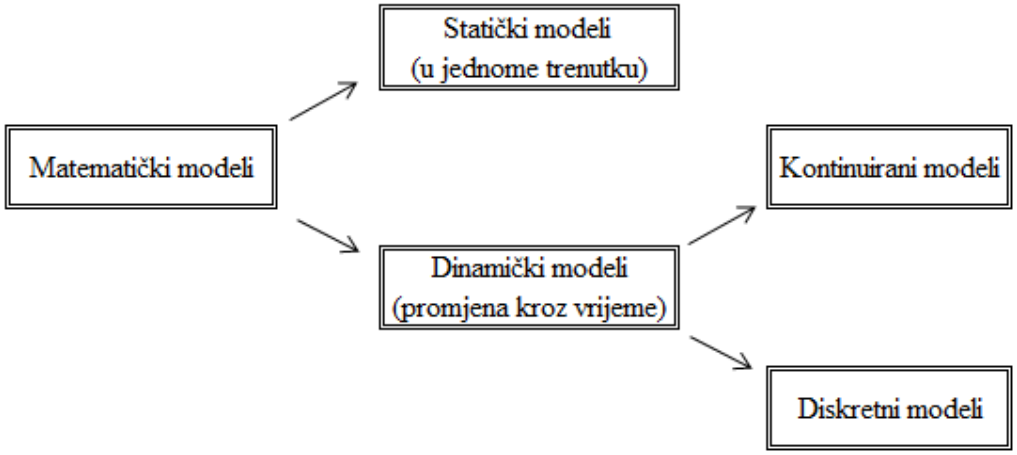
U svakom vremenskom trenutku sustav se nalazi u nekom stanju. Ukupno stanje sustava određeno je stanjima svih njegovih podsustava. Kao što sustavu odgovara model, tako i stanju sustava odgovara stanje modela. Stvarnim promjenama stanja sustava odgovaraju promjene stanja modela tijekom simulacije.

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.

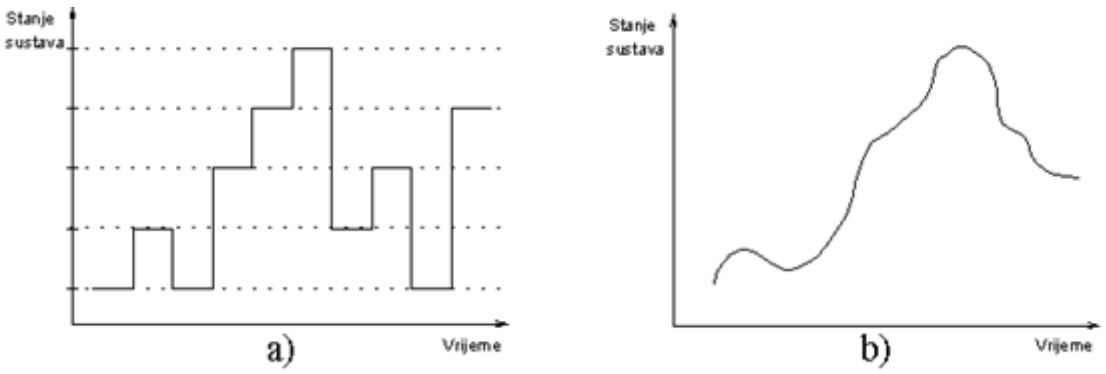
1.3. Podjela simulacijskih postupaka

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.



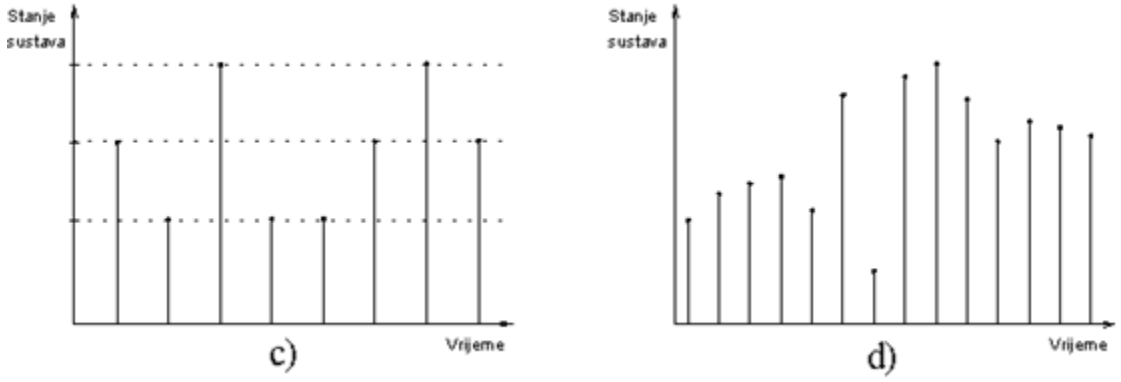
Slika 2. Kontinuirano vrijeme i stanje sustava

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 trenutcima (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 brodskog 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. atribute koji opisuju svojstva entiteta i važni su za razumijevanje izvedbe i funkcije entiteta u simulaciji (npr. odredište 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 međuskladištu, 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, međuskladišta 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).

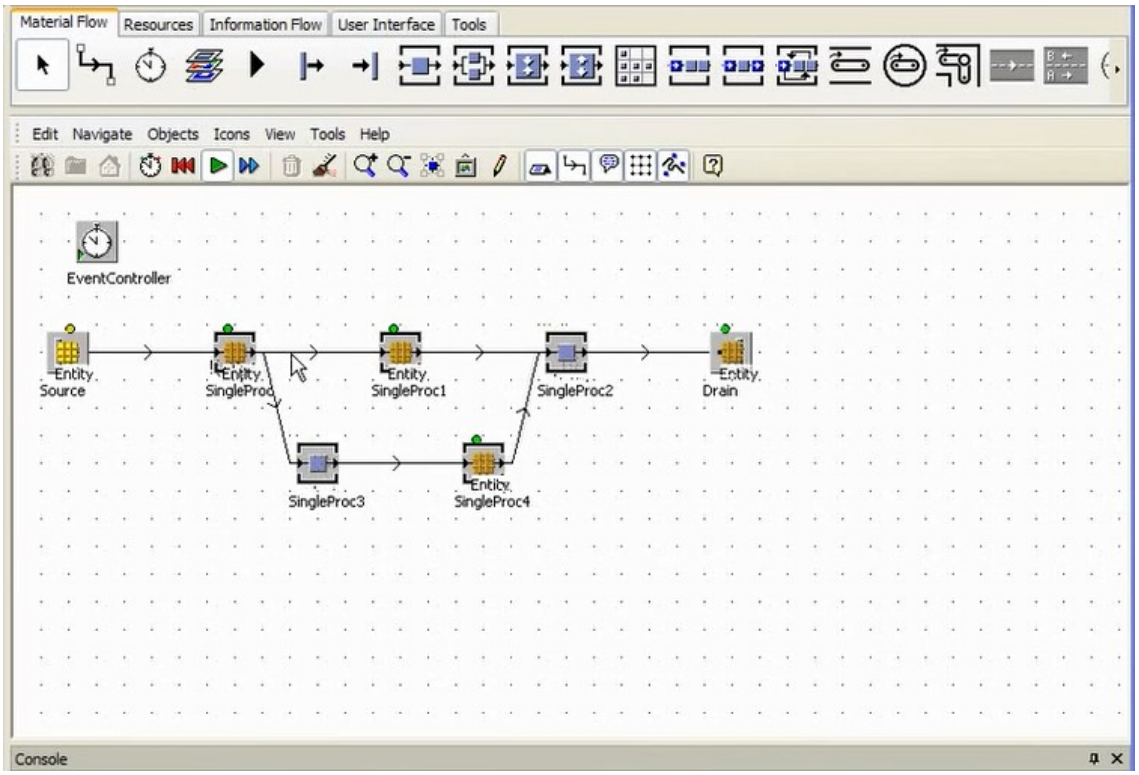
Proizvodnja se odvija s proizvodima različitih namjena i dimenzija koji prolaze kroz isti proizvodni proces i uzrokuju različita opterećenja proizvodne opreme i površina, te je racionalno očekivati prekide u proizvodnji.

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 brodograđevne 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:

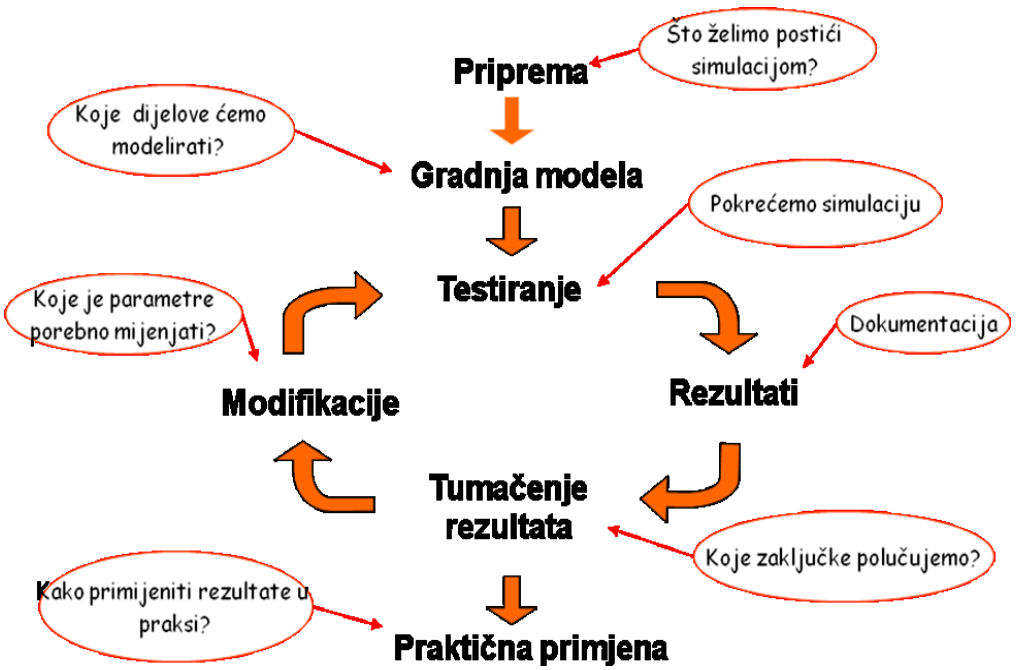
- nova strategija upravljanja proizvodnjom,
- poboljšanje stupnja efikasnosti proizvodno-transportne opreme,
- uklanjanje svakog oblika smetnje u toku proizvodnje na dnevnoj bazi,
- testiranje različitih situacija proizvodne, transportne opreme,
- podučavanje radnika koji će upravljati proizvodnom i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

Shema 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, $i = 1,2,3,...$, kao i vremena opsluživanja S_i, $i = 1,2,3,...$, (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.

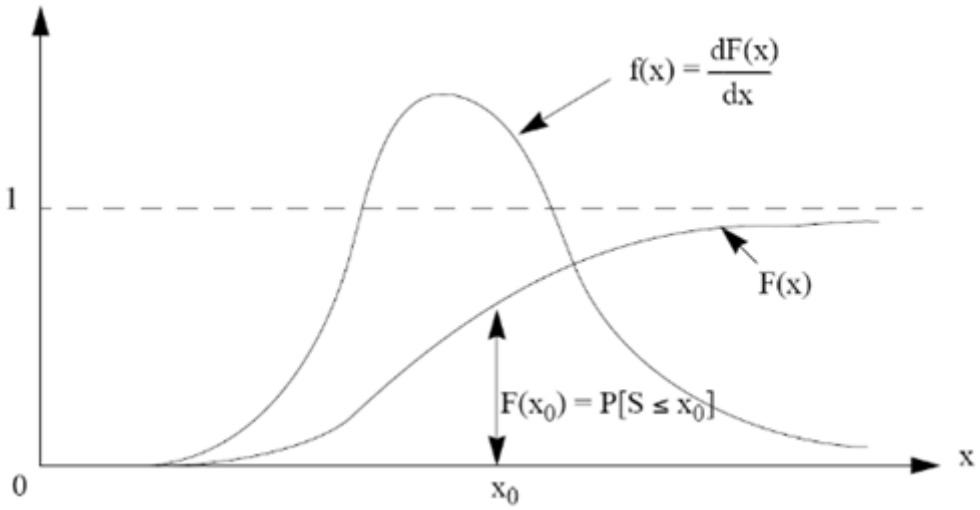
Često se dobivaju empirijski podaci uz pretpostavku da ulazne jedinice (limovi i profili) dolaze pojedinačno ili u grupama identičnih vremenskih intervala između dolaska ulaznih jedinica, pri čemu se proces dolaska opisuje funkcijom raspodjele ili statističkom raspodjelom dolaska veličine grupe.

Vremenski intervali $\tau_i = T_i - T_{i-1}$, $i = 1,2,3,...$, kao i dužina individualnog ili grupnog vremena obrade S_i, $i = 1,2,3,...$, kreiraju slučajne varijable koje su nezavisne i identično raspodijeljene. U tom slučaju veličine τ_i, S_i mogu se promatrati kao nezavisne realizacije dviju generiranih slučajnih varijabli τ 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. $F_\tau(x) = P[\tau \le x]$, odnosno $F_S(x) = P[S \le x]$

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

Na [Slika 6] je prikazana funkcija kontinuirane raspodjele $F(x)$ vremena obrade limova i profila S_i, $i = 1,2,3,...,$. 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 τ 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, $i=0,1,2,...$, i njima pripadajućih vjerojatnosti p_i, $i=0,1,2,...$, pri čemu je $p_i=P[N=x_i]$, $i=0,1,2,...,$. 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 jednadžbom:

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

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

$$E[N] = \sum_{\mathrm{i}} p_i \cdot x_i$$

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

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

Odnosno za diskretnu slučajnu varijablu:

$$E[N^n] = \sum_{\mathrm{i}} p_i \cdot x_i^n, n = 1,2,3,...,$$

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:

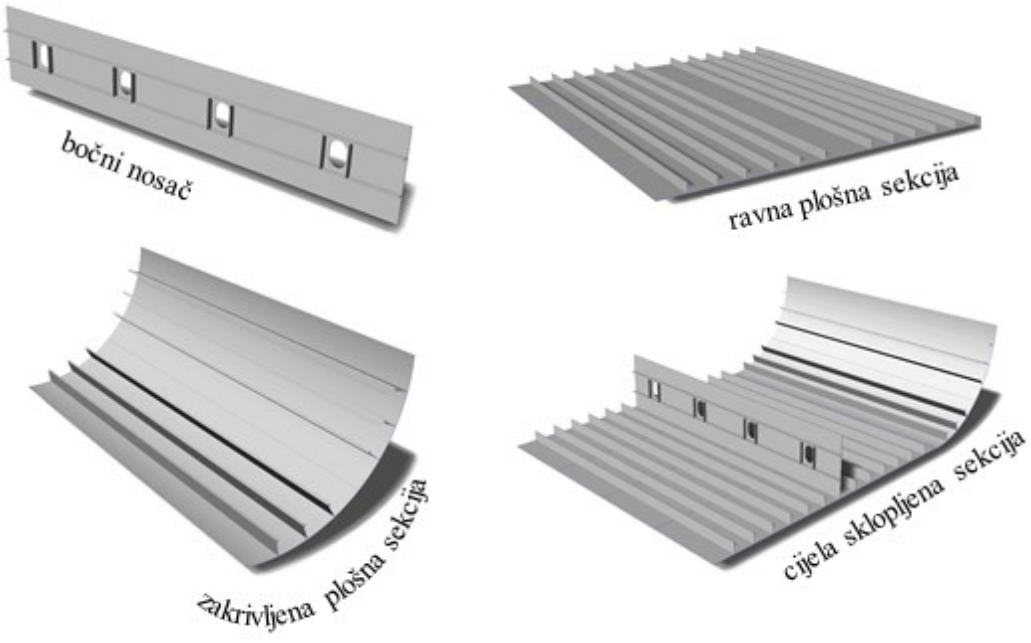
$$C_x = \frac{\sqrt{VAR[X]}}{E[X]}$$

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 brodogradevne 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

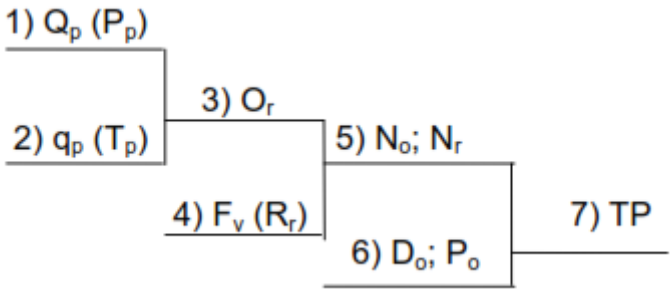
2.2. Osnove tehnološkog projektiranja

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^2; t),

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

T_p - tehnološki proces (specifični opseg rada: h/kom; t; m; m^2),

q_p - specifični obim proizvodnje (kom/h; t/h; m^2/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 · 8 = 16 h

Broj radnih sati u tjednu = Radni dani u tjednu · Broj radnih sati u danu = 5 · 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:

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

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:

$$A_{L1} = \alpha \cdot \frac{Q_d}{f_{L1} \cdot k_{L1}} = 0.839 \cdot \frac{6000}{8 \cdot 0.7} = 898 \approx 900 \text{ m}^2$$

gdje je:

A_{L1} - površina skladišta za iskrcaj limova, m^2

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

α - maseni udio u limovima, iznosi 0.839 (proračun u excelu)

f_{L1} - dozvoljeno opterećenje limova na skladištu za iskrcaj, iznosi 5-10 t/m^2

k_{L1} - 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^2 iznosi 90 m^2. Površina skladišta za iskrcaj 2 x (12.5 x 3.5 m). Slaganje limova prema dozvoljenom opterećenju:

$$N_L = \frac{f_{L1} \cdot A_L}{m_L} = \frac{8 \cdot 35.4}{5.5578} = 50.95 \approx 51 \text{kom}$$

gdje je:

N_L - broj komada limova prema dozvoljenom opterećenju, kom

A_L - površina koju zauzima jedan lim, m^2

m_L - masa jednoga lima, tCM

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

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

gdje je:

L_L - duljina lima, m

B_L - širina lima, m

d_L - debljina lima, m

$\rho_č$ - gustoća čelika, kg/m^3

Profili:

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

gdje je:

A_{Pl} - površina skladišta za iskrcaj profila i traka, m^2

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

f_{PI} - dozvoljeno opterećenje profila i traka na skladištu za iskrcaj, iznosi 3-6 t/m^2

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

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

$$N_P = \frac{f_{PI} \cdot A_P}{m_P} = \frac{3.6 \cdot 4.08}{0.384} = 38.21 \approx 39 \text{ kom}$$

gdje je:

N_P - broj komada profila i traka prema dozvoljenom opterećenju, kom

A_P - površina koju zauzima jedan profil i traka, m^2

m_P - masa jednoga profila ili trake, tCM

$$A_P = L_P \cdot B_P = 12 \cdot 0.34 = 4.08 \text{ m}^2$$

$$m_P \cong L_P \cdot B_P \cdot d_P \cdot \rho_{\check{c}} = 12 \cdot 3 \cdot 0.012 \cdot 7.85 = 0.384 \text{ tCM}$$

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^2

f_{L2} - dozvoljeno opterećenje limova na osnovnom skladištu, iznosi 3-5 t/m^2

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^2

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

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.

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

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

Otprilike 120 m^2 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^2

f_{L3} - dozvoljeno opterećenje limova na pripremnom skladištu, iznosi 8-10 t/m^2

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

Q_{dp} - količina dnevne pripreme materijala, t/m^2

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^2

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

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, m^2

Ukupna površina je uvećana za 10% transport i 10% predobrada, što je približno 4000 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 prianjanja 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 lađi 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 upravljan. 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 upravljan. 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 međuskladište 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 međuskladišta 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 poravnanja, 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

- Prihvaćanje profila s palete i transport na odgovrajuću 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 transpotiraju 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

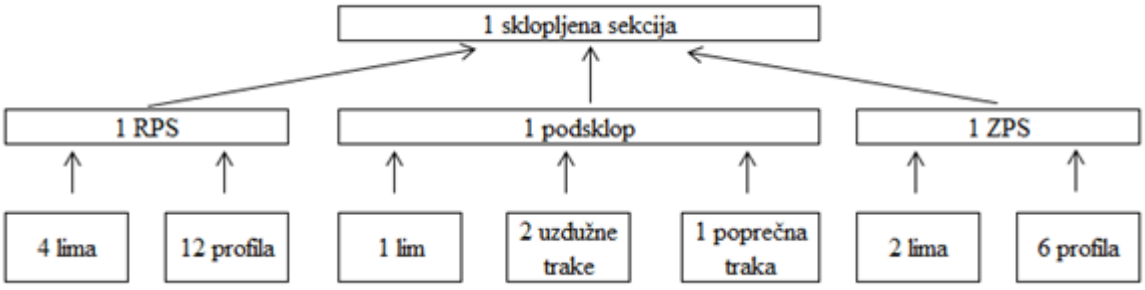
Uz pomoć simulacijskog programskog paketa „Technomatix Plant Simulation 12“, modelirana je brodograđevna radionica, uključujući skladišta s predobradom crne metalurgije, koja su detaljnije prikazana u popisu priloga.

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

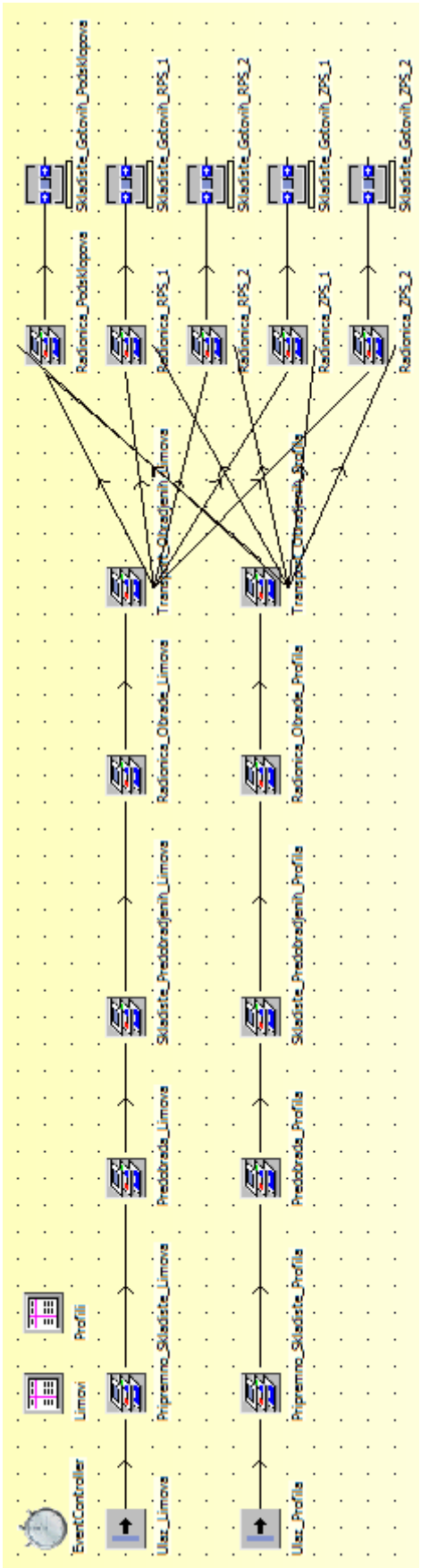
Sklopljena sekcija raščlanjuje se prema [Slika 9]. Model sklopljene sekcije dijeli se na modele manjih brodograđevnih elemenata, a izrađuje se pomoću podataka iz analize proizvodnog programa sadržanih u prilogu.



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.

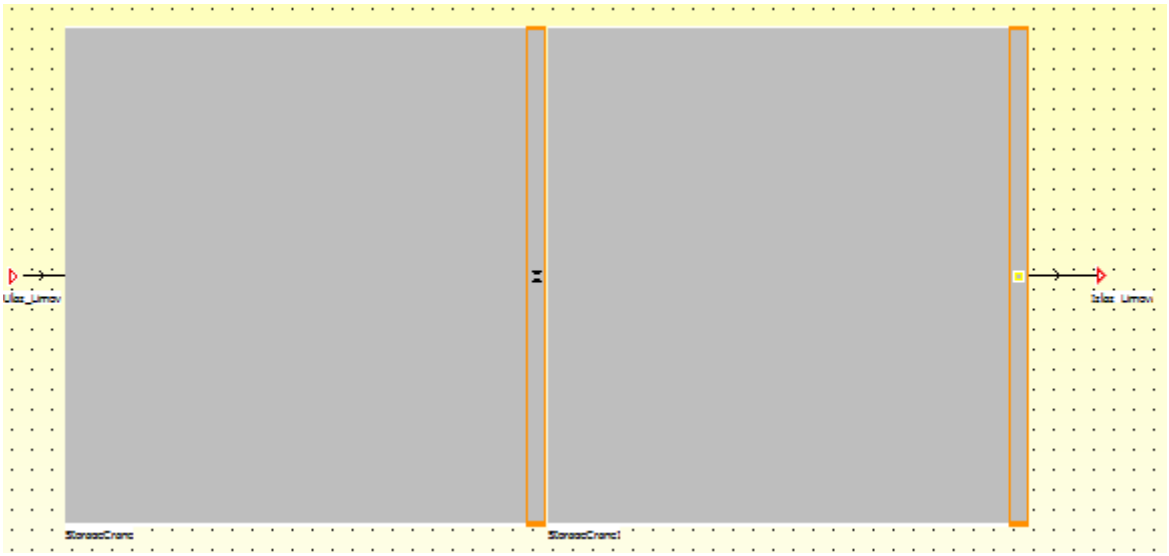


Slika 10. Simulacijski model brodograđevne radionice

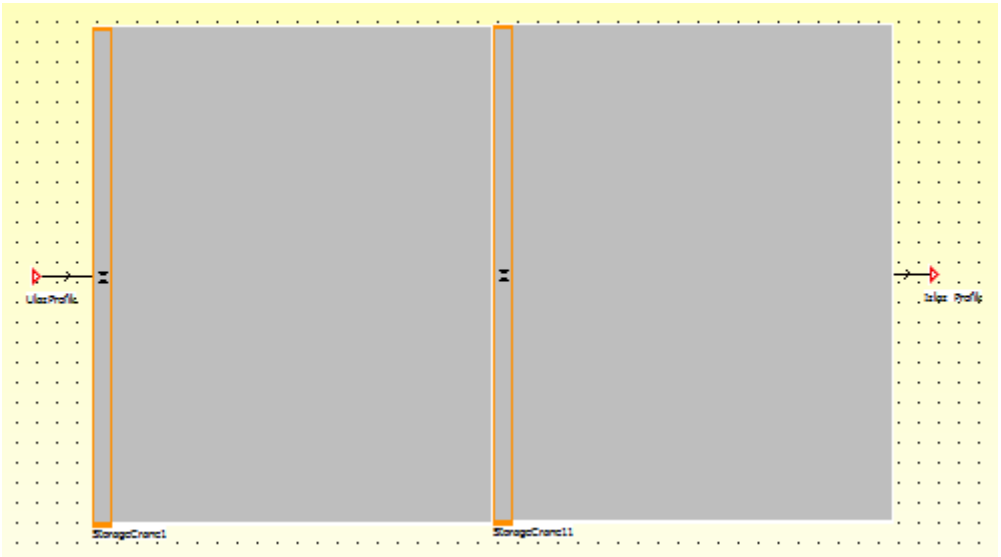
3.3.1. Skladište limova, profila i traka

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:

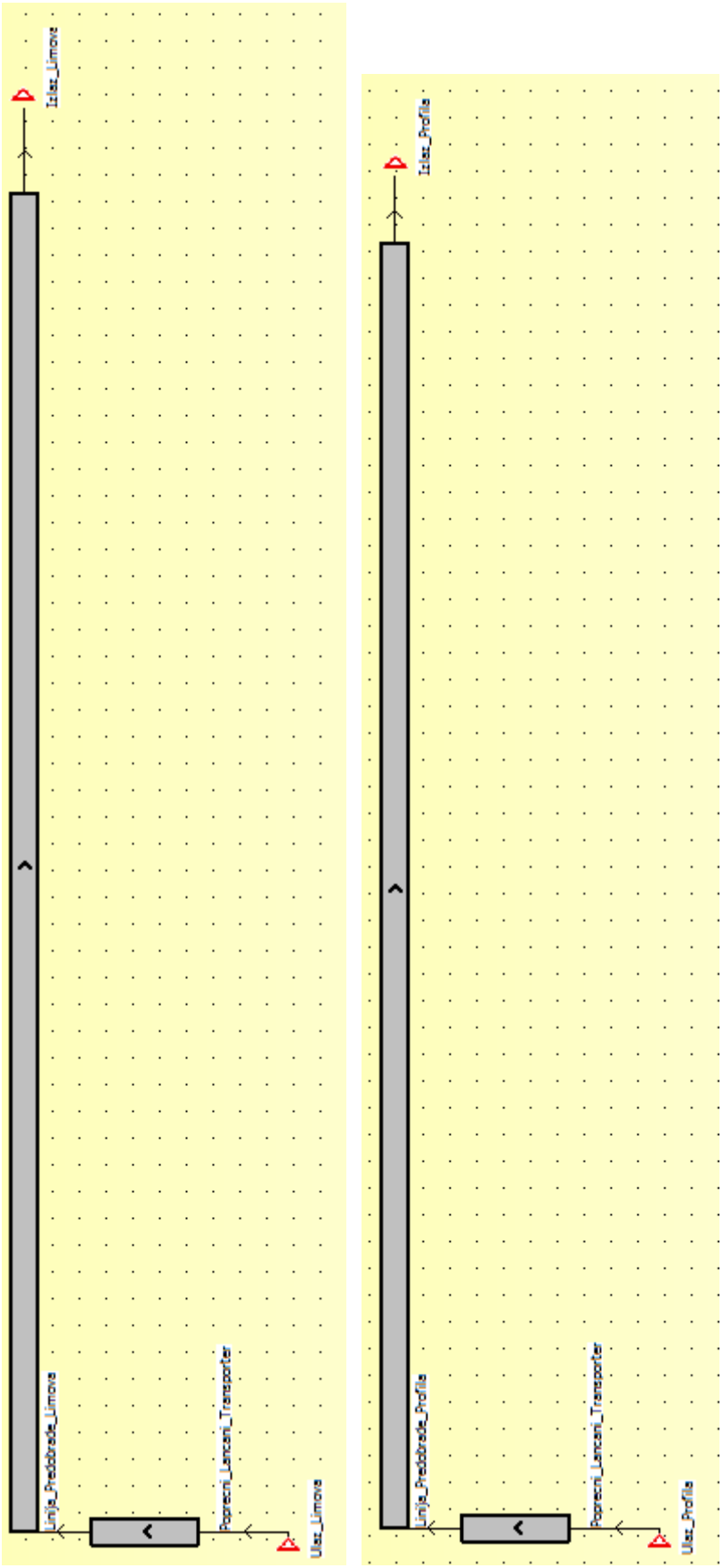
Portalna dizalica

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

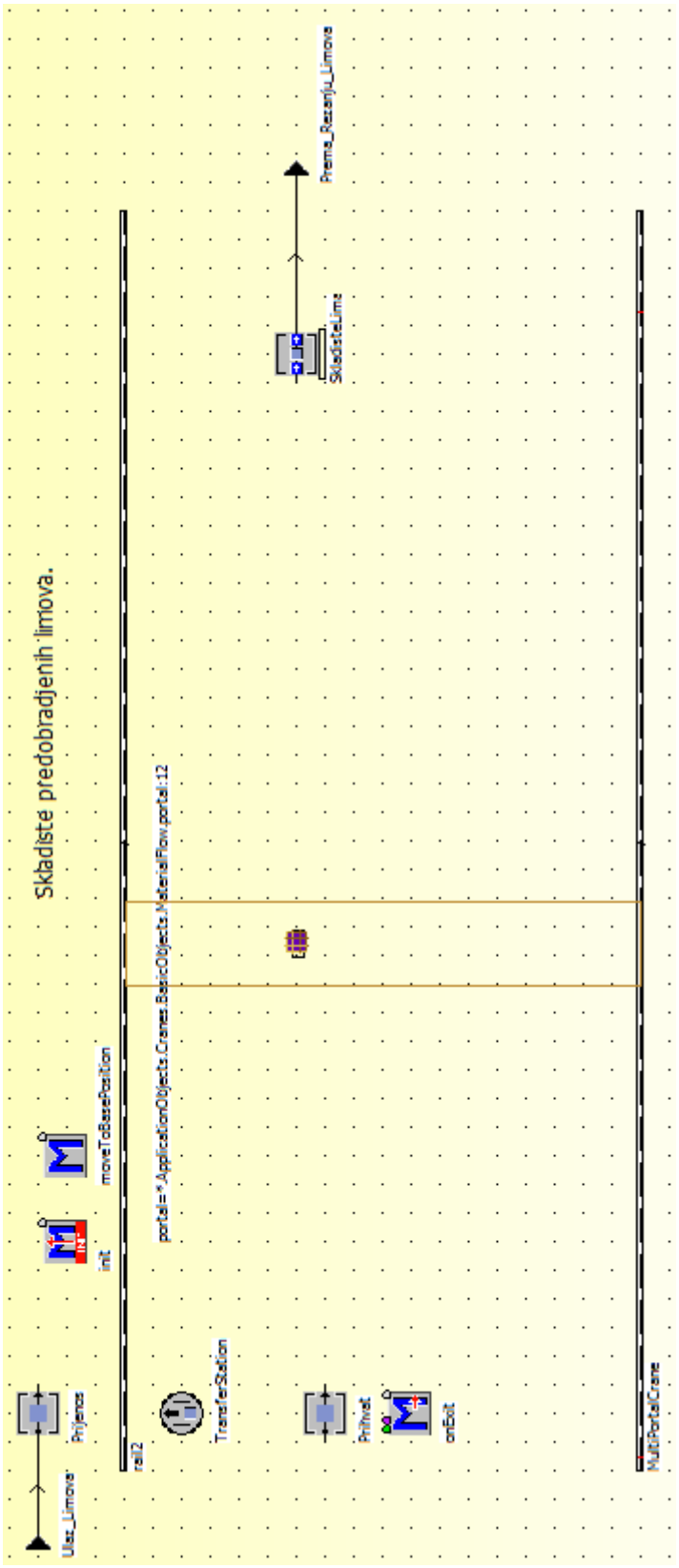
Modelira se prijenosnom stanicom koja prihvaća jedan profil ili traku s linije predobrade. Vrijeme prijenosa jednog profila ili trake iznosi 1 minutu.

Mosna magnetna dizalica

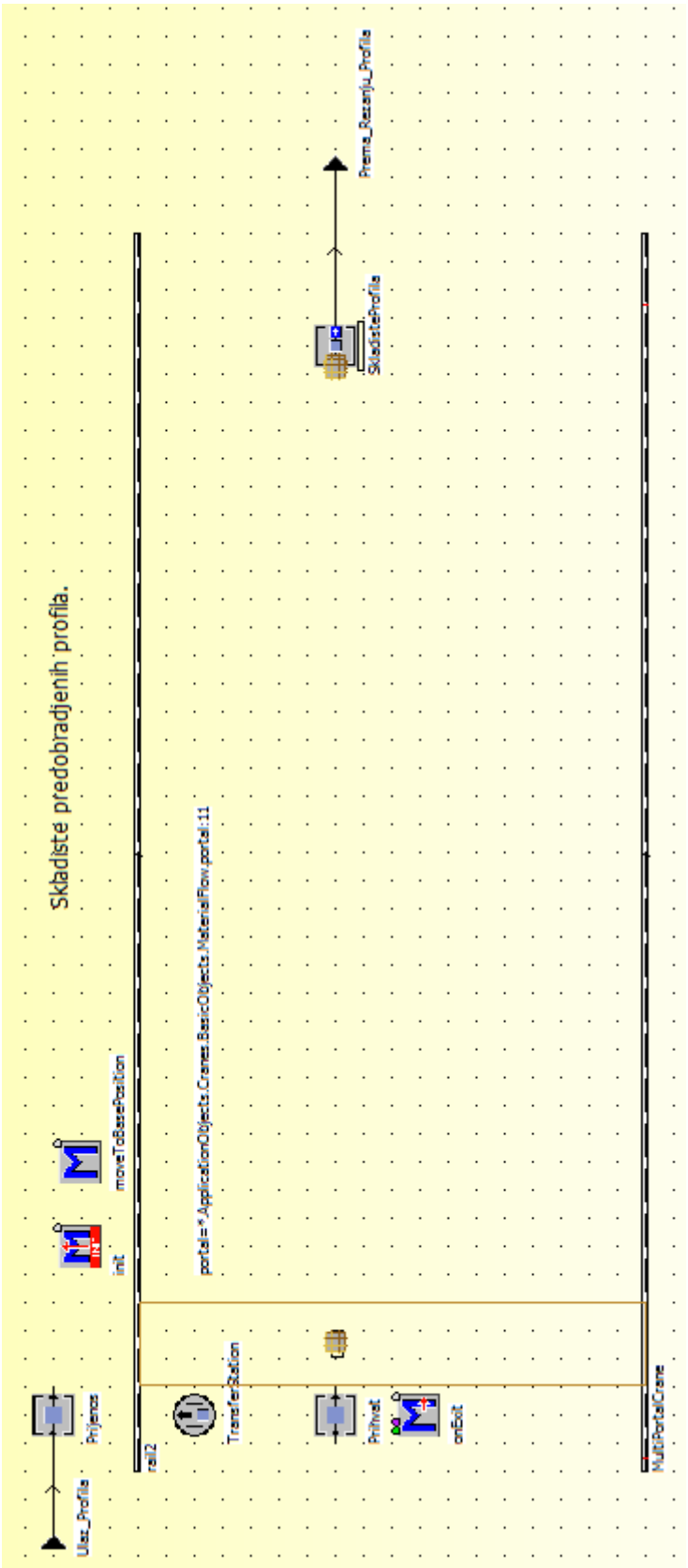
Karakteristike dizalice su: raspon staza je 18 m, duljina staze je 44 m, visina dizalice 6 m, prosječna visina dizanja 3 m, brzina dizanja i spuštanja profila i traka 10 m/min, brzina hoda dizalice 60 m/min. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.

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

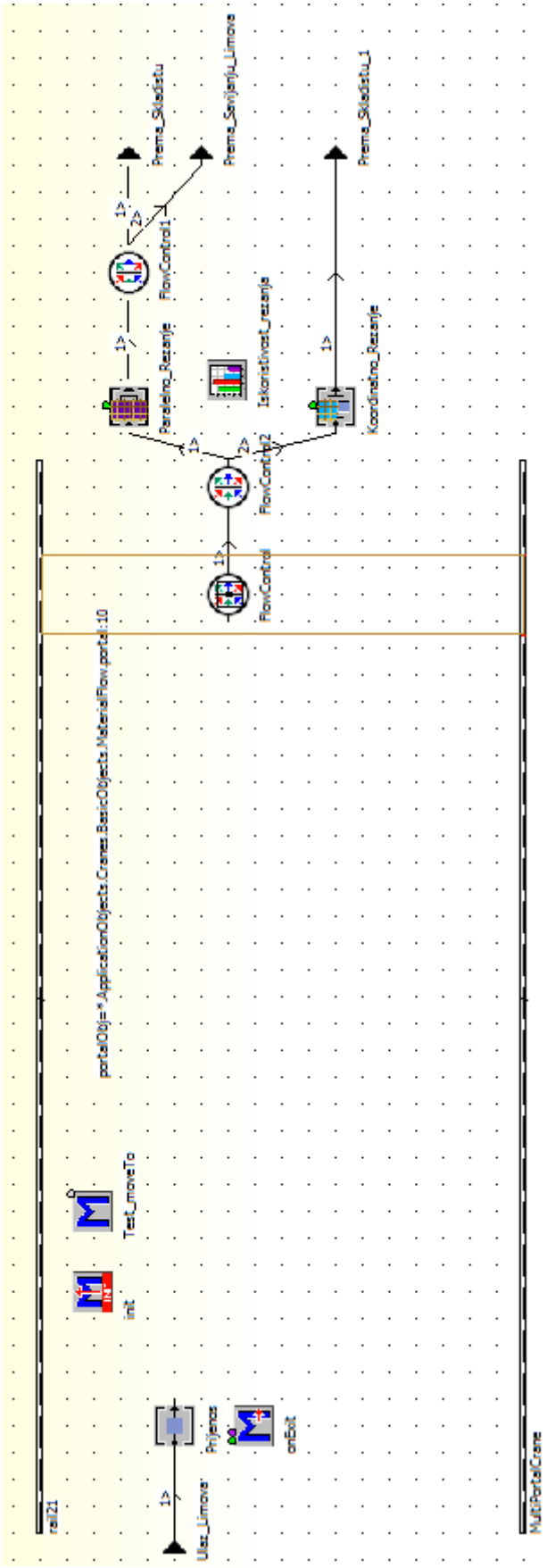
Modelira se pomoću objekta „ParallelProc“ s dimenzijom (X=1,Y=2). Vrijeme obrade lima određeno je proračunom prema prosječnoj duljini rezanja 29 m/kom, broju dnevno obrađenih limova koji iznosi 34, brzini paralelnog rezanja 0.8 m/min te iskoristivosti vremena pri paralelnom rezanju 0.75. Ukupno vrijeme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

Stroj za koordinatno rezanje

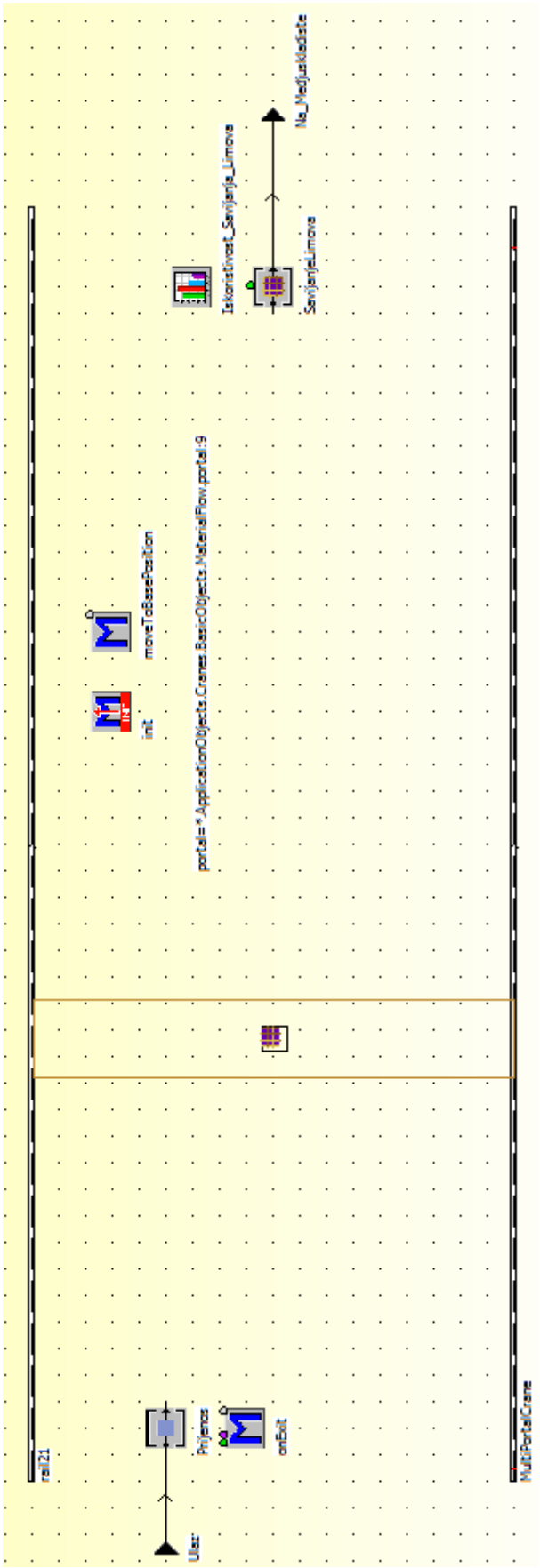
Modelira se pomoću objekta „ParallelProc“ s dimenzijom (X=1,Y=2). Vrijeme obrade lima određeno je proračunom prema prosječnoj duljini krivocrtnog rezanja 21.34 m/kom, prosječnoj duljini krivocrtnog označivanja 29.60 m/kom, broju dnevno obrađenih limova koji iznosi 20, brzini koordinatnog rezanja 0.60 m/min, brzini koordinatnog označavanja 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 traka10 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

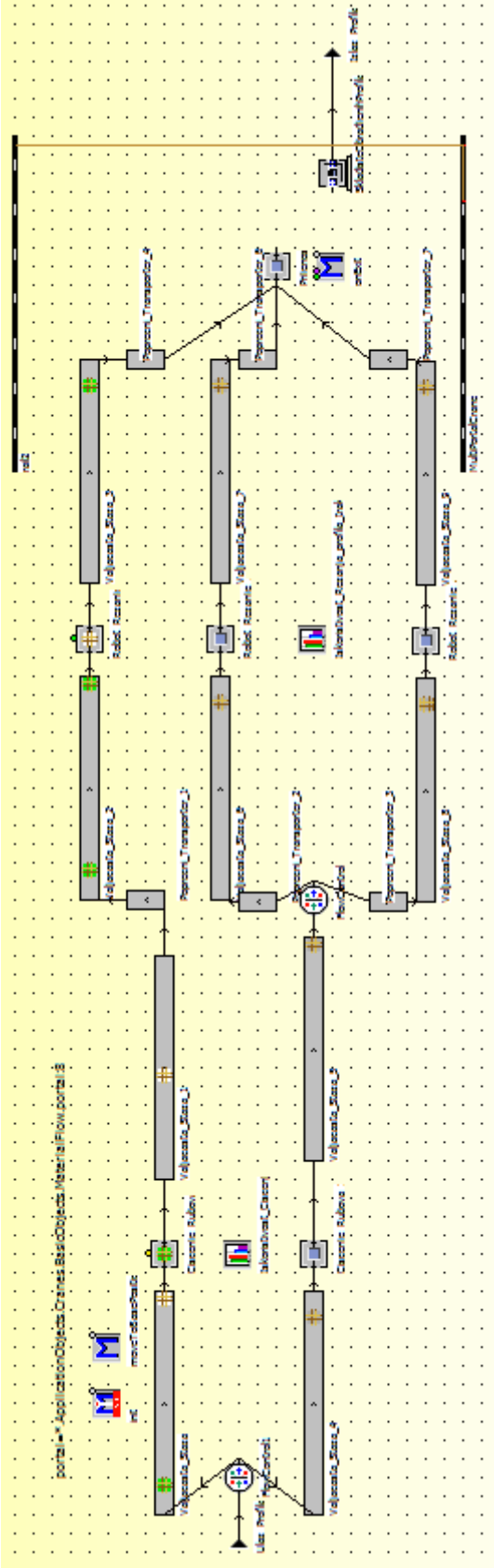
Modelira se pomoću objekta „SingleProc“. Vrijeme obrade profila i traka u jednom danu definirano je proračunom [Tablica 2], prema duljini (skošenju) trake i profila koju je potrebno izrezati 226.12 m, koeficijentu iskoristivosti vremena rezanja 0.6, te brzinama i specifičnim vremenima obrade, prikazano [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

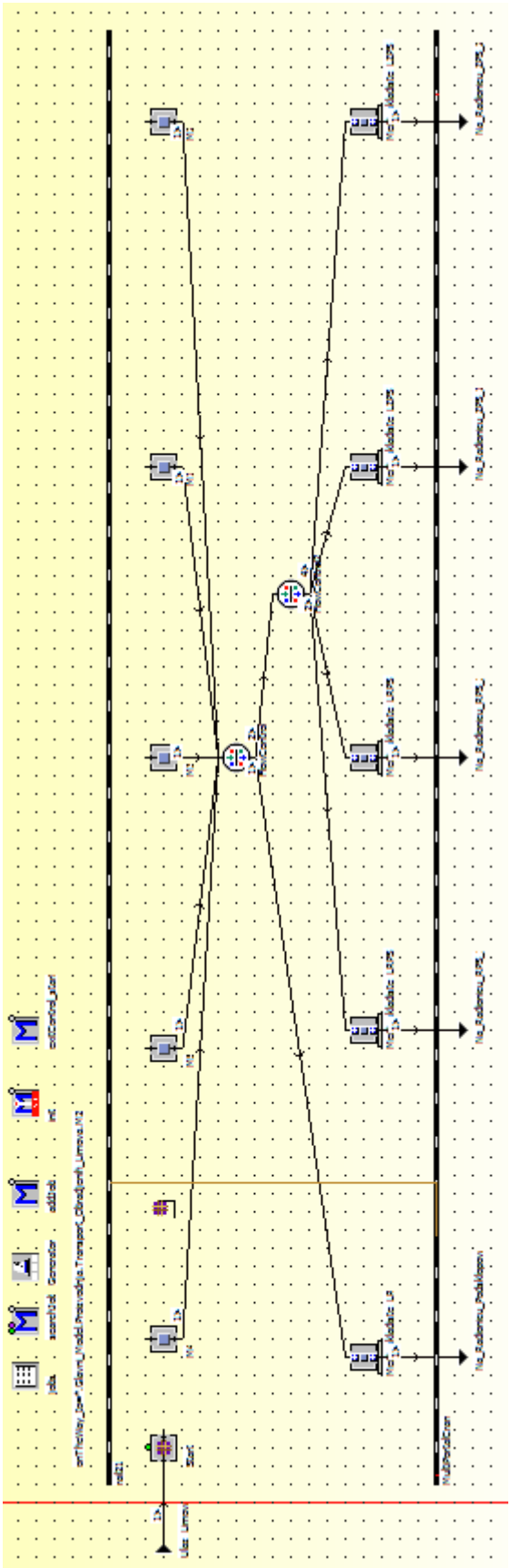
Modelira se pomoću „Buffer“ čija je maksimalna količina na međuskladištu 240 limova, a određena je dozvoljenim opterećenjem podloge i masom limova.

Skladište predobrađenih traka radionice podsklopova

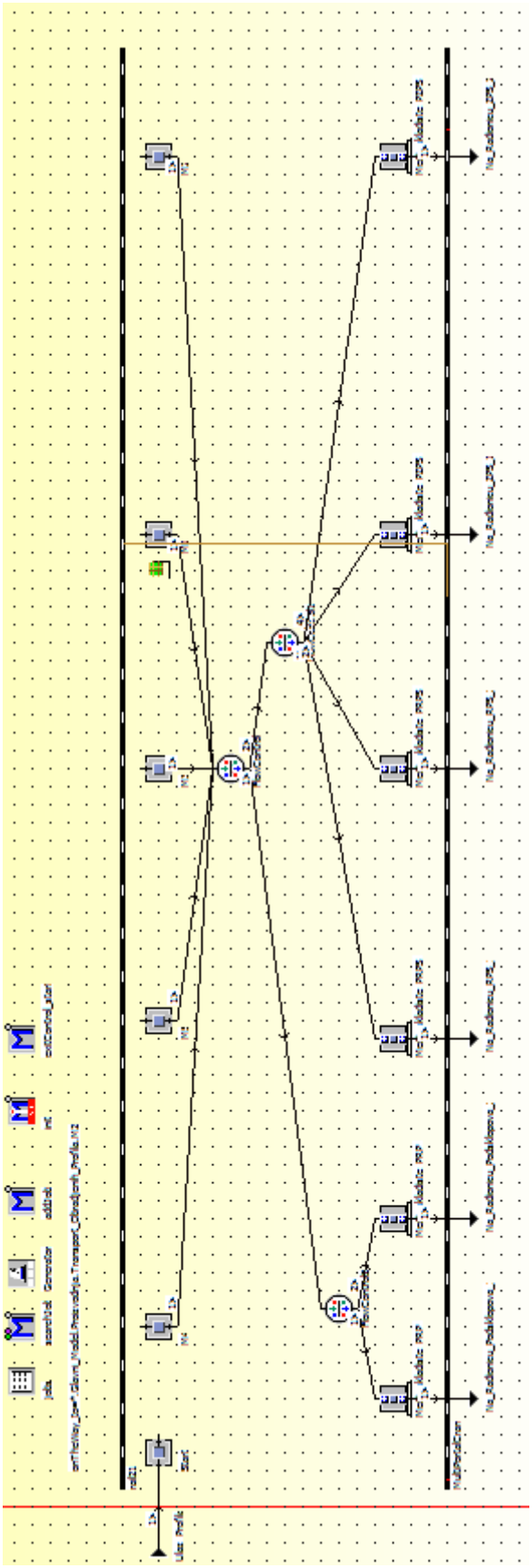
Modelira se pomoću „Buffer“ čija je maksimalna količina na međuskladištu 750 profila/traka, a određena je dozvoljenim opterećenjem podloge i masom limova.

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.



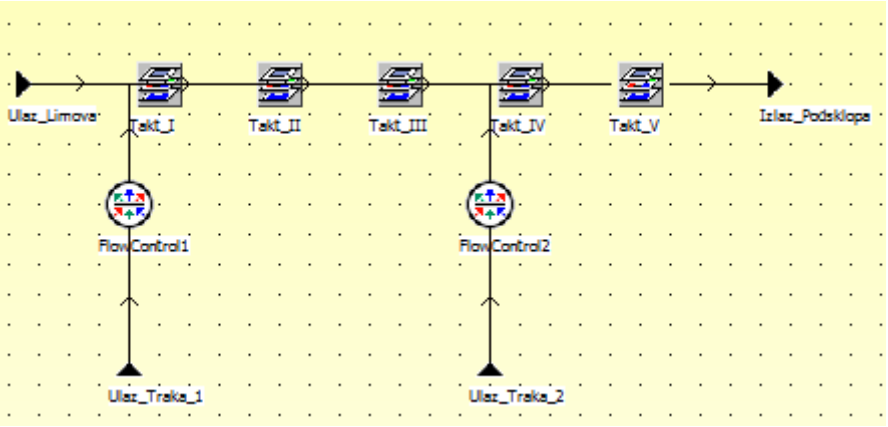
Slika 19. Međuradionica – transport limova



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

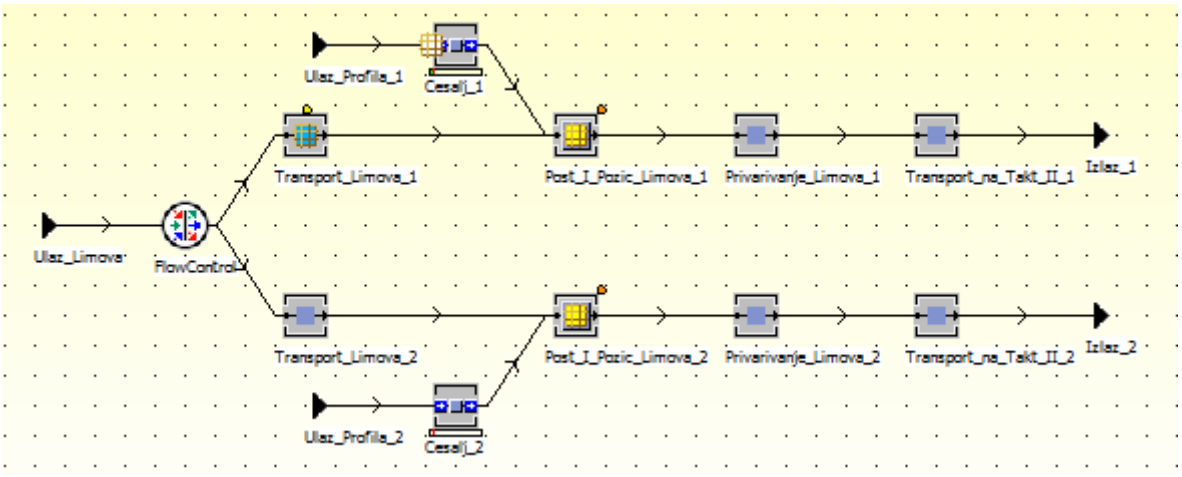
Modelira „Frame-om“ Takt_IV, unutar kojeg se nalazi objekt „Assembly“ koji omogućava montiranje sklopa sa dvije „Uzduzna_Traka“. Trajanje takta iznosi 132.10 min.

Takt_V radionice podsklopova

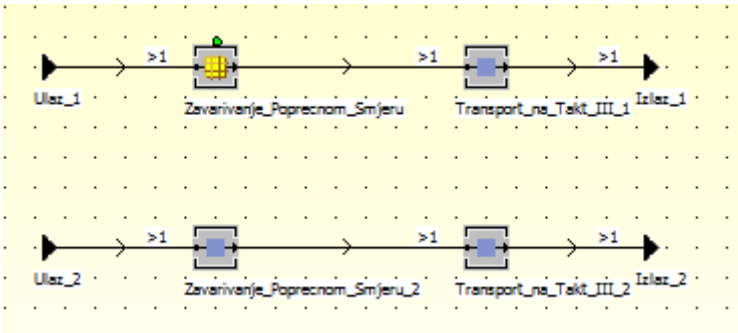
Modelira „Frame-om“ Takt_V. Trajanje takta iznosi 15 min.

Mosna magnetna dizalica

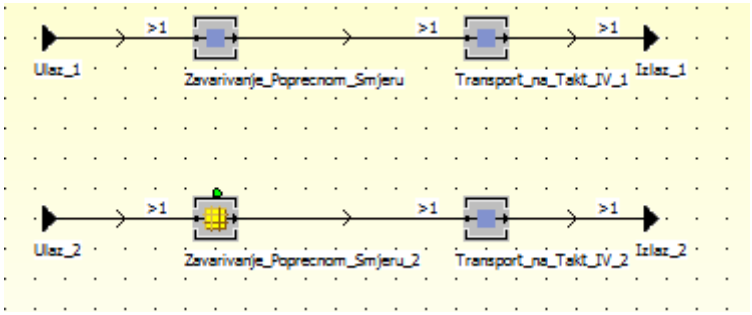
Namijenjena je za transport podsklopova. Karakteristike dizalice su: raspon staza je 18 m, duljina staze je 40 m, visina dizalice 10.5 m, brzina dizanja i spuštanja podsklopova 10 m/min, brzina hoda dizalice 60 m/min. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.



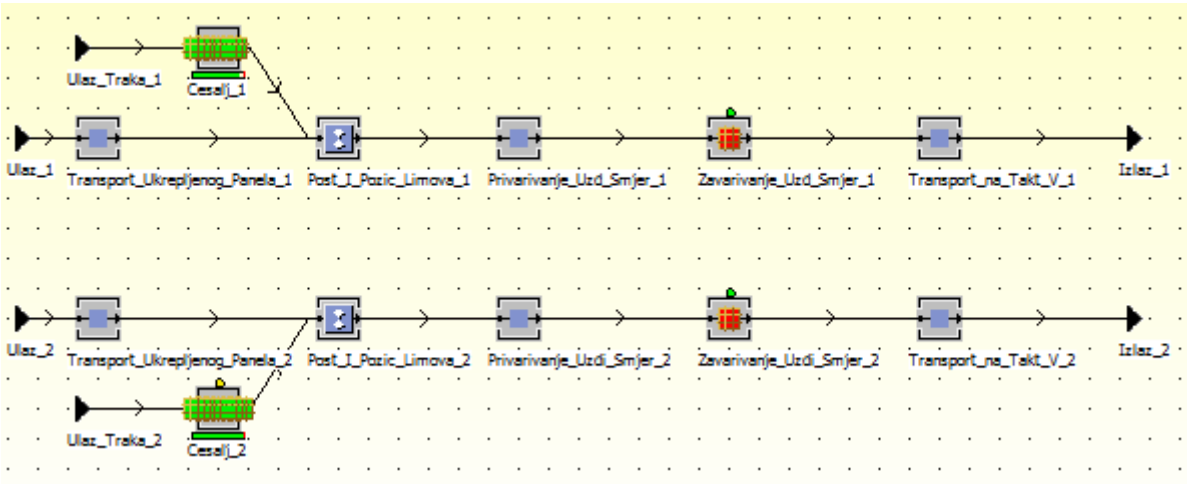
Slika 22. Prvi takt radionice podsklopova



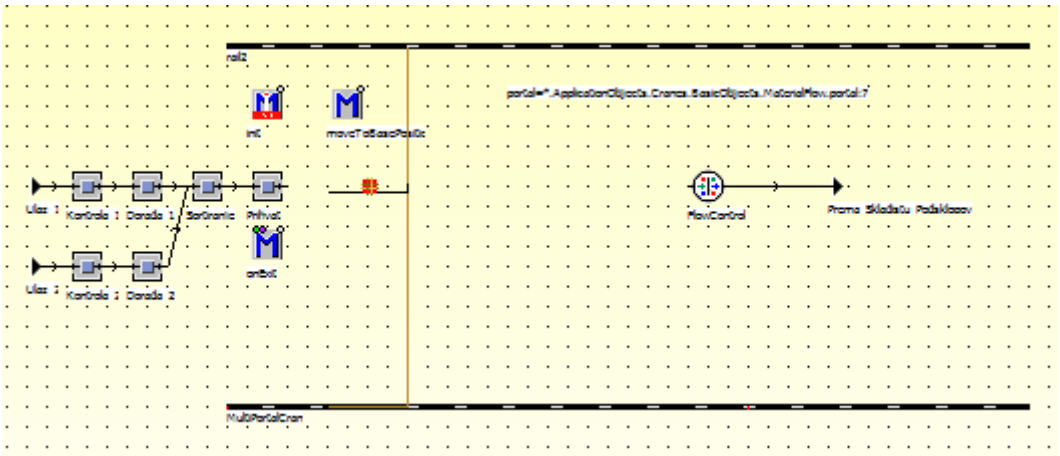
Slika 23. Drugi takt radionice podsklopova



Slika 24. Treći takt radionice podsklopova



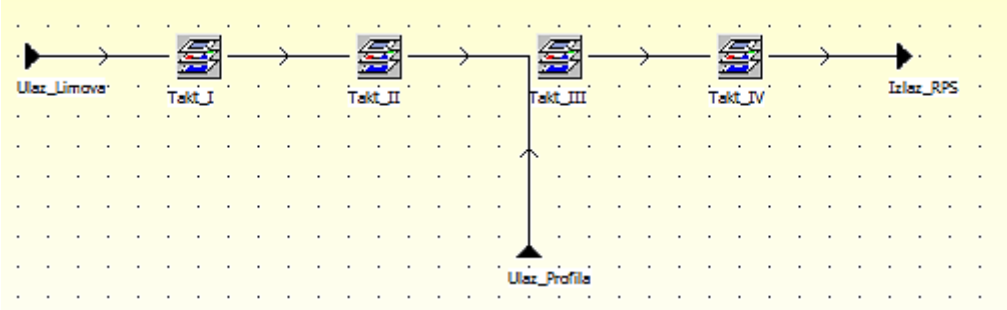
Slika 25. Četvrti takt radionice podsklopova



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

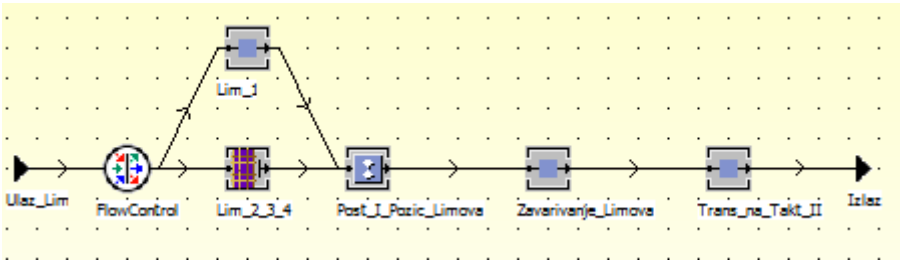
Modelira „Frame-om“ Takt_III, unutar kojeg se nalazi objekt „Assembly“ koji montira panela limova sa 12 „Profil“. Profili dolaze na „Cesalj“ koji se modelira pomoću objekta „Buffer“, kapaciteta 12 profila. Trajanje takta svake radionice iznosi 74 min.

Takt_IV radionice RPS

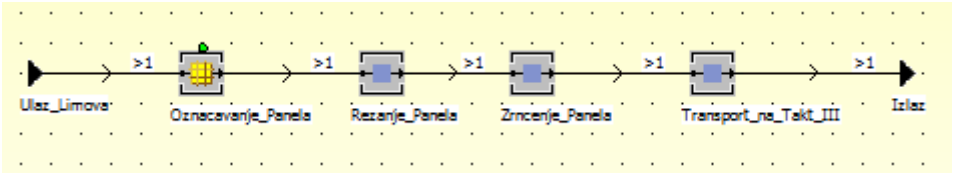
Modelira „Frame-om“ Takt_IV. Trajanje takta svake radionice iznosi 149.2 min.

Mosna magnetna dizalica

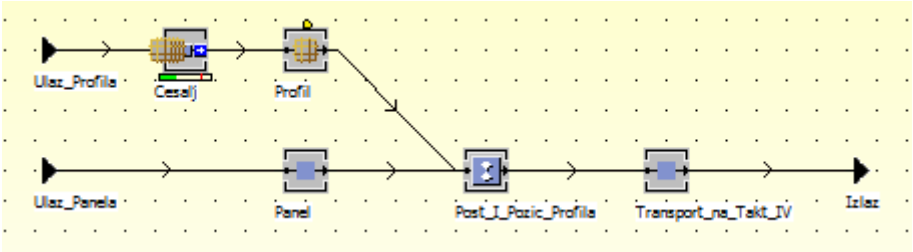
Namijenjena je za transport RPS. Karakteristike dizalice su: raspon staza je 18 m, duljina staze je 40 m, visina dizalice je 10.5 m, brzina dizanja i spuštanja RPS je 10 m/min, brzina hoda dizalice je 60 m/min. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.



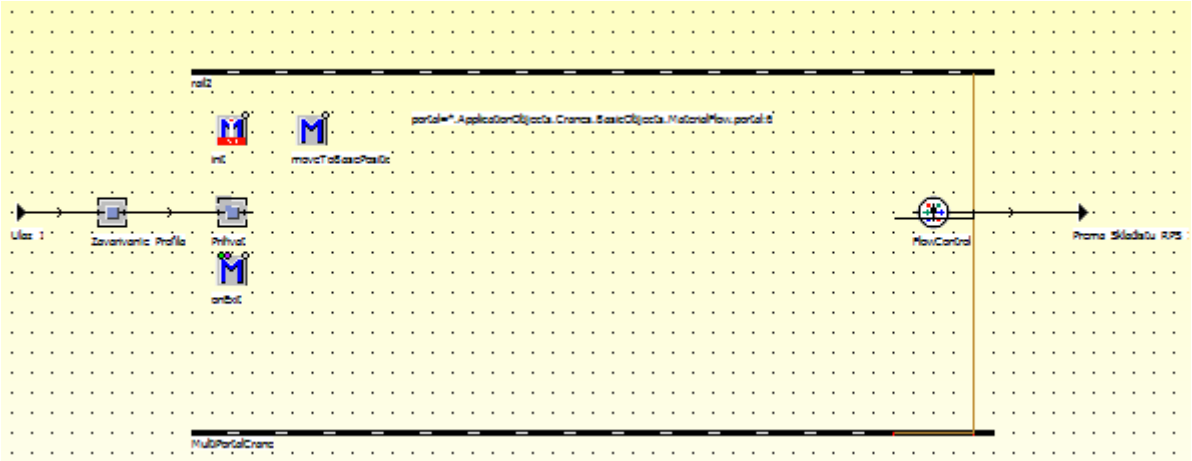
Slika 28. Prvi takt radionica ravnih plošnih sekcija



Slika 29. Drugi takt radionica ravnih plošnih sekcija



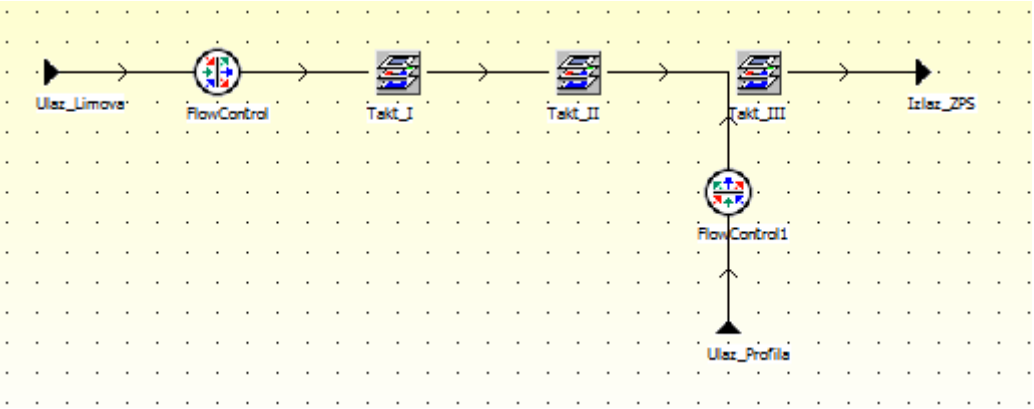
Slika 30. Treći takt radionica ravnih plošnih sekcija



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 zavara gornjeg elementa: 0.15 m - Duljina zavara 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 zavara spoja: 11.6 m - Broj zavara 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 zavarivča: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.

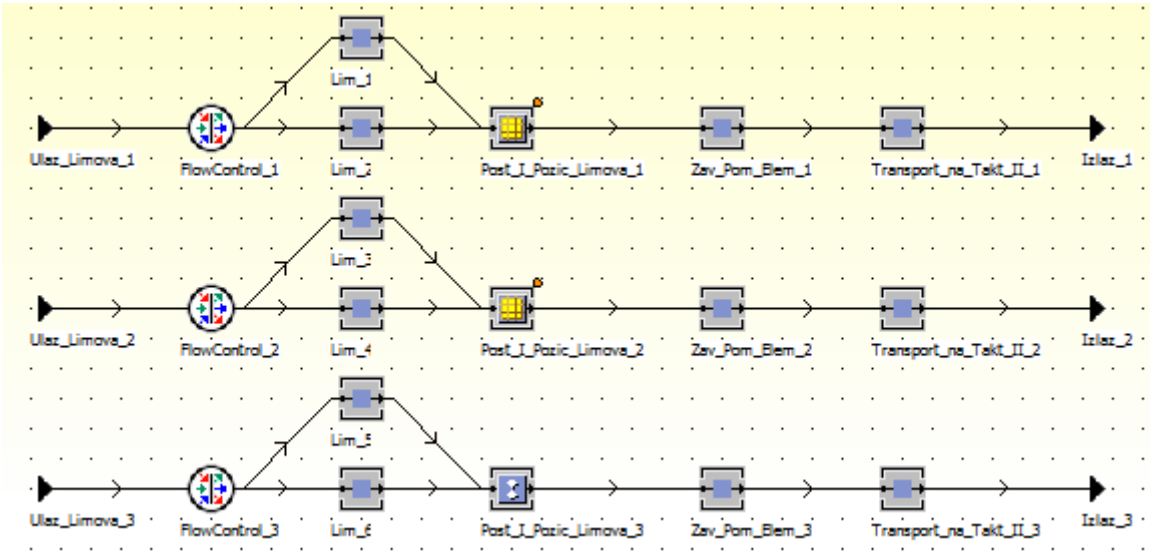
Takt_III radionice ZPS

Modelira „Frame-om“ Takt_III, unutar kojeg se nalazi objekt „Assembly“ koji omogućava

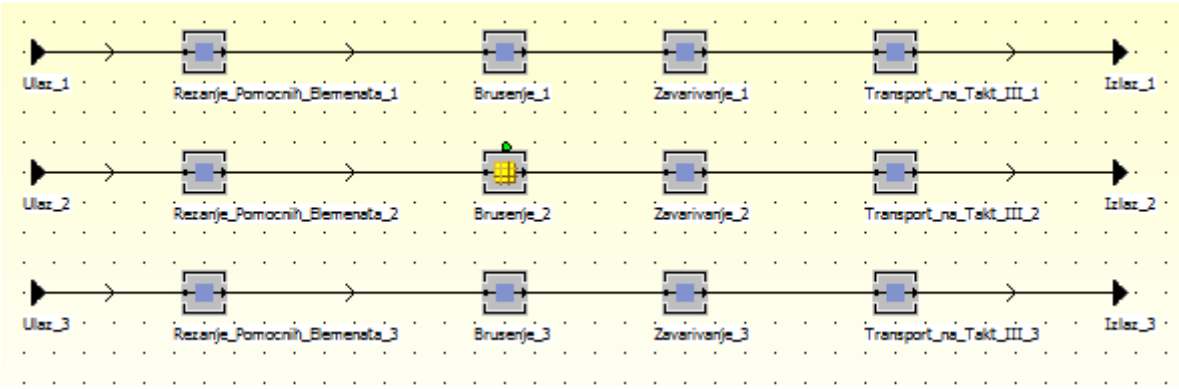
montiranje panela limova sa 6 „Profil“. Profili dolaze na „Cesalj“ koji se modelira pomoću objekta „Buffer“, kapaciteta 10 profila. Trajanje takta svake radionice iznosi 277.4 min.

Mosna magnetna dizalica

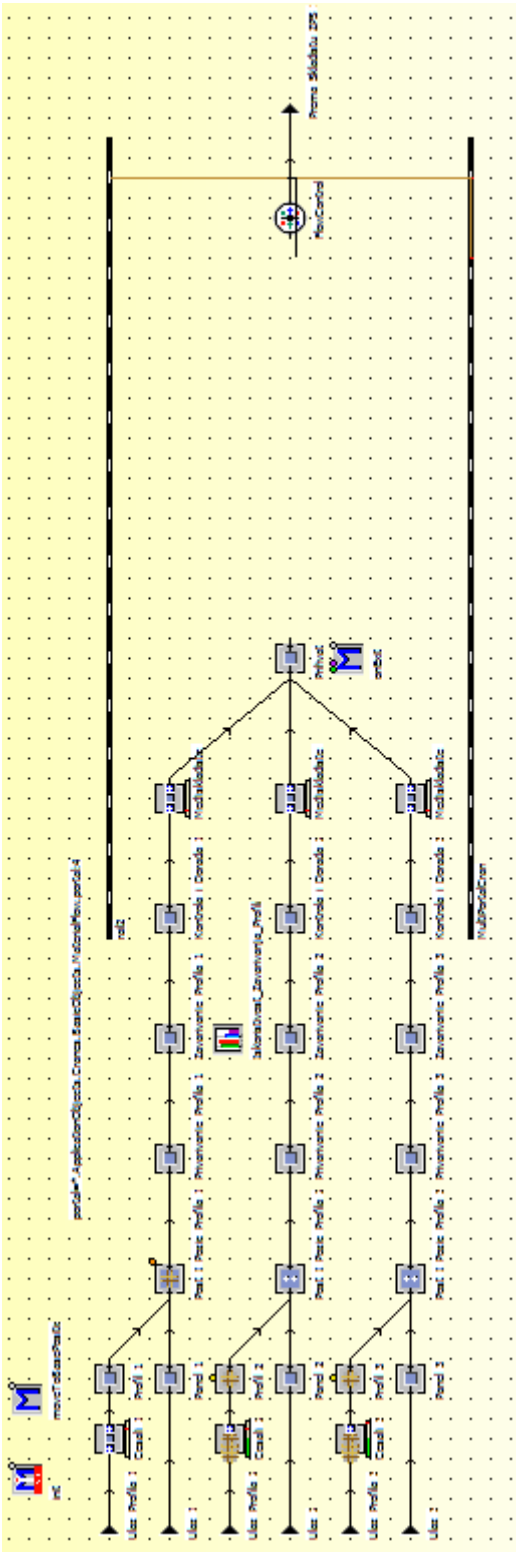
Namijenjena je za transport ZPS. Karakteristike dizalice su: raspon staza je 24 m, duljina staze je 40 m, visina dizalice je 10.5 m, brzina dizanja i spuštanja ZPS je 10 m/min, brzina hoda dizalice je 60 m/min. Gibanje dizalice je istovremeno u X, Y i Z smjeru.



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		
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice	Podsklop	RPS	ZPS
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.

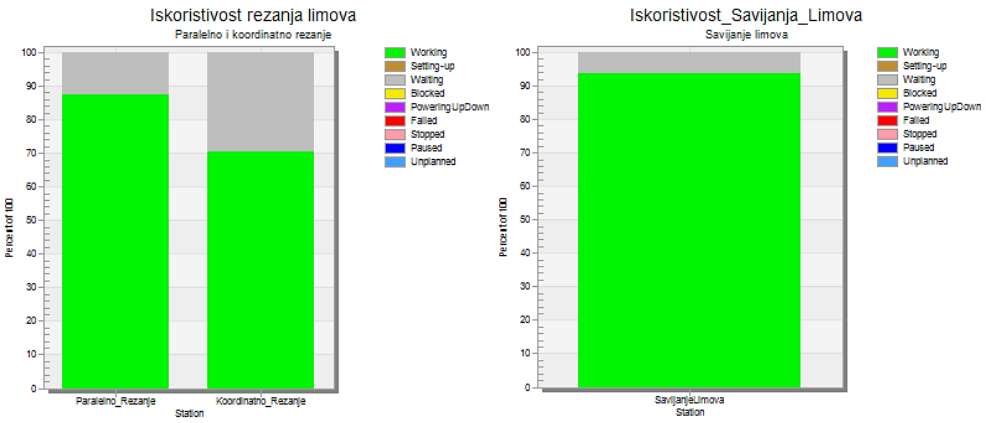
[Slika 36] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade 86.5% i 84% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

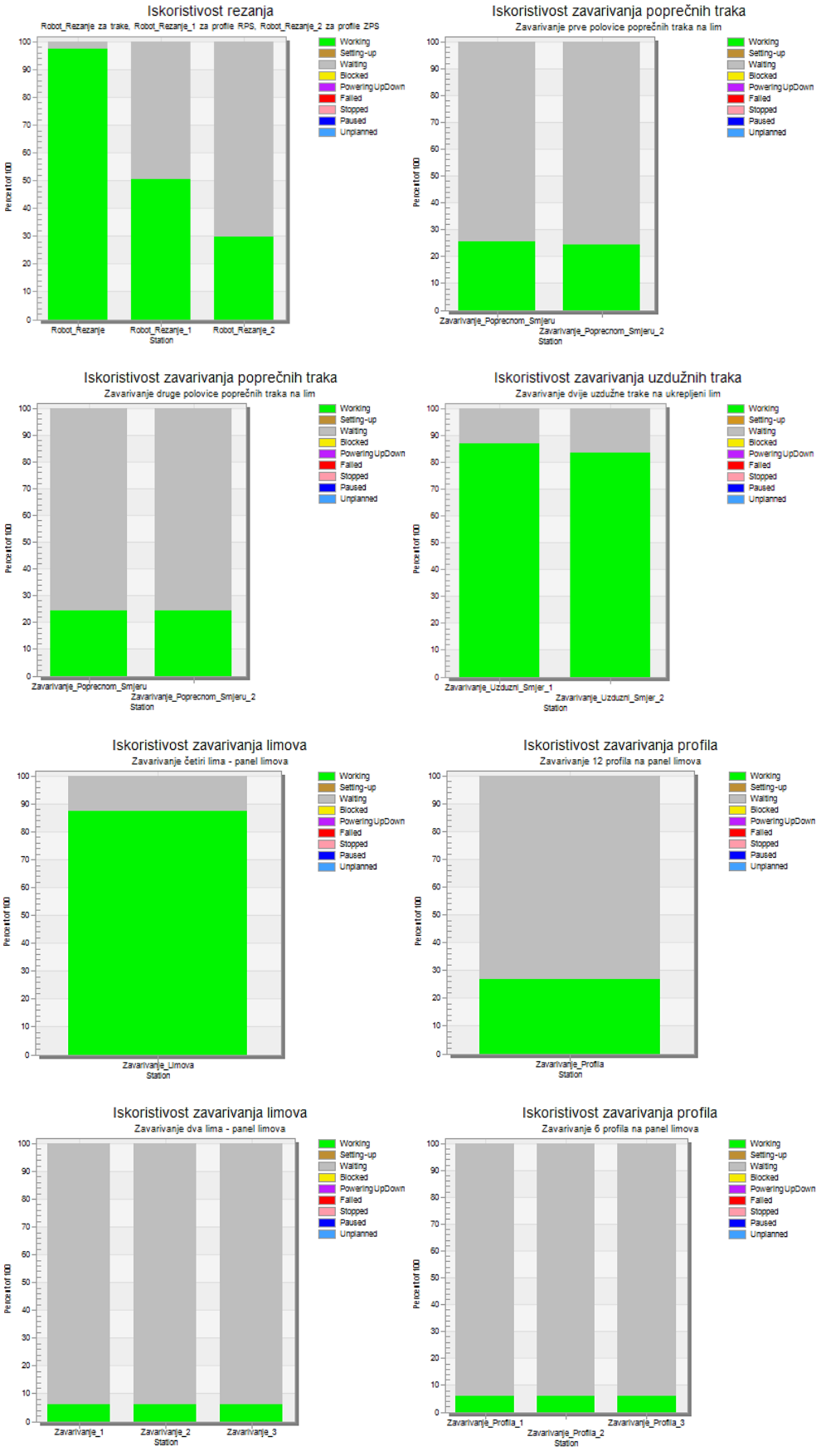
[Slika 36] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 87.8% vremena, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[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 zastoj u proizvodnji

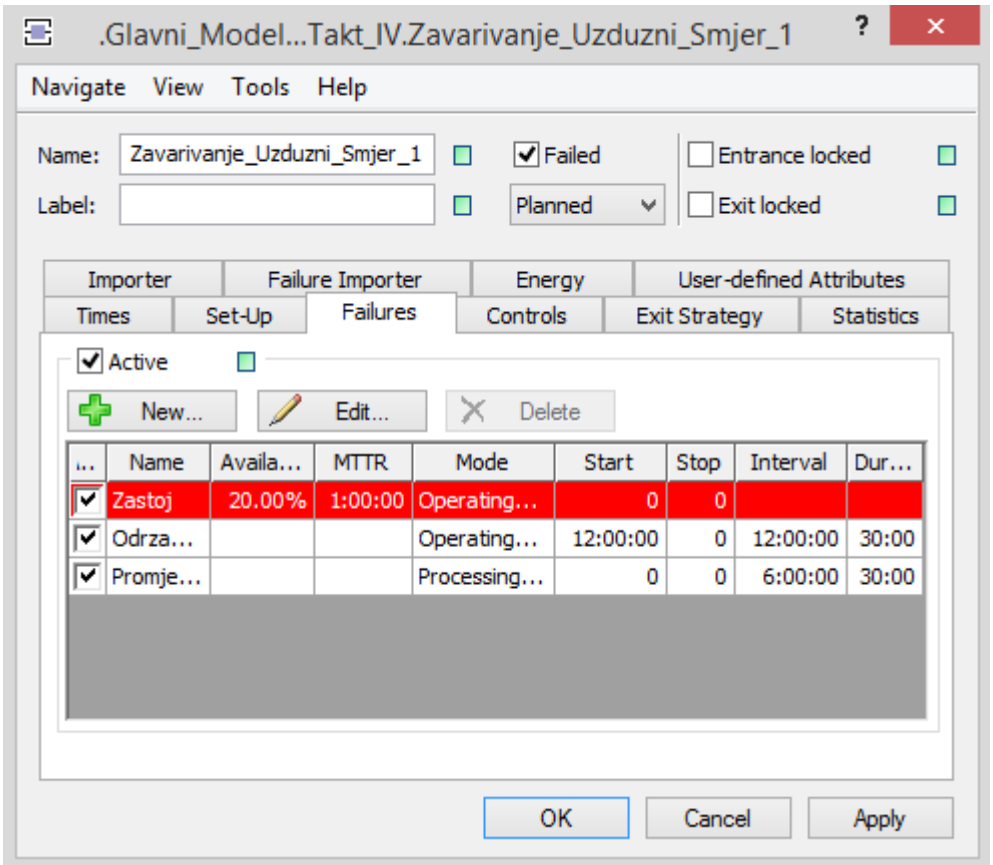
Usvrhu postizanja realnije slike okruženja u proizvodnji pri simulacijskom modeliranju potrebno je uključiti događaje koji spriječavaju konstantan tok materijala. U ovome primjeru analizirati će se tri takta:

- 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 zastoj 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 zastoj

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

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

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.

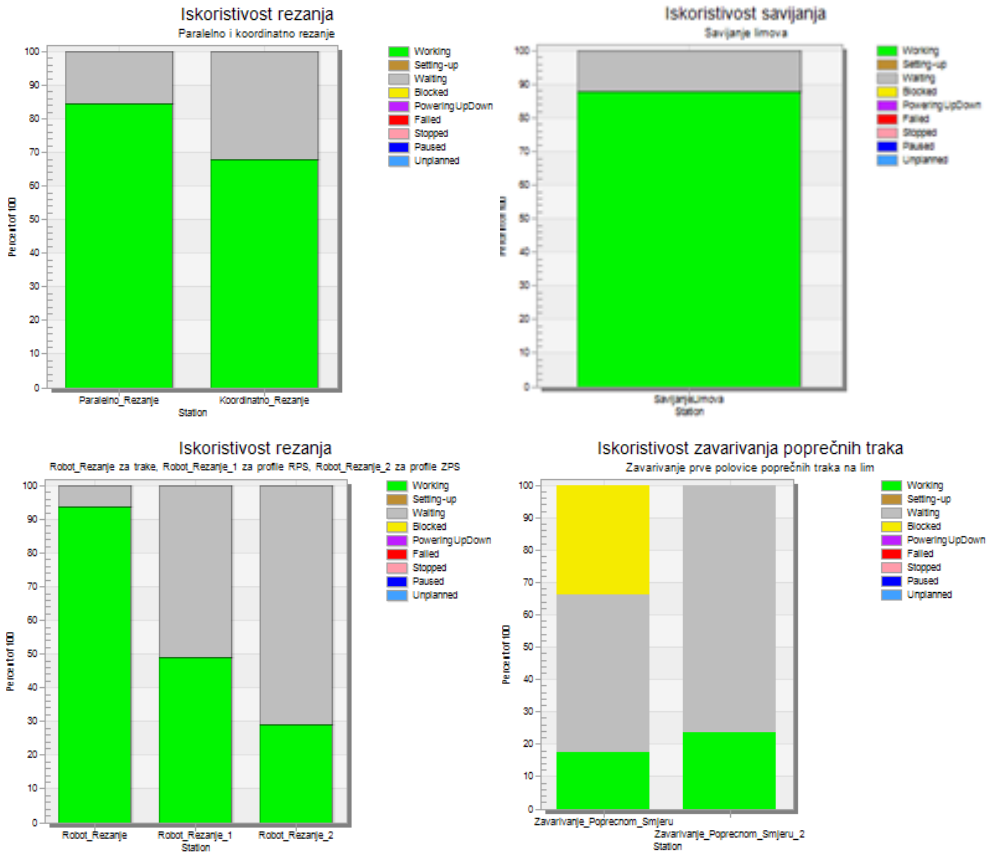
[Slika 38] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje_Uzduzni_Smjer_1“ radi 18.5% vremena, te je u zastoju 80% vremena. Stroj „Zavarivanje_Uzduzni_Smjer_2“ radi 83.5%. Ostatak vremena strojevi provode na čekanju.

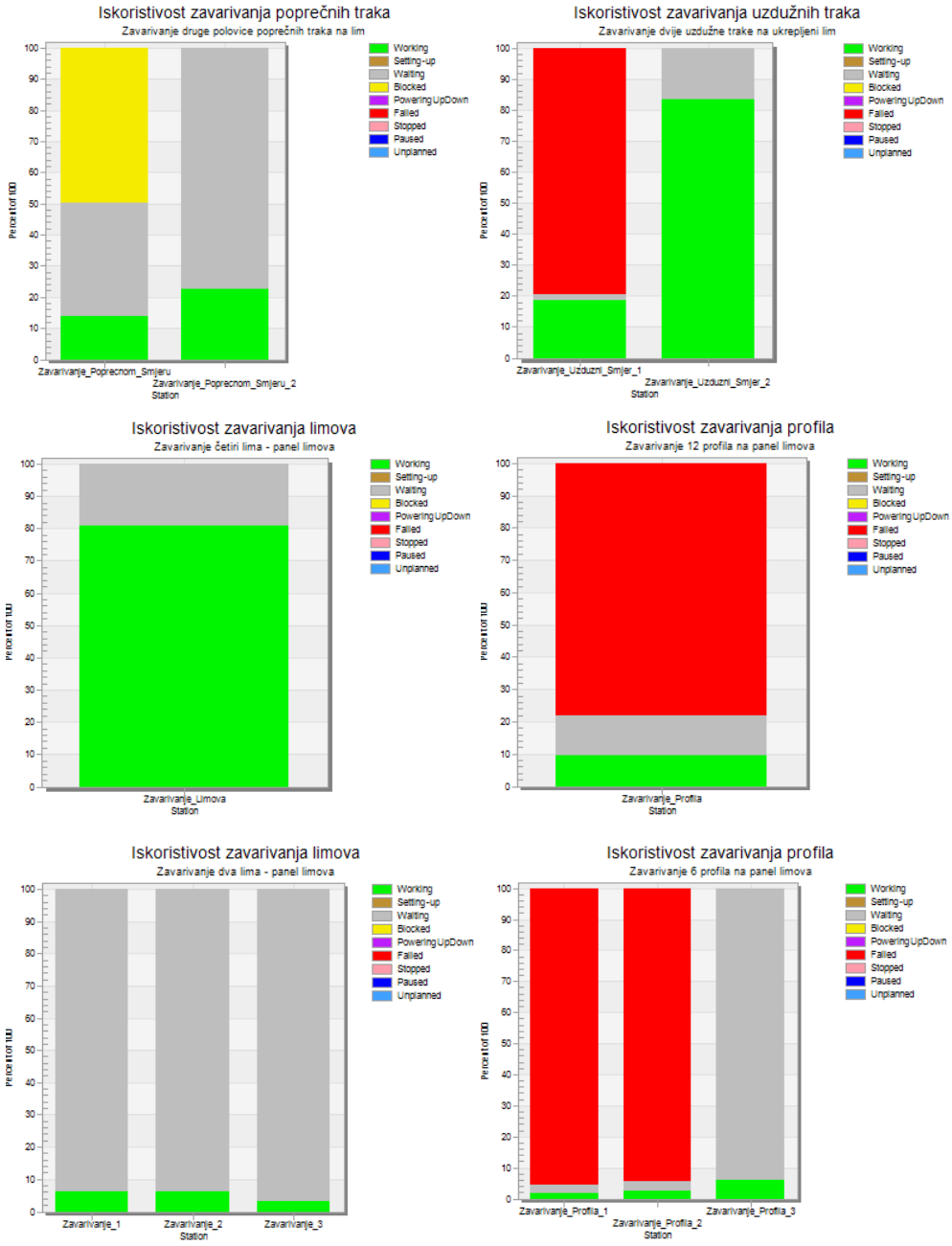
[Slika 38] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 80.5% vremena, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[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		
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice	Podsklop	RPS	ZPS
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.

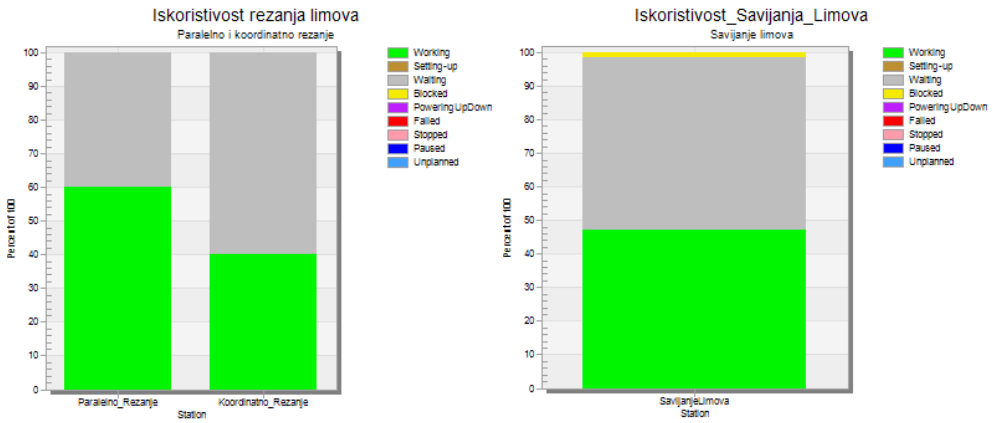
[Slika 39] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 82% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

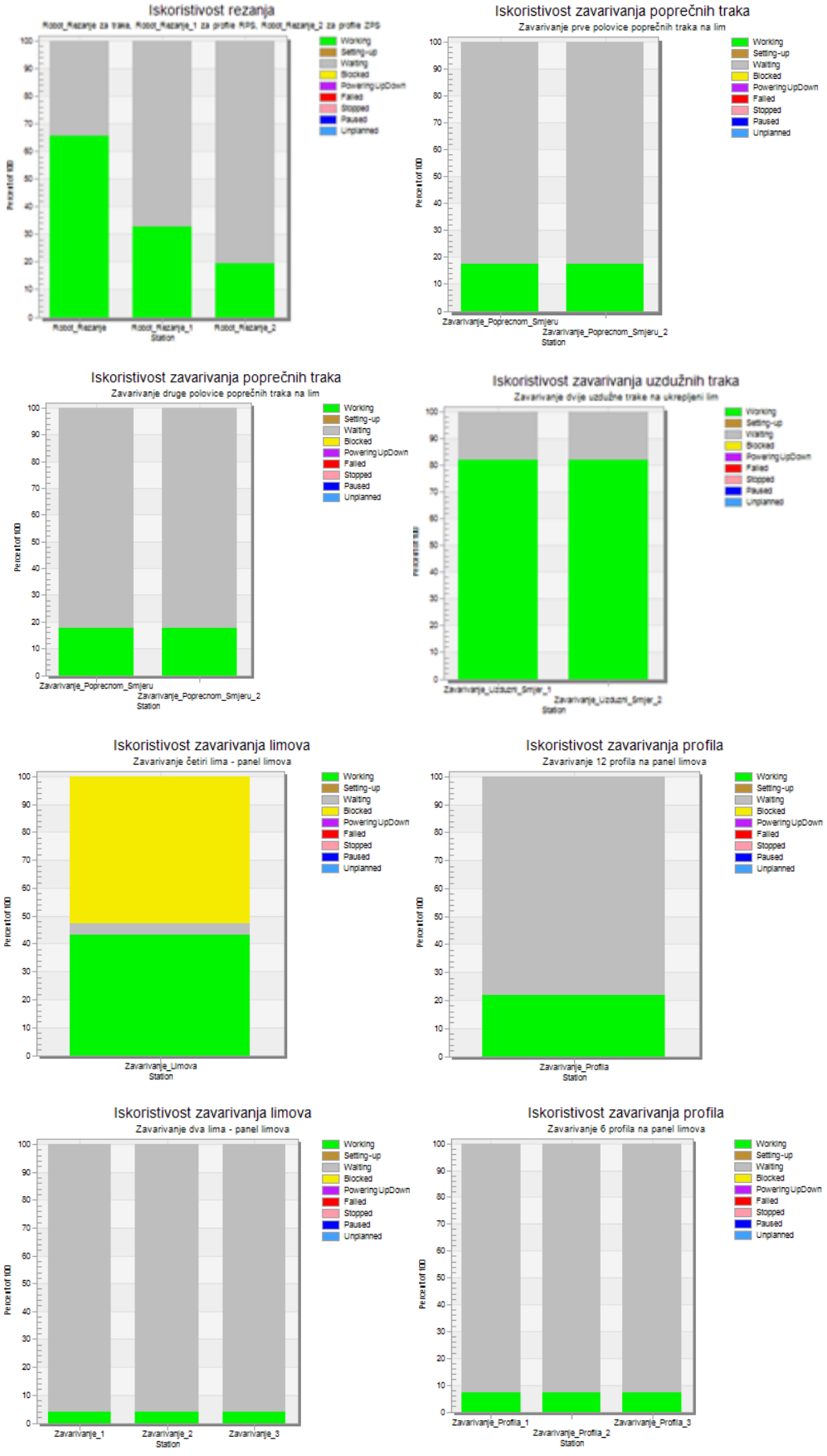
[Slika 39] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 43% vremena te je blokiran 52.5%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[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 zastoj u proizvodnji

Tablica 8. Mjesečna proizvodnja – održavanje, promjena alata i zastoj

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

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

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.

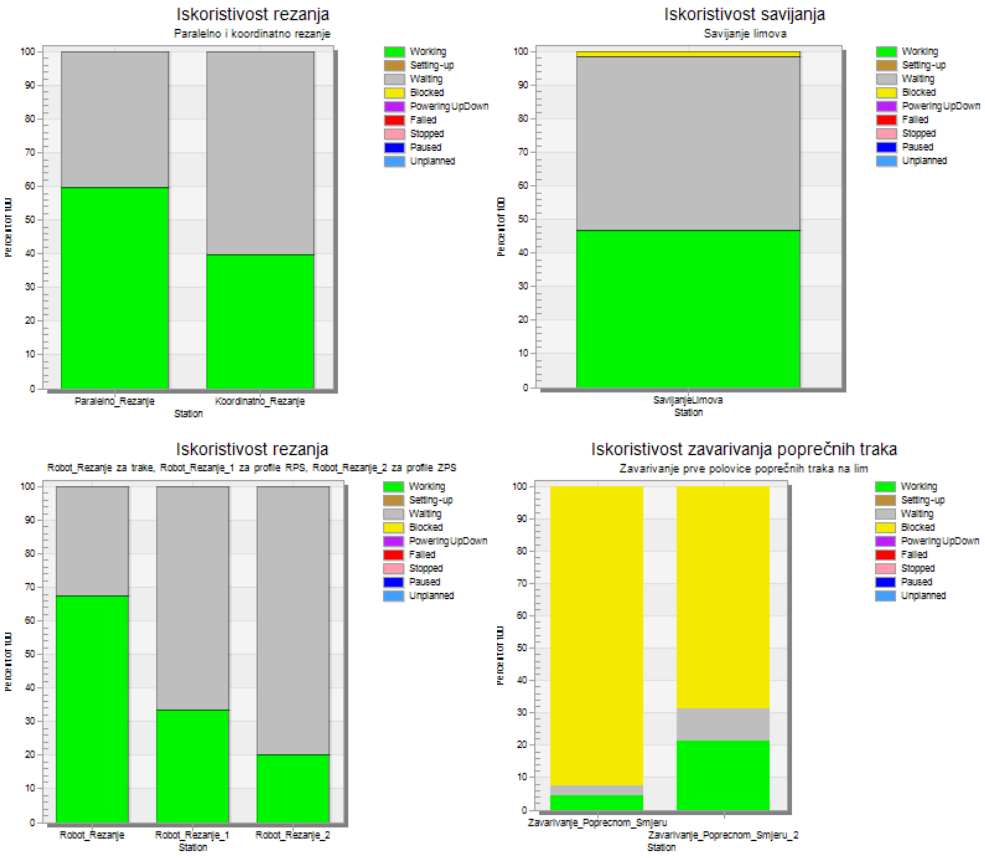
[Slika 40] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje_Uzduzni_Smjer_1“ radi 19.8% vremena, te je u zastoju 80.2% vremena. Stroj „Zavarivanje_Uzduzni_Smjer_2“ radi 98%, a ostatak vremena prvodi na čekanju.

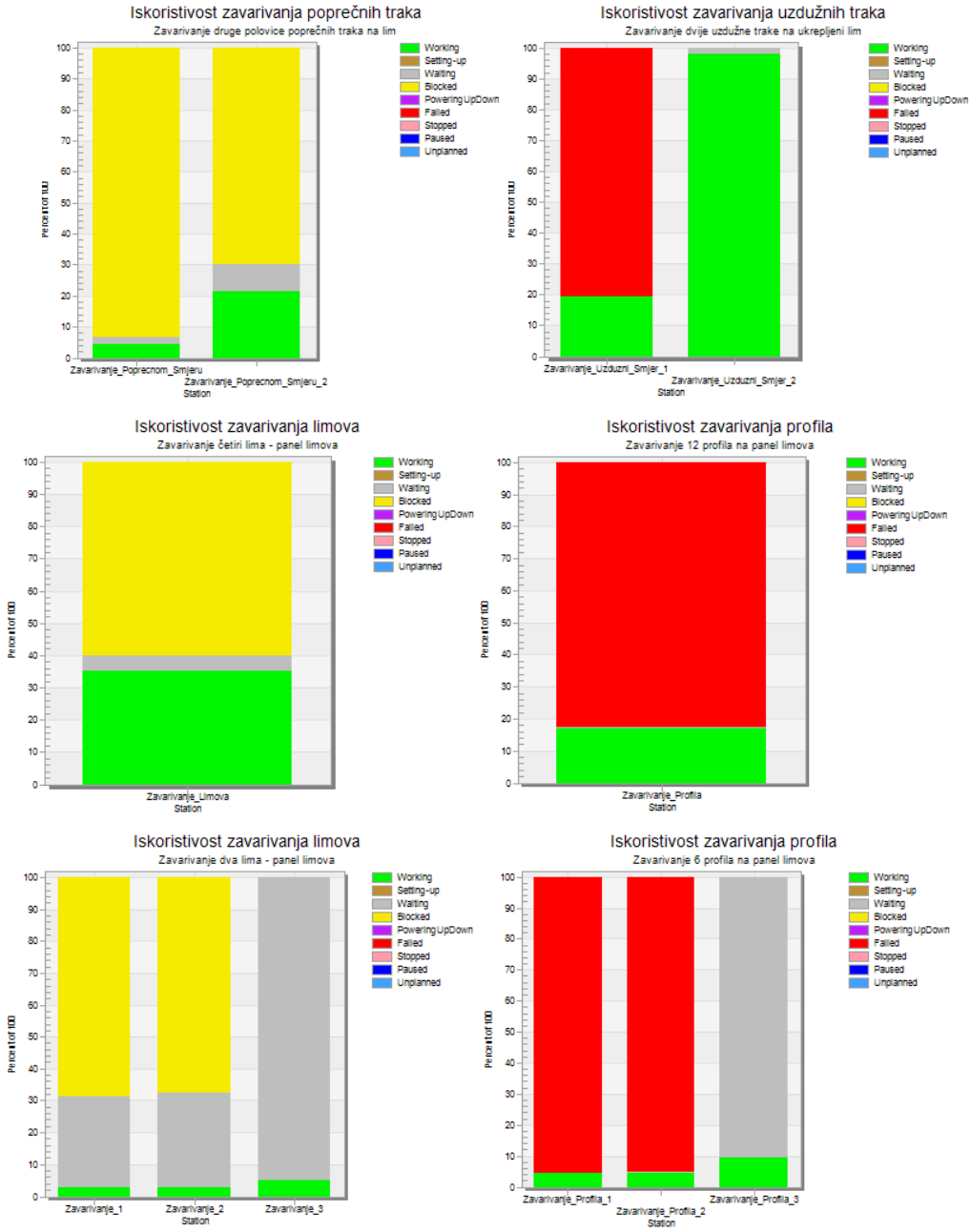
[Slika 40] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 35.3% vremena, te je blokiran 60.2%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[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		
Gotovi proizvodi brodogradevne radionice	Podsklop	RPS	ZPS
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.

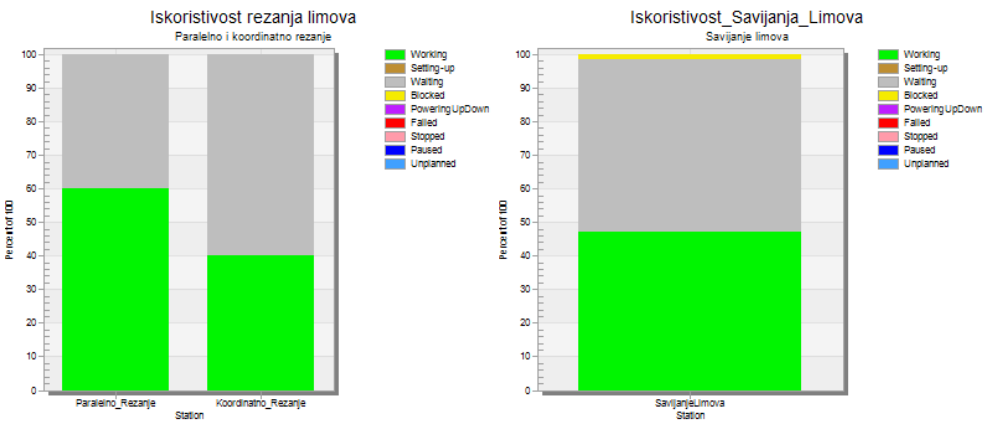
[Slika 41] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 82.3% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

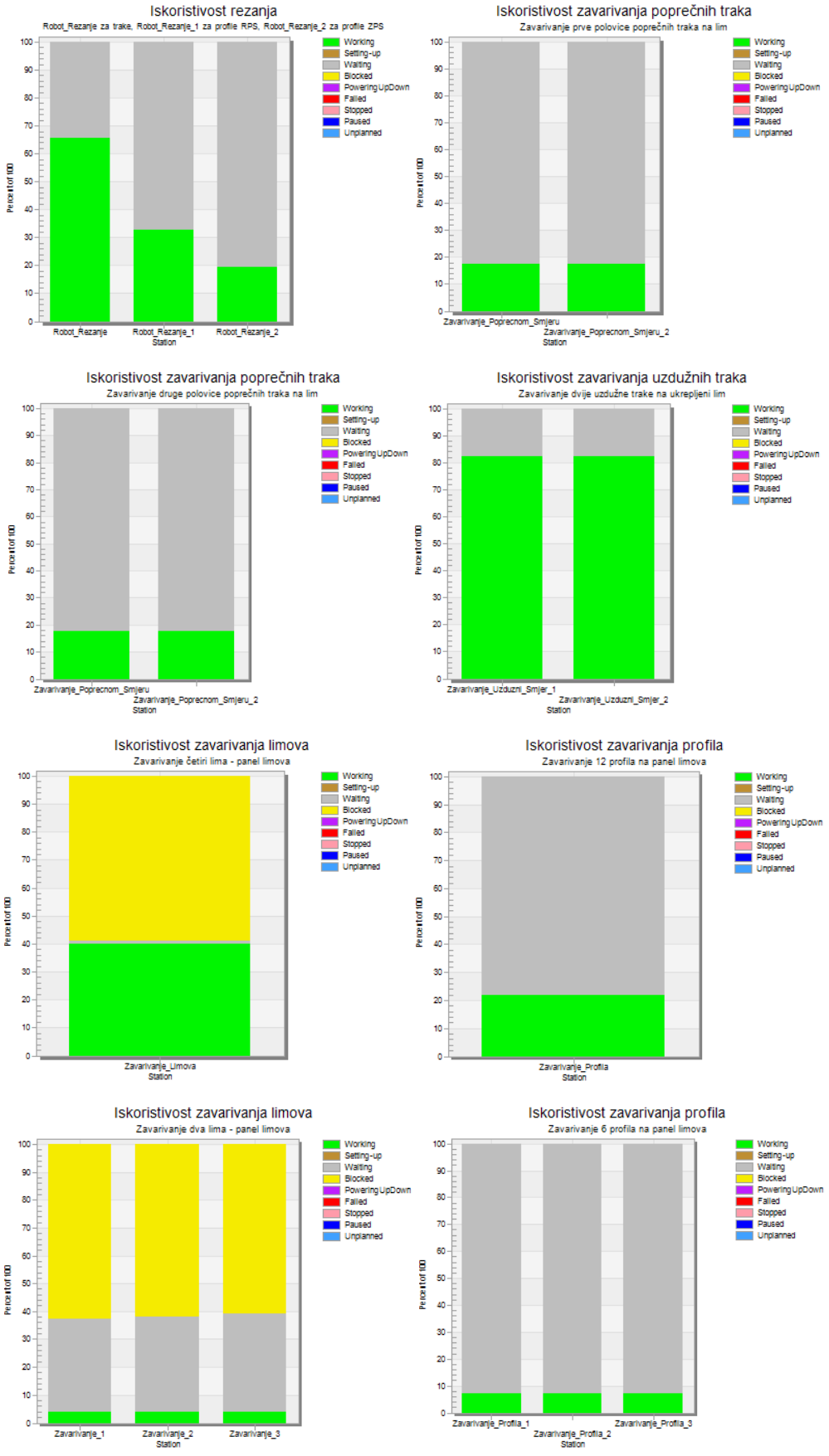
[Slika 41] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS_1. Stroj za zavarivanje panela limova radi 43% vremena te je blokiran 52.5%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[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		
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice	Podsklop	RPS	ZPS
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.

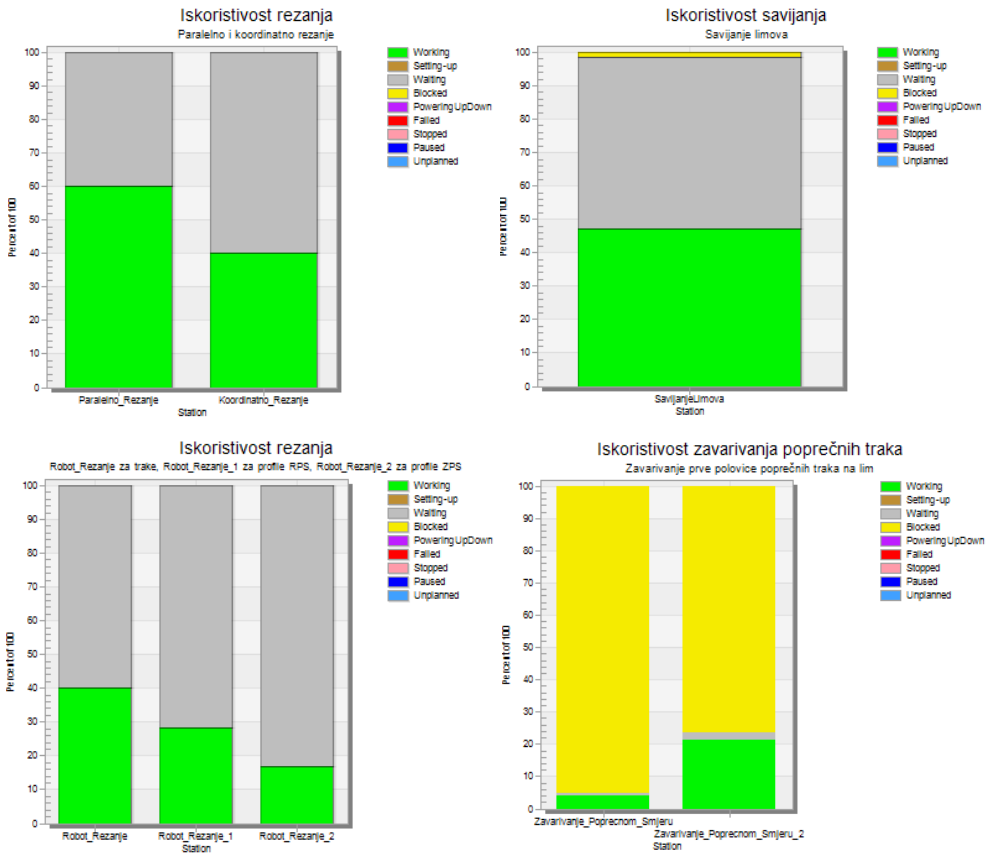
[Slika 42] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje_Uzduzni_Smjer_1“ radi 20% vremena, te je u zastoju 80% vremena. Stroj „Zavarivanje_Uzduzni_Smjer_2“ radi 99.8%., a 0.2% vremena provodi na čekanju.

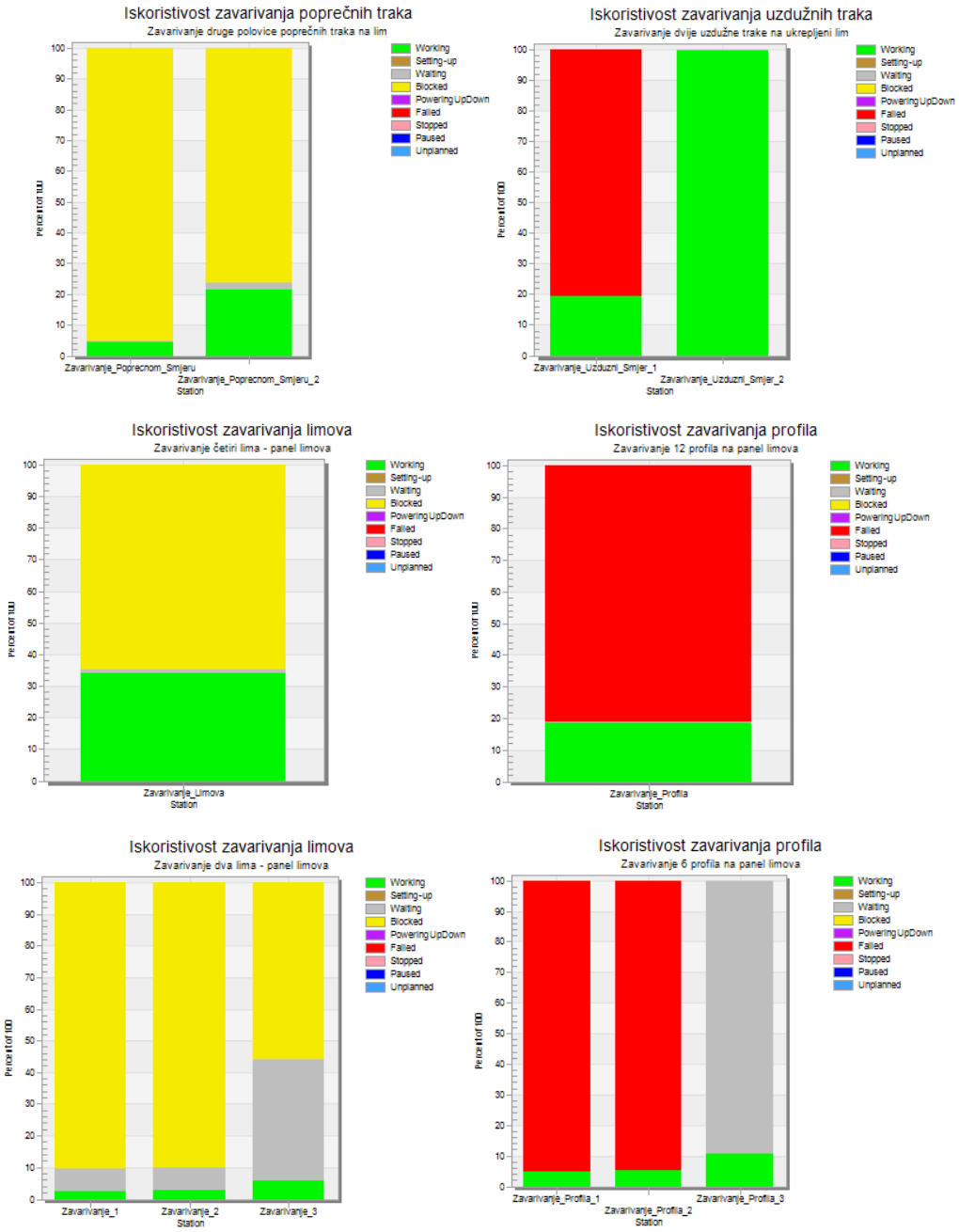
[Slika 42] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 34.2% vremena, te je blokiran 64.7% vremena, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[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		
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice	Podsklop	RPS	ZPS
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.

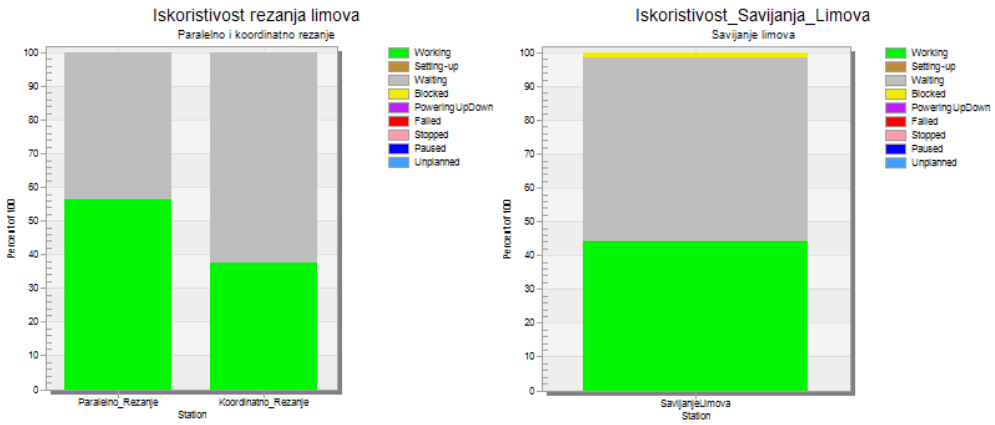
[Slika 43] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 82% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

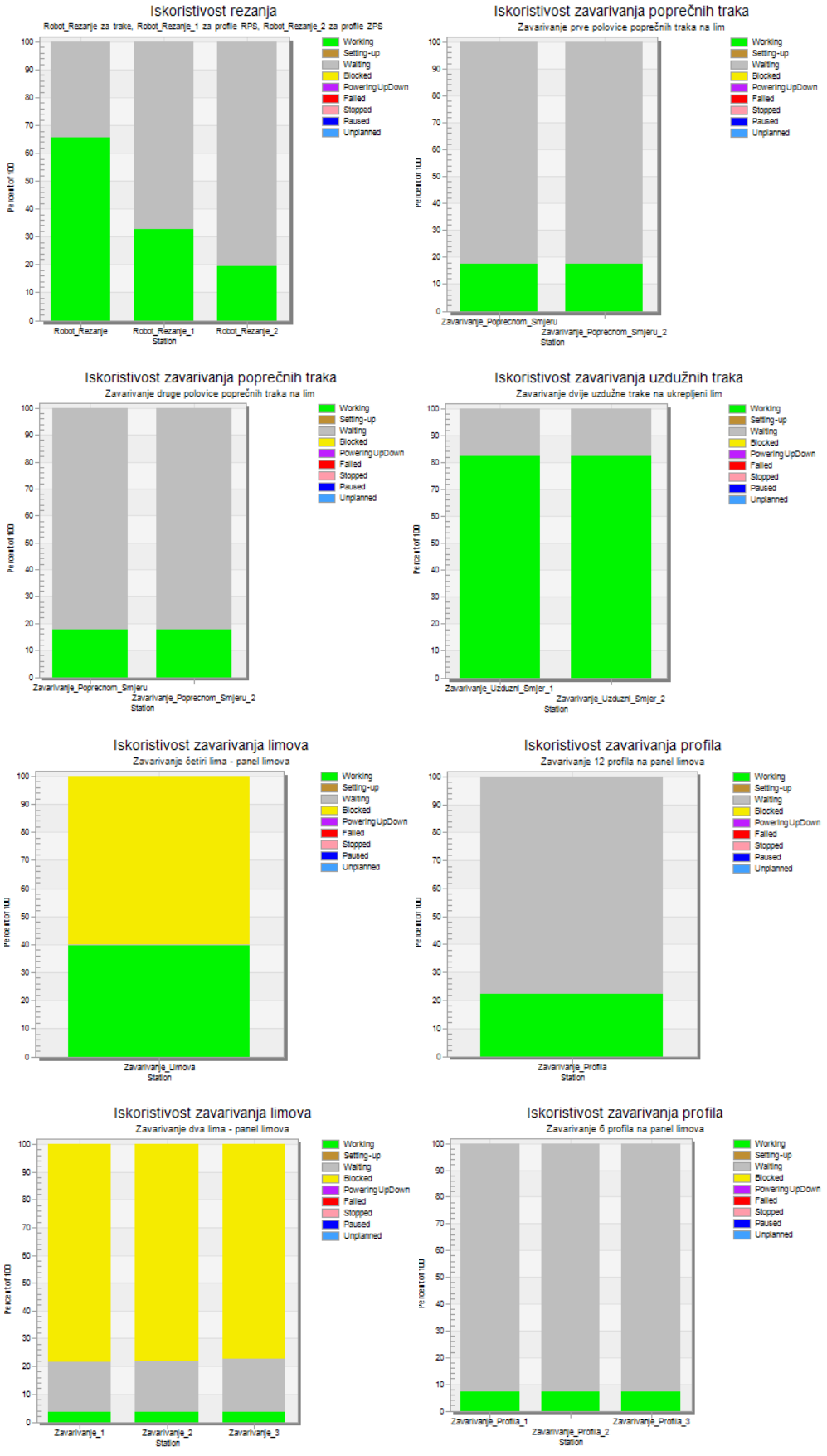
[Slika 43] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS_1. Stroj za zavarivanje panela limova radi 40% vremena te je blokiran 59.9%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[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		
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice	Podsklop	RPS	ZPS
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.

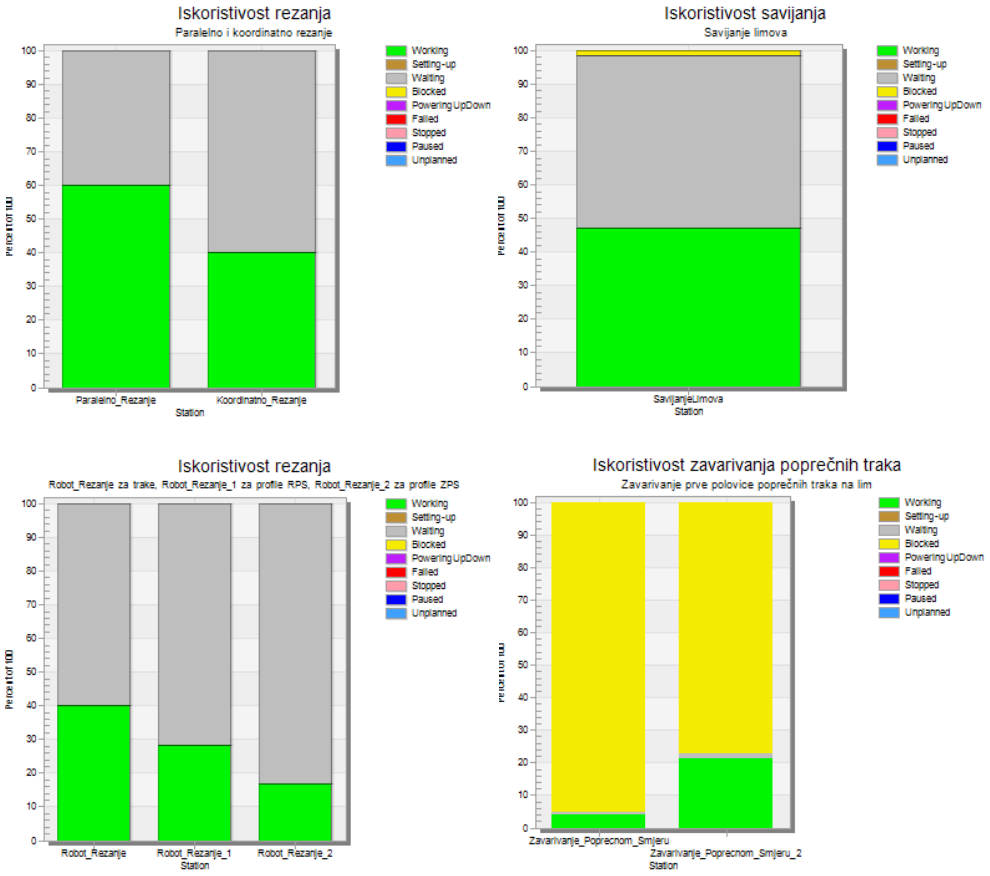
[Slika 44] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da stroj „Zavarivanje_Uzduzni_Smjer_1“ radi 20% vremena, te je u zastoju 80% vremena. Stroj „Zavarivanje_Uzduzni_Smjer_2“ radi 100%.

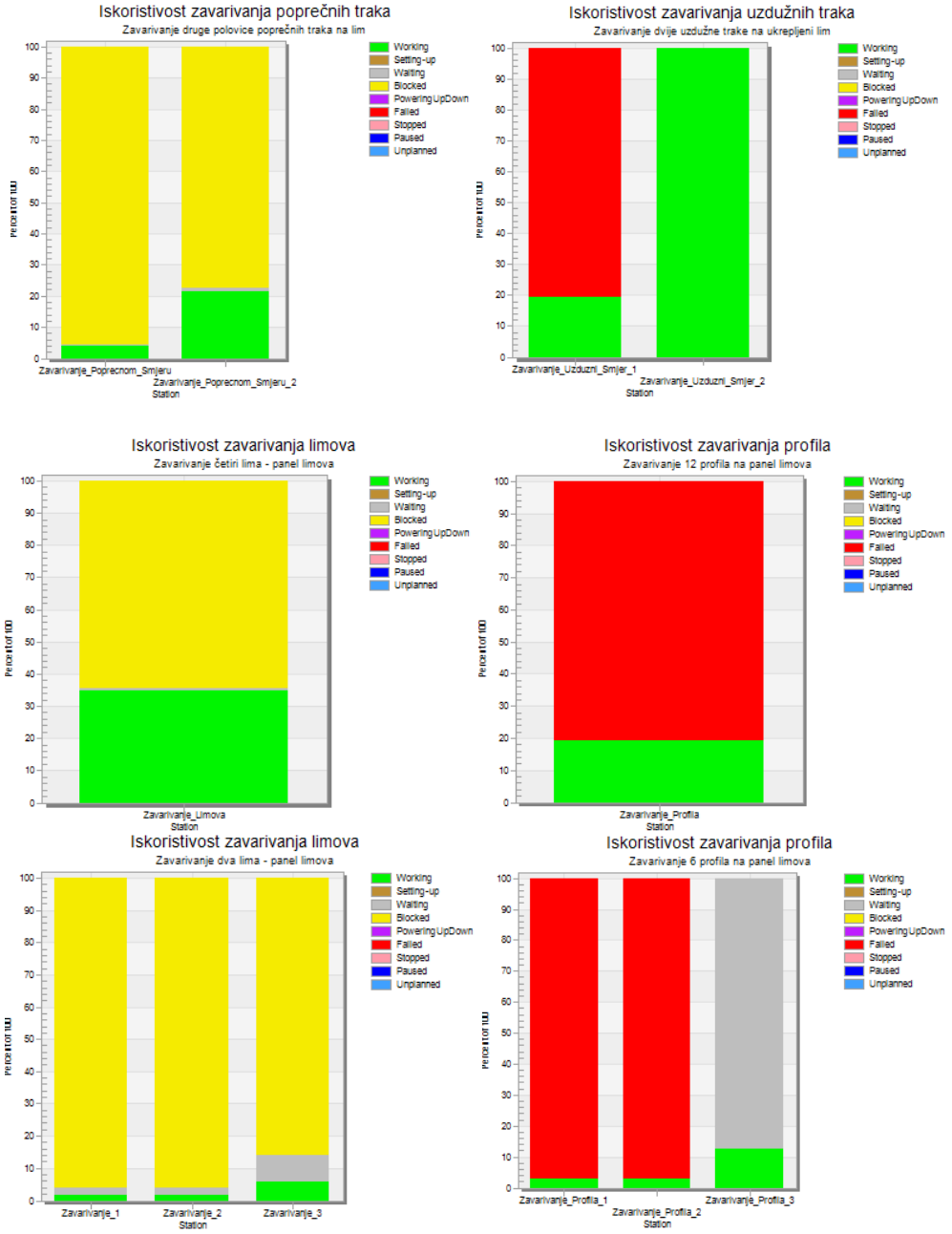
[Slika 44] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 34.9% vremena, te je blokiran 64.6% vremena, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[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 PROJEKTNOG RJEŠENJA

Analiza simulacijskog modela pruža nam uvid u proizvodni proces brodogradevne 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 razultate.

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 proivodnje.

5.1. Prvi eksperiment – jedan dan reducirane proizvodnje

Tablica 16. Dnevna proizvodnja – reducirana proizvodnja

Naziv	Model s pet entiteta		
Gotovi proizvodi brodogradevne radionice	Podsklop	RPS	ZPS
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.

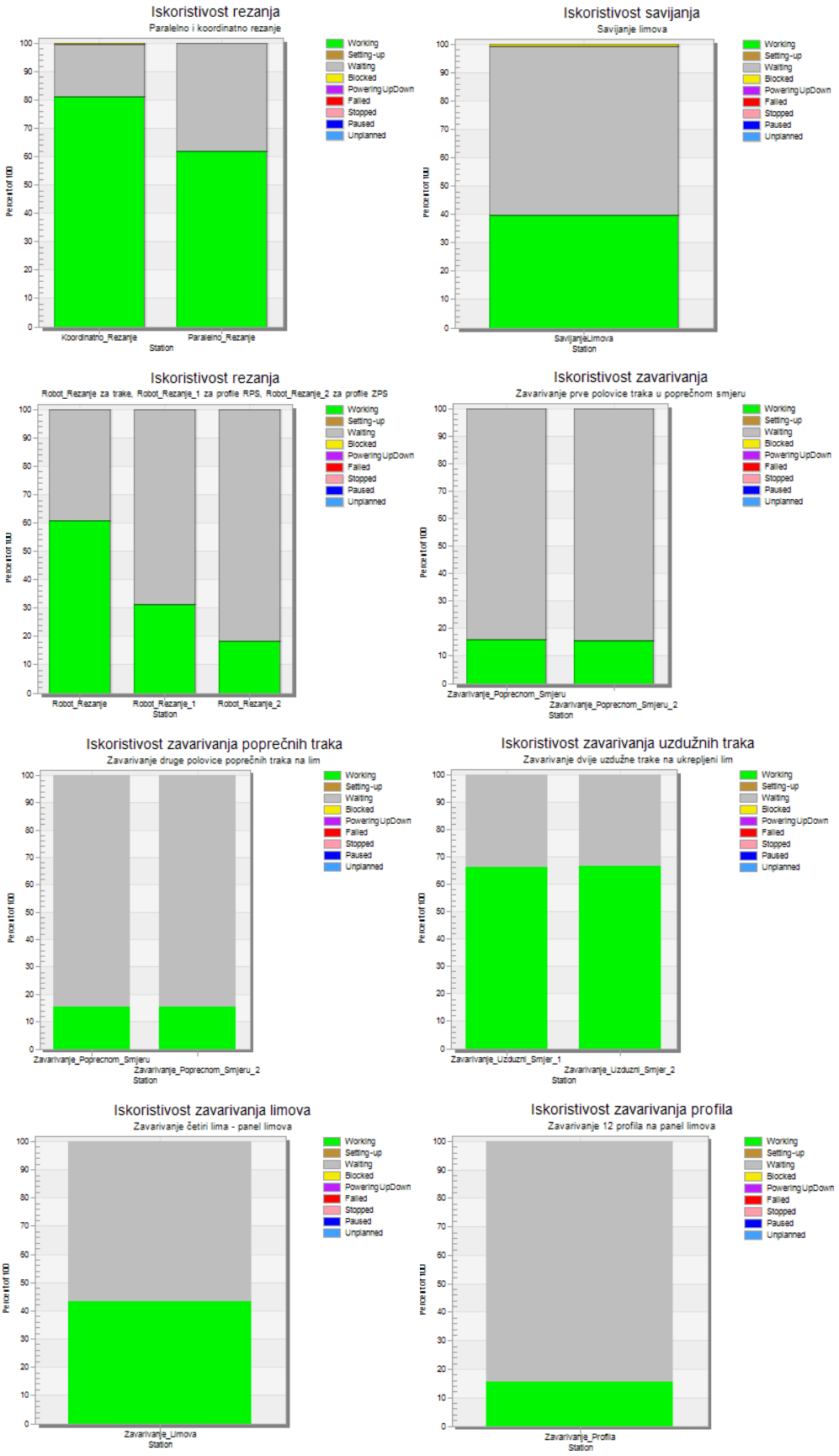
[Slika 45] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 65.4% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

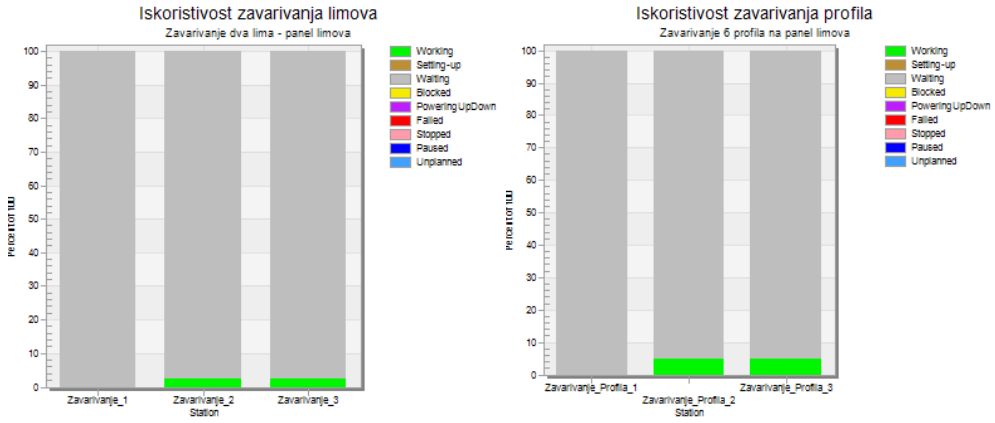
[Slika 45] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 41.8% vremena, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 45] prikazuje praćenje 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.


Iskoristivost rezanja
Paralelno i koordinatno rezanje
Working
Setting-up
Waiting
Blocked
Powering UpDown
Failed
Stopped
Paused
Unplanned
Percent of (100)
Koordinatno_Rezanje
Paralelno_Rezanje
Station
Iskoristivost savijanja
Savijanje limova
SavijanjeLimova
Iskoristivost rezanja
Robot_Rezanje za trake, Robot_Rezanje_1 za profile RPS, Robot_Rezanje_2 za profile ZPS
Robot_Rezanje
Robot_Rezanje_1
Robot_Rezanje_2
Iskoristivost zavarivanja
Zavarivanje prve polovice traka u poprečnom smjeru
Zavarivanje_Poprecnom_Smjeru
Zavarivanje_Poprecnom_Smjeru_2
Iskoristivost zavarivanja poprečnih traka
Zavarivanje druge polovice poprečnih traka na lim
Iskoristivost zavarivanja uzdužnih traka
Zavarivanje dvije uzdužne trake na ukrepljeni lim
Zavarivanje_Uzduzni_Smjer_1
Zavarivanje_Uzduzni_Smjer_2
Iskoristivost zavarivanja limova
Zavarivanje četiri lima - panel limova
Zavarivanje_Limova
Iskoristivost zavarivanja profila
Zavarivanje 12 profila na panel limova
Zavarivanje_Profila



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		
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice	Podsklop	RPS	ZPS
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.

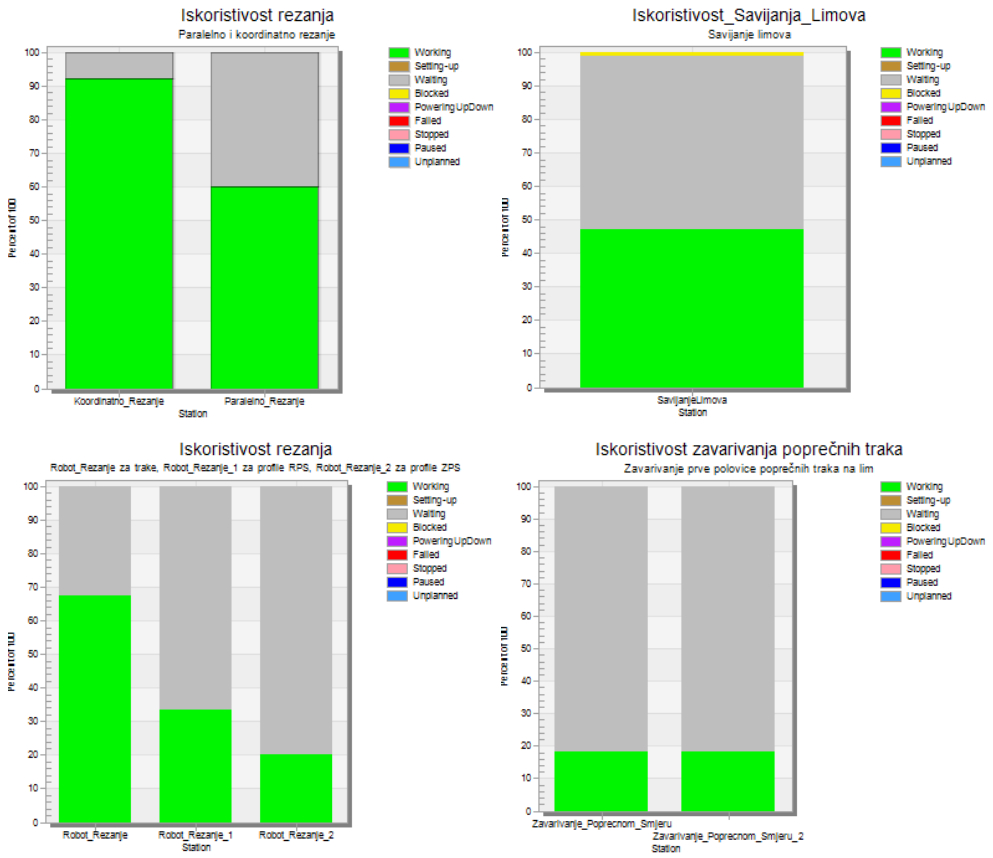
[Slika 46] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 84% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

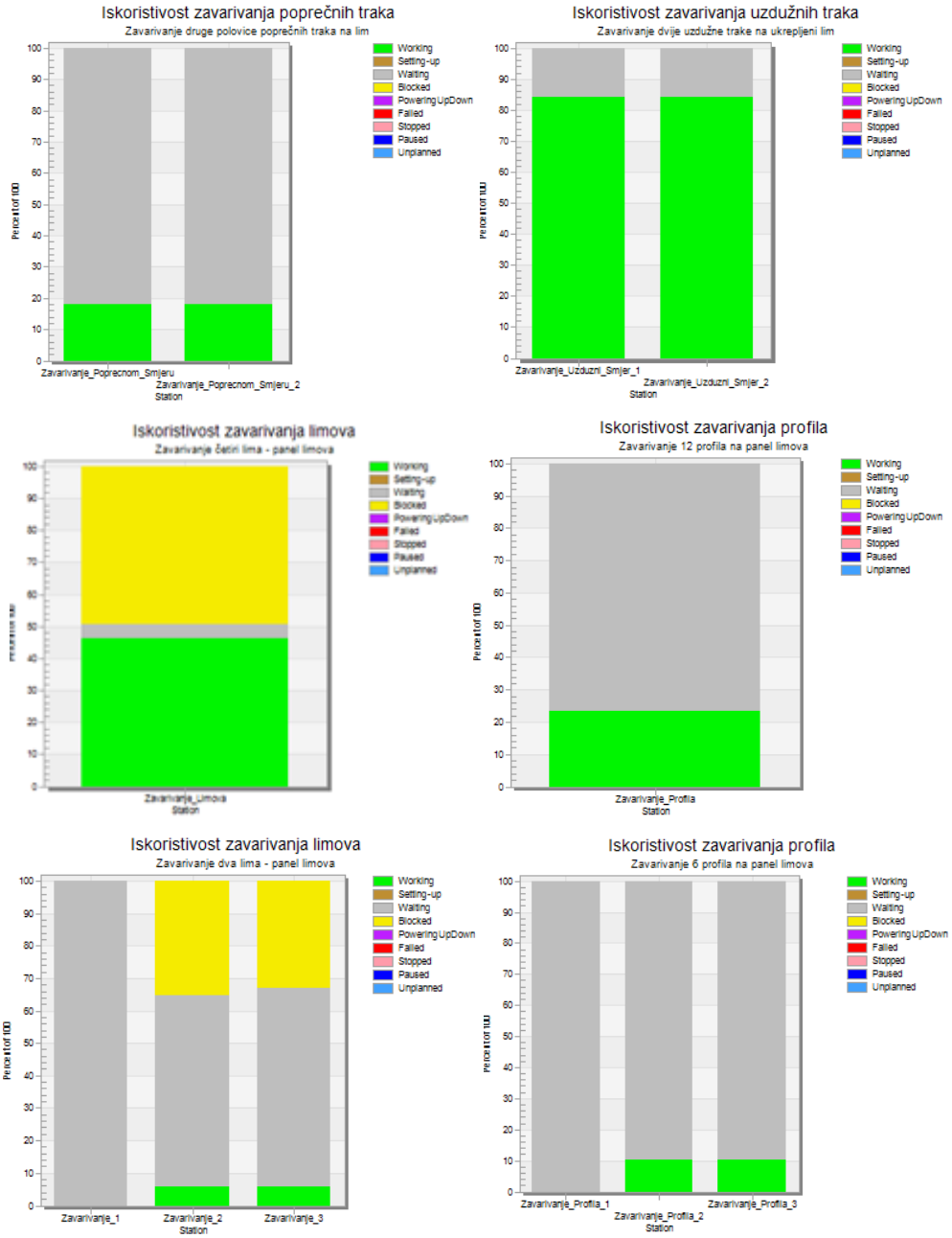
[Slika 46] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS_1. Stroj za zavarivanje panela limova radi 46.2% vremena te je blokiran 49.4%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 46] prikazuje praćenje 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		
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice	Podsklop	RPS	ZPS
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.

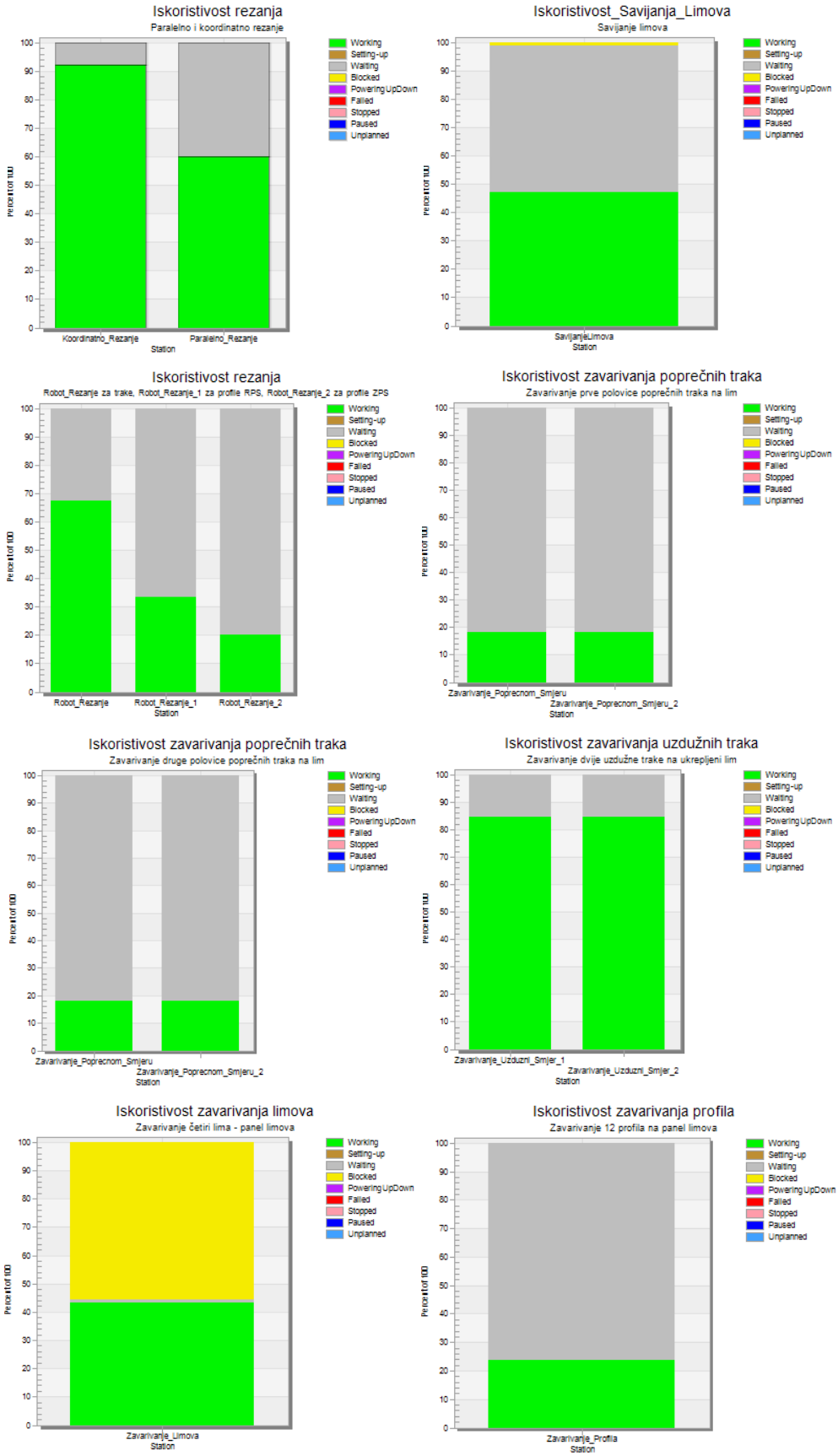
[Slika 47] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 84.5% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

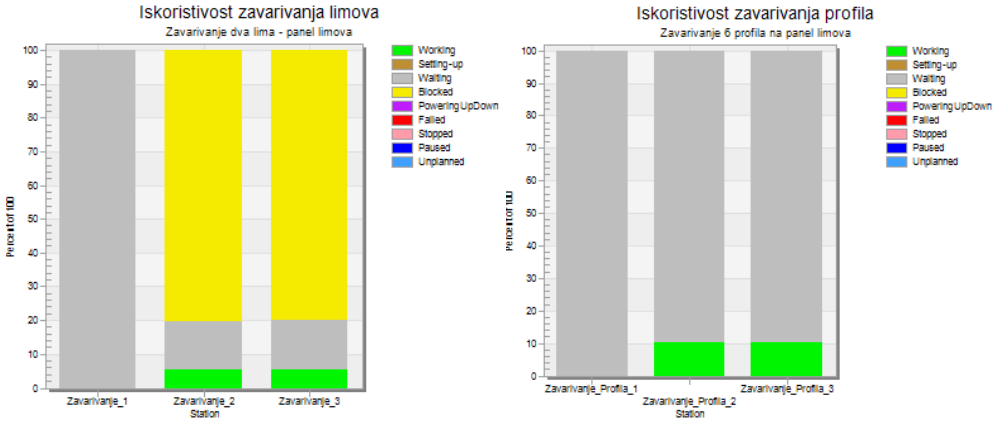
[Slika 47] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS_1. Vidljivo je da stroj za zavarivanje panela limova radi 43.3% vremena te je blokiran 55.7%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[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.


Iskoristivost rezanja
Paralelno i koordinatno rezanje
Working
Setting-up
Waiting
Blocked
Powering UpDown
Failed
Stopped
Paused
Unplanned
Percent of 100
Koordinatno_Rezanje
Paralelno_Rezanje
Station
Iskoristivost_Savijanja_Limova
Savijanje limova
SavijanjeLimova
Station
Iskoristivost rezanja
Robot_Rezanje za trake, Robot_Rezanje_1 za profile RPS, Robot_Rezanje_2 za profile ZPS
Robot_Rezanje
Robot_Rezanje_1
Robot_Rezanje_2
Iskoristivost zavarivanja poprečnih traka
Zavarivanje prve polovice poprečnih traka na lim
Zavarivanje_Poprecnom_Smjeru
Zavarivanje_Poprecnom_Smjeru_2
Iskoristivost zavarivanja poprečnih traka
Zavarivanje druge polovice poprečnih traka na lim
Iskoristivost zavarivanja uzdužnih traka
Zavarivanje dvije uzdužne trake na ukrepljeni lim
Zavarivanje_Uzduzni_Smjer_1
Zavarivanje_Uzduzni_Smjer_2
Iskoristivost zavarivanja limova
Zavarivanje četiri lima - panel limova
Zavarivanje_Limova
Iskoristivost zavarivanja profila
Zavarivanje 12 profila na panel limova
Zavarivanje_Profila



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		
Gotovi proizvodi brodograđevne radionice	Podsklop	RPS	ZPS
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.

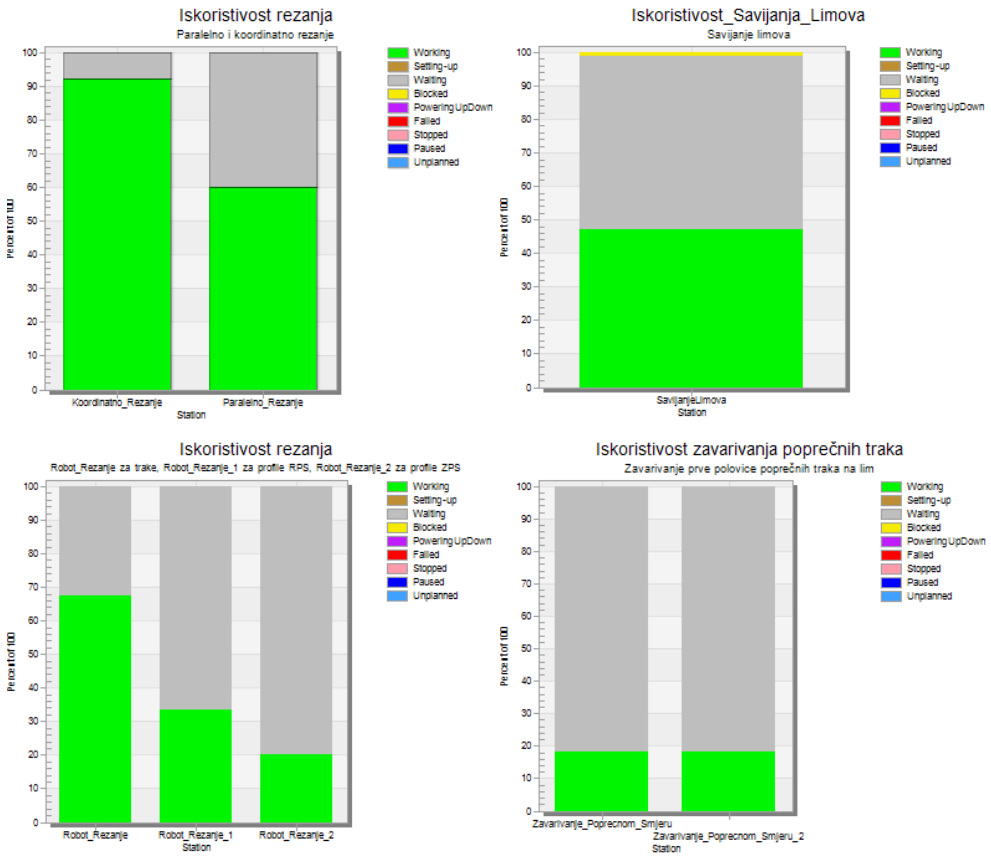
[Slika 48] prikazuje praćenje 4. takta mikropanel linije. Vidljivo je da strojevi za zavarivanje uzdužnih traka rade po 84.5% vremena, dok ostatak vremena su u stanju čekanja.

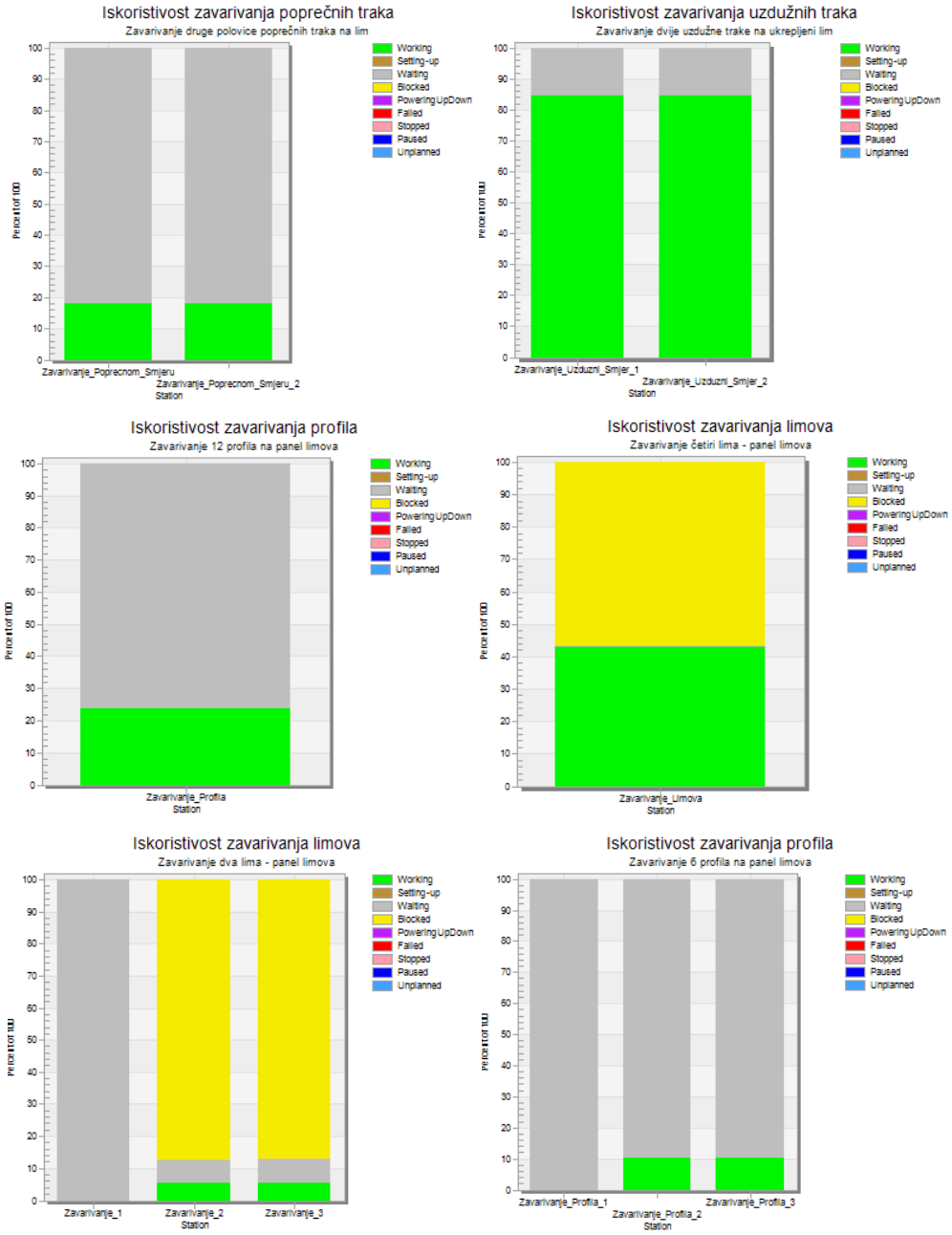
[Slika 48] prikazuje praćenje 1. takta radionice RPS_1. Stroj za zavarivanje panela limova radi 42.8% vremena te je blokiran 56.7%, dok ostatak vremena je u stanju čekanja.

[Slika 48] prikazuje praćenje 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 opcijskih 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
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
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 mikroplanel 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
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
Jedinica	kom	kom	%	kom	kom	%	kom	kom	%
4.takt mikroplanel 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
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 mikroplanel 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 izbaci 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
Projektni 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
					∑=	4.1118	∑=	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
					∑=	4.1118	∑=	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
					∑=	5.9357	∑=	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
					∑=	5.653	∑=	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

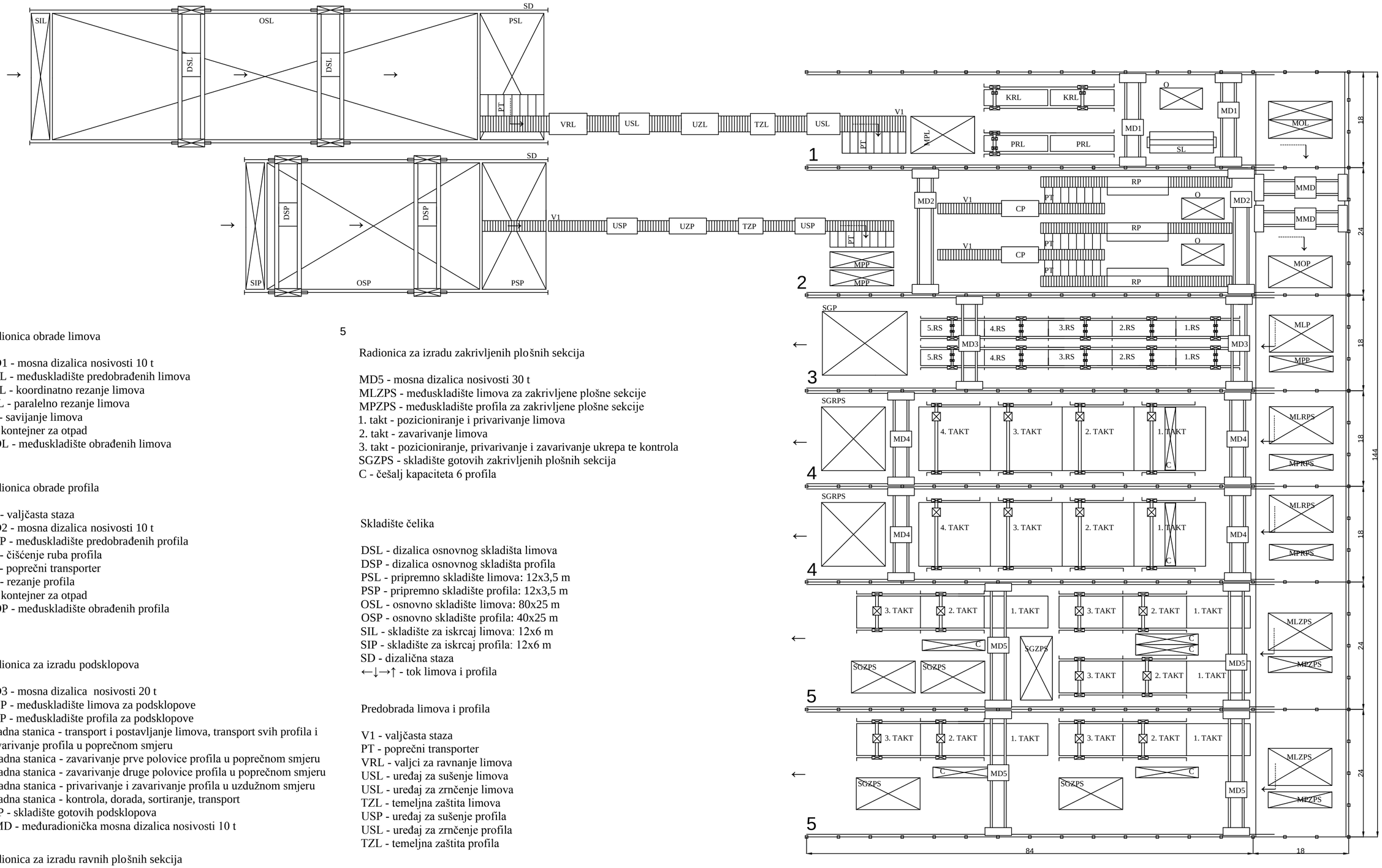
Narudžbena specifikacija zakrivljene plošne sekcije - neto masa čelika									
Pozicija	Duljina	Širina	Debljina	Broj komada	Suma	Masa po komadu	Suma	Ukupna masa	Udio u masi podsklopa
Naziv dijela	mm	mm	mm	n	-	t	-	t	-
Lim	11800	3000	20	2	-	5.5578	-	11.116	0.831
HP 320x12	11800	340	12	6	-	0.3779	-	2.268	0.169
					∑=	5.9357	∑=	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
					∑=	5.653	∑=	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

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



1

Radionica obrade limova

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

2

Radionica obrade profila

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

3

Radionica za izradu podsklopova

MD3 - mosna dizalica nosivosti 20 t
MLP - međuskladište limova za podsklopove
MPP - međuskladište 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 - međuskladište limova za ravne plošne sekcije
MPRPS - međuskladište 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 - međuskladište limova za zakrivljene plošne sekcije
MPZPS - međuskladište 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 ravnanje 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
IZRADIO	10.11.2015.	Krešimir Bešlić	AK. GOD. 2015/16
PREGLEDAO			
M 1:500	SKLADISTE ČELIKA, PREDOBRADA I BRODOGRADEVNA RADIONICA ZA IZRADU PODSKLOPOVA I SEKCIJA		LISTOVA 1 / LIST BR. 1

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT