Simulacijski model proizvodnje kalupa staklene ambalaže

Ranogajec, Bruno

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:235:387534

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

Bruno Ranogajec

Zagreb, 2020. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Goran Đukić, dipl. ing.

Student:

Bruno Ranogajec

Zagreb, 2020. godina

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

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Goranu Đukiću na stručnoj pomoći, savjetima i strpljenju prilikom izrade ovog rada.

Također, zahvaljujem svim zaposlenicima tvrtke OMCO Croatia d.o.o. koji su omogućili izradu rada svojim podacima, a posebno zahvaljujem dr.sc. Vanji Ranogajcu na uloženom vremenu i strpljenju prilikom konzultacija vezanih uz tvrtku i podatke.

Najviše zahvaljujem svojim prijateljima i obitelji, a posebno roditeljima koji su bili neizmjerna podrška tijekom studiranja.

Bruno Ranogajec

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa: 602 - 04 / 20 - 6 / 3	
Ur. broj: 15 - 1703 - 20 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **BRUNO RANOGAJEC** Mat. br.: 0035206126

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Simulacijski model proizvodnje kalupa staklene ambalaže**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Simulaciom model of mould manufacturing for glass containers**

Opis zadatka:

U proizvodnja kalupa (alata) za proizvodnju staklene ambalaže danas je vrlo malo vrlo kvalitetnih tvrtki sa suvremenim alatnim strojevima. No sam proizvodni proces je radionički, karakteriziran stohastičkim, dinamičkim i diskretnim varijablama, i kao takav otežan za analizu analitičkim pristupom. Iz tog razloga se kao pogodan alat pojavljuju simulacije diskretnih događaja. U radu se za odabrani primjer proizvodnje jednog kalupa ilustrira primjena simulacijskog programa za modeliranje i simulaciju.

U radu je potrebno:
- opisati tvrtku za proizvodnju alata staklene ambalaže
- dati kratki pregled teorijskih osnova simulacije, s naglaskom na simulacije diskretnih događaja i simulacijske programe
- detaljno opisati proces proizvodnje odabranog kalupa
- izraditi simulacijski model procesa proizvodnje odabranog kalupa
- provesti simulacije s ciljem analize procesa, nakon verifikacije i validacije modela
- provesti "što ako" simulacije predloženih preinaka u proizvodnom sustavu i procesu, a s ciljem unapređenja procesa.

Zadatak zadan:
24. rujna 2020.

Rok predaje rada:
26. studenog 2020.

Predviđeni datum obrane:
30. studenog do 4. prosinca 2020.

Zadatak zadao:
prof. dr. sc. Goran Đukić

Predsjednica Povjerenstva:
prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA II
POPIS OZNAKA VI
SAŽETAK VII
SUMMARY VIII
1. UVOD 1
2. OMCO d.o.o. 3
2.1. Lokacija i pogon 5
2.2. Djelatnost i proizvodni pogon 7
2.3. Oprema, strojevi, alati, softveri 11
3. SIMULACIJSKO MODELIRANJE 14
3.1. Simulacija 14
3.2. Sustav, model i modeliranje 16
3.3. Vrste simulacija 19
3.4. Koraci simulacijskog istraživanja 20
3.5. Softveri za simulaciju 23
4. PROCES PROIZVODNJE ALATA ZA IZRADU STAKLENE AMBALAŽE 29
4.1. Prostorni raspored pogona 30
4.2. Opis proizvodnog procesa 31
5. SIMULACIJA PROIZVODNJE 41
5.1. Simulacijski model postojećeg stanja 41
5.2. Verifikacija i validacija modela 92
5.3. Analiza rezultata simulacije modela trenutnog proizvodnog procesa 97
5.4. Prijedlozi preinaka proizvodnog sustava u svrhu unapređenja procesa 100
5.5. „Što ako“ simulacija promijenjenog vremena generiranja proizvoda 110
6. ZAKLJUČAK 113
LITERATURA 115

POPIS SLIKA

Slika 1 Logo Tvrtke OMCO d.o.o. [3] 4
Slika 2 Primjer kalupa iz tvrtke OMCO [4] 4
Slika 3 Lokacija tvrtke OMCO d.o.o. 5
Slika 4 Lokacije tvrtki OMCO grupe [5] 5
Slika 5 Broj zaposlenih u cijeloj grupaciji [5] 6
Slika 6 Tvornica OMCO d.o.o. [5] 6
Slika 7 Kalup [6] 7
Slika 8 Dno kalupa [6] 7
Slika 9 Predkalup [6] 7
Slika 10 Dno predkalupa [6] 8
Slika 11 Grlo [6] 8
Slika 12 Prsten grla [6] 8
Slika 13 Jezgrenik [6] 8
Slika 14 Vođica jezgrenika [6] 9
Slika 15 Čahura za kalup [6] 9
Slika 16 Glava za puhanje [6] 9
Slika 17 Oduzimač boca [6] 9
Slika 18 Umetak za hlađenje jezgrenika [6] 10
Slika 19 Kalup, dno kalupa i gotov proizvod [6] 10
Slika 20 Ustroj tvrtke 11
Slika 21 CNC Toyoda [6] 11
Slika 22 CNC Mori Seiki [6] 12
Slika 23 Walter Titex svrdla za bušenje [7] 12
Slika 24 Podjela eksperimentiranja sustavom [12] 18
Slika 25 Dijagram toka izrade i proučavanja simulacije [10] 20
Slika 26 Enterprise Dynamics sučelje [14] 24
Slika 27 3D prikaz modela u Enterprise Dynamics [14] 24
Slika 28 Osnovni atomi u Enterprise Dynamics 25
Slika 29 Prozor za unos 4D Scripta 26
Slika 30 Sučelje Plant Simulation 26
Slika 31 Sučelje FlexSim [16] 27

Slika 32 Sučelje Arena Simulation [17] 27
Slika 33 Sučelje Simio [18] 28
Slika 34 Raspored grupa strojeva u pogonu 30
Slika 35 Grlo [6] 31
Slika 36 Metalizirano grlo [6] 33
Slika 37 Grlo na stroju za glodanje [6] 35
Slika 38 Grlo nakon uzdužnog glodanja POMET [6] 36
Slika 39 Grlo nakon vertikalnog glodanja POMET [6] 36
Slika 40 Izbočina na fazoni [6] 38
Slika 41 Kočnica u fazoni [6] 38
Slika 42 Utori za hlađenje [6] 39
Slika 43 Gotov prsten grla [6] 40
Slika 44 Primjer podataka o proizvodu [6] 41
Slika 45 Model proizvodnje u programu Enterprise Dynamics 43
Slika 46 Spojeni model proizvodnje u programu Enterprise Dynamics. 45
Slika 47 Postavke proizvoda 46
Slika 48 Postavke prvog reda za usmjeravanje 46
Slika 49 Tablica usmjeravanja proizvoda 47
Slika 50 Postavke strojeva 48
Slika 51 Tablica vremena proizvodnje 48
Slika 52 Postavke drugog reda za usmjeravanje 50
Slika 53 Podaci proizvoda 1 [6] 51
Slika 54 Podaci proizvoda 2 [6] 52
Slika 55 Podaci proizvoda 3 [6] 54
Slika 56 Podaci proizvoda 4 [6] 55
Slika 57 Podaci proizvoda 5 [6] 57
Slika 58 Podaci proizvoda 6 [6] 58
Slika 59 Podaci proizvoda 7 [6] 59
Slika 60 Podaci proizvoda 8 [6] 61
Slika 61 Podaci proizvoda 9 [6] 62
Slika 62 Podaci proizvoda 10 [6] 64
Slika 63 Podaci proizvoda 11 [6] 65
Slika 64 Podaci proizvoda 12 [6] 66

Slika 65 Podaci proizvoda 13 [6] 68
Slika 66 Podaci proizvoda 14 [6] 69
Slika 67 Podaci proizvoda 15 [6] 70
Slika 68 Podaci proizvoda 16 [6] 71
Slika 69 Podaci proizvoda 17 [6] 72
Slika 70 Podaci proizvoda 18 [6] 73
Slika 71 Podaci proizvoda 19 [6] 75
Slika 72 Podaci proizvoda 20 [6] 76
Slika 73 Podaci proizvoda 21 [6] 78
Slika 74 Podaci proizvoda 22 [6] 79
Slika 75 Podaci proizvoda 23 [6] 81
Slika 76 Podaci proizvoda 24 [6] 82
Slika 77 Podaci proizvoda 25 [6] 84
Slika 78 Podaci proizvoda 26 [6] 85
Slika 79 Podaci proizvoda 27 [6] 87
Slika 80 Podaci proizvoda 28 [6] 88
Slika 81 Podaci proizvoda 29 [6] 90
Slika 82 Podaci proizvoda 30 [6] 91
Slika 83 Vremena proizvodnje za validaciju 1 93
Slika 84 Vremena proizvodnje za validaciju 2 94
Slika 85 Vremena proizvodnje za validaciju 3 95
Slika 86 Vremena proizvodnje za validaciju 4 96
Slika 87 Postavke Experiment Wizarda 1 97
Slika 88 Postavke Experiment Wizarda 2 97
Slika 89 Vrijednosti čekanja trenutne proizvodnje 99
Slika 90 Izvješće iskoristivosti strojeva 100
Slika 91 Vrijednosti čekanja proizvodnje nakon prve preinake 101
Slika 92 Vrijednosti čekanja proizvoda nakon druge preinake 103
Slika 93 Vrijednosti čekanja proizvodnje nakon treće preinake 105
Slika 94 Vrijednosti čekanja proizvodnje nakon konačne preinake 107
Slika 95 Izvješće iskoristivosti strojeva nakon preinake 1 108
Slika 96 Izvješće iskoristivosti strojeva nakon preinake 2 109
Slika 97 Vrijednosti čekanja proizvodnje „što ako“ simulacije 111

Slika 98 Izvješće iskoristivosti strojeva „što ako“ simulacije 112

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
2D		dvodimenzionalno
3D		trodimenzionalno
DOMET		do (prije) metalizacije
POMET		po (poslije) metalizacije
T_1	sati [h]	izračunato vrijeme po podacima iz tvrtke
T_{pz}	sati [h]	pripremno - završno vrijeme navedeno u podacima tvrtke
n		broj komada u seriji određenog proizvoda
T_k	sati [h]	komadno vrijeme, tj. vrijeme obrade jednog komada na stroju
T_2	sati [h]	T_1 vrijeme uvećano za 10 %
T	sati [h]	vrijeme izrade jedne serije proizvoda uneseno u tablicu u simulaciji

SAŽETAK

U ovom radu je opisana primjena simulacijskog softvera za analizu i pomoć unapređenju proizvodnog procesa.

U prvom dijelu radu opisana je tvrtka OMCO Croatia d.o.o. koja se bavi proizvodnjom alata za izradu staklene ambalaže. Također su objašnjenje i teorijske osnove simulacija, s naglaskom na simulacije diskretnih događaja. Navedeni su i najčešći softverski alati koji se koriste za simulacije, a poseban naglasak je dan na softver koji je korišten za simulaciju proizvodnog procesa ove tvrtke.

U nastavku rada je detaljno opisan proces proizvodnje odabranog alata kroz detaljno opisane sve faze proizvodnje te su navedeni strojevi i operacije koje se odvijaju na konkretnim strojevima u tim fazama. Također su i opisani pojedini proizvodi, odnosno planovi proizvodnje tih proizvoda. Nakon opisa procesa predstavljen je simulacijski model, a nakon verifikacije i validacije modela, izvršena je analiza postojećeg proizvodnog sustava te su predložene preinake s ciljem unapređenja proizvodnog procesa. Na kraju se izvršila simulacija i analiza danih preporuka za poboljšanje proizvodnog sustava.

Ključne riječi: simulacija, proizvodnja, OMCO Croatia d.o.o., analiza, unapređenje procesa

SUMMARY

This thesis describes the application of simulation software for analysis and assistance in improving the production process.

The first part of the paper describes the company OMCO Croatia d.o.o. which is engaged in the production of tools for making glass packaging. There are also explanations and theoretical foundations of simulations, with an emphasis on simulations of discreet events. The most common software tools used for simulations are also listed, with special emphasis on the software used to simulate the production process of this company.

The following is a detailed description of the production process of the selected tool through a detailed description of all stages of production and lists the machines and operations that take place on specific machines in these stages. Individual products are also described, ie production plans for these products. After the description of the process, the simulation model was presented, and after the verification and validation of the model, the analysis of the existing production system was performed, and modifications were proposed in order to improve the production process. Finally, a simulation and analysis of the given recommendations for the improvement of the production system was performed.

Key words: simulation, production, OMCO Croatia d.o.o., analysis, improvement of process

1. UVOD

U znanosti i tehnici, simulacija je postupak kojim se ponašanje nekog objekta ili odvijanje neke pojave istražuje na fizičkom ili računalnome modelu. Provodi se onda kada bi rad na stvarnom objektu bio suviše zahtjevan, preskup, ili neetičan, kada stvarni sustav još ne postoji, kada je ponašanje stvarnoga sustava prebrzo (molekularne pojave) ili presporo (geološke promjene) za promatranje. Tako se već duže vrijeme, npr., svojstva zrakoplova ispituju na njegovu fizičkom modelu u aerodinamičkom tunelu, a ponašanje broda u bazenu. Danas se većina simulacija obavlja uz pomoć računala i programske podrške zasnovane na odgovarajućem matematičkom opisu pojave koja se simulira [1].

Također, simulacije se provode i u tehničkim znanostima pa tako i u strojarstvu koje samo po sebi pokriva široko područje tehničkih znanosti. Proizvodnja je jedno od područja koje promatra strojarstvo i prisutno je u ljudskoj povijesti od samih početka ljudskih razvoja, a kao takvo jedno je od najvažnijih gospodarskih grana svake ekonomije te je važno za gospodarski razvoj, ali i za razvoj i unaprjeđenje ljudskih života pa i razvijanje čovjeka kao bića. Zbog težnje da se svaki proces kojim se čovjek bavi maksimalno iskoristi i da se optimira njegovo djelovanje koriste se i računalne simulacije u proizvodnji. Simulacija proizvodnje može biti vrlo značajna za tvrtke jer može ukazati na neke nedostatke kao i na mogućnosti poboljšanja i/ili ubrzavanja procesa.

U radu je opisana tvrtka za proizvodnju alata staklene ambalaže OMCO Croatia d.o.o. iz Huma na Sutli te je detaljno opisan proces proizvodnje u navedenoj tvrtki. Također je u trećem poglavlju dan kratak pregled teorijskih osnova simulacije, s naglaskom na simulacije diskretnih događaja i simulacijske programe te je izrađen simulacijski model proizvodnje kalupa za izradu staklene ambalaže u navedenoj tvrtki. Simulacija je nakon verifikacije i validacije modela iskorištena za analizu procesa te je provedeno još nekoliko simulacija preinačenih sustava s ciljem unapređenja procesa.

Proizvodnja u tvrtki je konceptirana kao alatnica. Značajnost alatnice, odnosno takve proizvodnje je što je proizvodnja podijeljena u više grupa koje se jedna od druge razlikuju po vrsti procesa i kapacitetu. U svakoj pojedinoj grupi odvija se jedna vrsta procesa, npr. glodanje, tokarenje, zavarivanje ili sl. Proizvodi su također vrlo slični i namijenjeni su istoj svrsi, ali se razlikuju po dimenzijama ili nekim sitnim varijantama na samom proizvodu. Zbog takve

strukture proizvodnje, proizvodnja nije uvijek ista, već se razlikuje od proizvoda do proizvoda i zbog toga većina različitih proizvoda ima različite redoslijede operacija što dovodi do toga da se proizvodnja mora detaljno isplanirati. Pošto u promatranoj tvrtki imaju ustaljen način planiranja proizvodnje i rasporeda operacija, pomoću simulacije se mogu naći načini unaprjeđenja tog procesa proizvodnje te je u ovom radu izrađena simulacija proizvodnje u tu svrhu.

2. OMCO d.o.o.

Društvo OMCO Croatia d.o.o. je organizacija koja se bavi proizvodnjom alata za proizvodnju staklene ambalaže, a njezina je povijest najuže povezana s dugotrajnom tradicijom proizvodnje stakla na području općine Hum na Sutli [2].

Tvrtka je nastala i počela egzistirati kao mala radionica za popravak alata za izradu staklene ambalaže. Postepeno razvijena unutar tvornice stakla „Straža“ polako prerasta iz radionice za popravak alata u proizvođača tog istog alata. Godine 1990. dolazi do reorganizacije tvornice stakla „Straža“ i od tog trenutka tvrtka se osamostaljuje i počinje poslovati pod nazivom „Straža-Alatnica“. Odvajanjem od matične tvornice, vrlo nepovoljnih okolnosti prouzrokovane ratom i teškom gospodarskom situacijom traži nove putove i novu orijentaciju. Jedina mogućnost bila je izvoz i proboj na europsko tržište. Takav način poslovanja i prisutnost na tržištu Europe dovodi do strateškog povezivanja s najvećim europskim proizvođačem alata za izradu staklene ambalaže [2].

Od 1. siječnja 1997. godine „Straža-Alatnica“ posluje u sustavu OMCO grupe iz Belgije. U trenutku ulaska u grupu OMCO, društvo OMCO Croatia bilo je najmanje i po svim ekonomskim pokazateljima najslabija članica grupe OMCO. Nakon manje od godinu dana, Uprava grupacije donosi odluku o investiranju i ulaganju u suvremenu opremu i povećanje proizvodnje po stopi od 20 posto godišnje. Takva stopa rasta i ubrzan razvoj prelaze i okvire same OMCO grupe, pa se nekadašnja malena radionica za izradu i popravak alata od najmanjeg i najslabijeg člana OMCO grupe u 10 godina razvija u najvećeg i najvažnijeg člana OMCO grupe, koji proizvodi 50% ukupne proizvodnje cijele grupe OMCO. Od ulaska u OMCO grupu pa do danas, proizvodnja tvrtke porasla je 10 puta, a broj zaposlenika gotovo 6 puta. Gospodarski rast proizvodnje društva OMCO Croatia d.o.o. odražava se i na rast same grupacije OMCO koja od vodećeg europskog proizvođača izrasta u vodećeg svjetskog proizvođača alata u staklarskoj industriji s preko 20% svjetskog tržišnog udjela. Pojedinačno kao tvornica, OMCO Croatia je danas najveća tvornica takvog tipa proizvodnje na svijetu [2].

Danas je OMCO renomirani proizvođač alata prepoznatljiv na svjetskoj razini. Svoje proizvode izvozi u zemlje cijeloga svijeta, od Sjeverne Amerike do Novog Zelanda, s udjelom izvoza od preko 98%. Tvrtka zadnjih godina bilježi značajni rast u svim segmentima, a samo se u nešto više od 2 godine povećala za 150 novih radnih mjesta. Trenutno zapošljava preko 730 ljudi. Takav snažan rast temelji se na velikim investicijama, kako u nove proizvodne kapacitete tako i u sofisticirana tehnološka rješenja. Investicije u tom smislu omogućuju daljnji napredak te

osiguravaju stabilnost budućim generacijama. OMCO Croatia jedna je od najopremljenijih tvrtki za strojnu obradu metala u okruženju, s najmodernijom tehnologijom i strojnom opremom, te je kao takva predstavlja centar izvrsnosti i hram školovanja mladih ljudi koji čine većinu zaposlenika tvrtke [2]. Na slici 1 prikazan je logo tvrtke.

Slika 1 Logo Tvrtke OMCO d.o.o. [3]

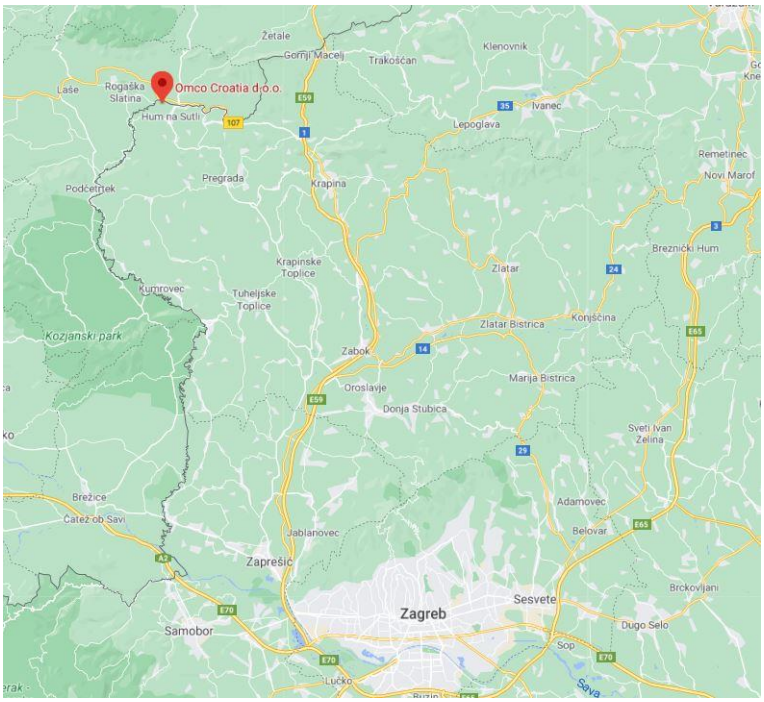
Kao primjer proizvoda koje je poduzeće OMCO Croatia d.o.o proizvelo mogu se navesti kalupi za proizvodnju boca Ožujskog piva, Tuborga, Coca – Cole (slika 2), Bavarie, Pago sokova, Jamnice, Jack Danielsa, Martinia, sve boce poduzeća Badel iz Zagreba te mnogi drugi.



Slika 2 Primjer kalupa iz tvrtke OMCO [4]

2.1. Lokacija i pogon

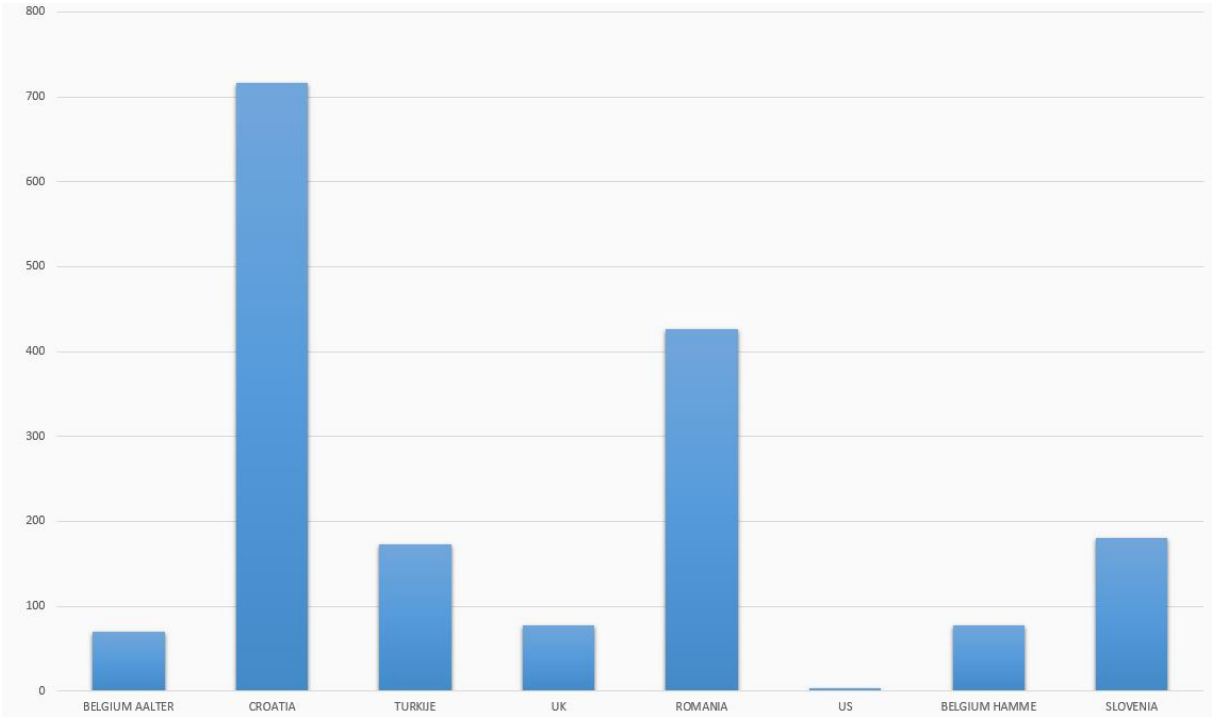
Tvrtka se nalazi u općini Hum na Sutli na sjeverozapadu Republike Hrvatske na samoj granici sa Slovenijom (slika 3), dok su lokacije ostalih tvrtki grupacije širom svijeta prikazane na slici 4.



Slika 3 Lokacija tvrtke OMCO d.o.o.



Slika 4 Lokacije tvrtki OMCO grupe [5]



Slika 5 Broj zaposlenih u cijeloj grupaciji [5]

Na slici 5 vidljiv je broj zaposlenih u pojedinim tvrtkama grupacije te se vidi da je najviše zaposlenih upravo u tvrtki OMCO Croatia.

Proizvodnja i pogon podijeljeni su na dvije cjeline, na proizvodnju kalupa i na proizvodnju grla i prstena. Također, te proizvodnje su i fizički odvojene u pogonima te se tako proizvodnja grla i prstena nalazi u novijoj hali, dok se proizvodnja kalupa nalazi u starim halama koje su i nedavno obnovljene.



Slika 6 Tvornica OMCO d.o.o. [5]

Na slici 6 se nalazi tvornica OMCO Croatia. U prvom planu je nova upravna zgrada s uredima za konstrukciju i tehnološku pripremu i planiranje proizvodnje grla i prstena, dok je u pozadini s desne strane nova hala u kojoj se nalazi proizvodni pogon grla i prstena. S lijeve strane u pozadini su hale u kojima se nalaze proizvodnje kalupa te također uredi za konstrukciju i tehnološku pripremu i planiranje proizvodnje kalupa.

2.2. Djelatnost i proizvodni pogon

Tvrtka se bavi proizvodnjom kalupa za izradu staklene ambalaže koja se koristi za piće, hranu, medicinu i kozmetiku. Iako se priča o kalupima, kalup je samo dio alata za izradu staklene ambalaže koji oblikuje veći dio boce. Kompletan alat potreban za izradu staklene ambalaže nalazi se po pozicijama naveden na ilustriranim slikama 7 do 18:

1. Kalup



Slika 7 Kalup [6]

2. Dno kalupa



Slika 8 Dno kalupa [6]

3. Predkalup



Slika 9 Predkalup [6]

4. Dno predkalupa



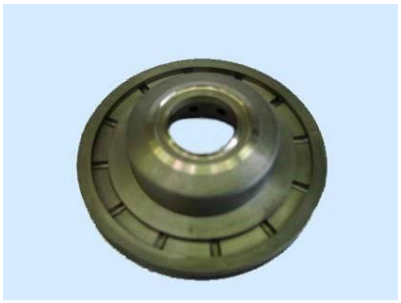
Slika 10 Dno predkalupa [6]

5. Grlo



Slika 11 Grlo [6]

6. Prsten grla



Slika 12 Prsten grla [6]

7. Jezgrenik



Slika 13 Jezgrenik [6]

8. Vođica jezgrenika



Slika 14 Vođica jezgrenika [6]

9. Čahura za kalup



Slika 15 Čahura za kalup [6]

10. Glava za puhanje



Slika 16 Glava za puhanje [6]

11. Oduzimač boca



Slika 17 Oduzimač boca [6]

12. Umetak za hlađenje jezgrenika

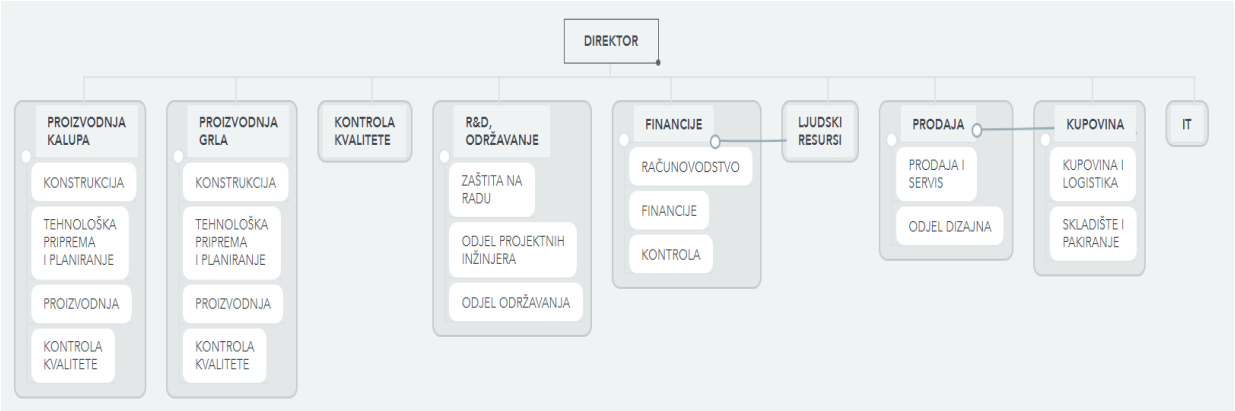


Slika 18 Umetak za hlađenje jezgrenika [6]



Slika 19 Kalup, dno kalupa i gotov proizvod [6]

Na slici 17 vidljiv je kalup, dno kalupa i gotov proizvod. Na slici se ne vidi grlo i prsten grla koji služe za izradu navoja boce, odnosno samog vrha boce. Grlo i prsten grla su dijelovi alata koji se najviše troše pa je zbog toga i potreba za njima najveća, a zbog tih razloga je i sama tvornica podijeljena na dva dijela, odnosno proizvodnju kalupa gdje se proizvode svi dijelovi osim grla i prstena grla te na proizvodnju grla i prstena. Te dvije proizvodnje su podijeljene i fizički i ljudskim kadrom, a što je i vidljivo na slici 20 gdje je prikazan ustroj tvrtke.



Slika 20 Ustroj tvrtke

2.3. Oprema, strojevi, alati, softveri

2.3.1. Strojevi

U tvrtki se mogu naći strojevi raznih proizvođača, a najzastupljeniji su Toyoda (slika 19), Mori Seiki (slika 20), Okuma, Daewoo, Haas, Puma, Nakamura, Stama, Unisign.



Slika 21 CNC Toyoda [6]



Slika 22 CNC Mori Seiki [6]

2.3.2. Alati

Alati koji se koriste kod obrade imaju visoku izdržljivost i čvrstoću zbog toga što se kalupi, odnosno proizvodi metaliziraju na nekom dijelu, točnije na dijelu koji je u kontaktu sa staklom prilikom izrade staklene ambalaže. Zbog toga alati moraju biti čvrsti i izdržljivi jer prilikom obrade npr. tokarenja u jednom prolazu obrađuju i metalizirani dio i osnovni materijal koji je obično od sivog lijeva ili aluminijske bronce kod grla. U tvrtki koriste alate najpoznatijih proizvođača, a neki od njih su: Iscar, Sandvik, Seco, Walter Titex (ilustracija na slici 23) i Vardex.



Slika 23 Walter Titex svrdla za bušenje [7]

2.3.3. Softveri

Tvrtka OMCO Croatia d.o.o. se nalazi na samom vrhu što se tiče modernizacije softvera i informatičkih rješenja te redovno ulaže sredstva u najnovija izdanja softvera. Za konstrukciju i dizajn koriste se programi AutoCad, Catia, ProE, za proizvodnju podržanu računalom koriste se razne verzije MasterCAM programa za simulaciju obrade i generiranje NC koda, dok se kod planiranja i vođenja proizvodnje koriste programi SAP i Andromeda koji je izrađen posebno za tvrtku OMCO i njihove potrebe.

3. SIMULACIJSKO MODELIRANJE

Kao što je već rečeno u uvodu, s ciljem boljeg razumijevanja pojmova i metodologije izrade simulacijskog projekta napravljenog u zadnjem dijelu rada, u ovom poglavlju se daju osnove simulacijskog modeliranja.

3.1. Simulacija

Simulacija predstavlja oponašanja stvarnog procesa ili sustava u zavisnosti o vremenu. Omogućuje stvaranje umjetne povijesti promatranog sustava te proučavanje, promatranje i donošenje zaključaka na temelju umjetnih povijesnih podataka koji oponašaju procese stvarnog sustava [8].

Ponašanje sustava koje se mijenja u vremenu izučava se razvojem simulacijskog modela. Ovaj model obično ima oblik skupa pretpostavki vezanih uz rad sustava. Te pretpostavke se izražavaju matematičkim, logičkim i simboličkim odnosima između entiteta ili objekata od interesa tog sustava [8].

Jednom razvijen i validiran, model se može koristiti za ispitivanje širokog raspona "što ako" pitanja o stvarnom sustavu. Najprije se mogu simulirati potencijalne promjene u sustavu kako bi se predvidio njihov utjecaj na performanse sustava. Simulacija se također može koristiti za proučavanje sustava u fazi projektiranja, prije nego što se takvi sustavi grade. Dakle, simulacijsko modeliranje može se koristiti kao alat za analizu za predviđanje učinaka promjena postojećih sustava i kao alat za predviđanje izvedbe novih sustava u različitim skupovima okolnosti [8].

Pojam modeliranje i simuliranje označava sklop aktivnosti pridruženih konstruiranju modela realnog sustava i njegove simulacije na računalu. Napose, modeliranje se odnosi prije svega na odnose između realnog sustava i modela, a simulacija označava ponajprije relacije između računala i modela [9].

Pogodne svrhe korištenja simulacija [8]:

- simulacija omogućava proučavanje i eksperimentiranje unutarnjih interakcija unutar kompleksnog sustava ili podsustava s kompleksnim sustavom
- omogućava simuliranje informacijskih i organizacijskih promjena te promjene okoline uz promatranje utjecaja tih promjena na ponašanje modela

- znanje stečeno postavljanjem simulacijskog modela može biti od velike važnosti prilikom prijedloga unaprjeđenja promatranog sustava
- izmjena ulaznih varijabli i promatranje izlaznih varijabli simulacije pruža vrijedne informacije o važnosti pojedinih varijabli i njihovim međusobnim interakcijama
- korištenje simulacije u svrhu podupiranja metodologija analitičkih rješenja
- eksperimentiranje s novim dizajnima i procedurama prije njihove implementacije te pripremanje na ono što bi se moglo dogoditi
- verifikacija analitičkih rješenja
- simuliranje mogućnosti strojeva za određivanje zahtjeva na njih
- simuliranje modela namijenjenih za trening i učenje radi uklanjanja troškova zastoja zbog učenja na stvarnom radnom mjestu
- animirana vizualizacija simuliranog izvođenja operacija sustava
- prikaz modernih sustava (tvornica, pogoni procesne industrije, uslužne organizacije, itd.) koji uz pomoć simulacije zorno prikazuju kompleksne unutarnje interakcije

Prednosti izvođenja simulacije [10]:

1. Novi načini, operativne procedure, pravila odlučivanja, informacijski tokovi i organizacijske procedure mogu biti istražene bez remećenja operacija u tijeku u stvarnom sustavu.
2. Novi dizajn opreme, fizički raspored, transportni sustavi i slično mogu biti testirani bez izdvajanja novčanih sredstava za njihovo nabavljanje.
3. Testiranje izvodljivosti hipoteza o određenim fenomenima.
4. Manipuliranje vremenskim okvirima, tj. ubrzavanje i usporavanje vremena izvođenja promatranih fenomena.
5. Uvid u interakcije između varijabli.
6. Uvid u važnost varijabli performansi sustava.
7. Analiza uskog grla i otkrivanje gdje dolazi do zastoja materijala u radu, informacija i materijala.
8. Studija simulacije pomaže u razumijevanju funkcioniranja sustava, a ne kako pojedinci misle da sustav funkcionira

9. Razrada „što ako“ scenarija što je posebice važno prilikom dizajniranja novog sustava.

Nedostaci simulacije [10]:

1. Postavljanje modela iziskuje iskustvo te prikaz nekog sustava napravljen od strane dvije osobe nikad neće biti identičan.
2. Rezultati simulacije mogu biti teži za interpretiranje, što proizlazi iz toga da su izlazni podaci simulacije najčešće slučajne varijable i ponekad promatranje rezultata može biti otežano jer se ne zna jesu li oni rezultat međuovisnosti sustava ili slučajnosti.
3. Simulacija, modeliranje i analiza mogu biti dugotrajni i skupi. Štednja na resursima potrebnim za simulaciju nekog sustava može uzrokovati nedostatnu adekvatnost simulacije za neki zadatak.
4. Korištenje simulacije za sustave u kojima se do rješenja može doći analitičkim metodama.

3.2. Sustav, model i modeliranje

Sustav je svaki uređeni skup koji se sastoji od najmanje dva elementa koji međusobnim djelovanjem (interakcijom) ostvaruju neku, jednostavnu ili složenu, funkciju cjeline. Brojevi elemenata koji tvore sustav nije ograničen, ali to mora biti konačan broj [11].

Sustav je uređena cjelina (skup) međusobno povezanih elemenata. Sustav je skup zasebnih jedinica (entiteta, objekata, komponenti, elemenata) (i njihovih veza) koje uzajamno rade i djeluju radi postizanja željenog logičnog završetka (tj. cilja) [12].

Primjer sustava je i proizvodni sustav proizvodnje alata staklene ambalaže, odnosno proizvodnja tvrtke OMCO, gdje strojevi, sirovine, poluproizvodi i radnici djeluju u međusobnoj interakciji u svrhu proizvodnje.

3.2.1. Komponente sustava

U svrhu razumijevanja i analize sustava potrebno je definirati osnovne pojmove i komponente sustava [11]:

- entitet - objekt interesa sustava
- atribut - označava svojstvo entiteta.
- aktivnost - vremenski period određene duljine

- stanje sustava – varijable potrebne za opisati sustav u vremenu i povezane su s ciljevima proučavanja nekog sustava
- događaj – trenutna pojava koja utječe na stanje sustava

3.2.2. Podjela sustava

Prema promjeni stanja sustava, sustave je moguće kategorizirati kao diskretne i kontinuirane
U praksi je samo nekolicina sustava u potpunosti diskretna ili kontinuirana, ali budući da jedna vrsta promjene stanja prevladava u svakom sustavu, moguće ih je kategorizirati kao diskretni ili kontinuirani [11].
Diskretni sustavi su sustavi kod kojih se varijable stanja mijenjaju samo u diskretnim vremenskim trenutcima [12].
Primjeri diskretnih sustava su [12]:

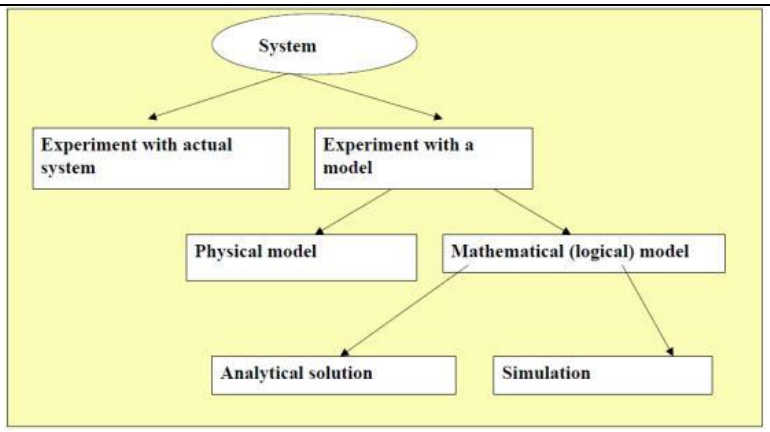
- Banka jer se varijabla stanja broj korisnika mijenja samo u diskretnim trenutcima dolaska i odlaska korisnika.
- Šalter na aerodromu za registraciju putnika.
- Dolazak automobila na tehnički pregled.

Kontinuirani sustavi su sustavi kod kojih se varijable stanja mijenjaju kontinuirano u vremenu [12].
Primjeri kontinuiranih sustava su [12]:

- Kompozicija u metrou.
- Automobil u vožnji.
- Avion u letu.

3.2.3. Načini proučavanja sustava (analize sustava)

Sustavi se proučavaju s ciljem dobivanja podataka kao osnovu za menadžersko ili tehničko odlučivanje i s ciljem eksperimentiranja i evaluacije [12].
Eksperiment se može provoditi sa stvarnim sustavom ili s modelom stvarnog sustava, dok se model stvarnog sustava dijeli na fizički model sustava i matematički model sustava. Matematički model sustava se rješava analitičkim rješenjem modela sustava ili numeričkom simulacijom sustava računalom [12]. Ta podjela je prikazana shemom na slici 24.



Slika 24 Podjela eksperimentiranja sustavom [12]

3.2.4. Model i modeliranje

Model predstavlja reprezentaciju sustava u svrhu proučavanja tog sustava. Iako se nekad proučavanje sustava može izvršavati na samom sustavu u velikom broju slučajeva to je nemoguće. Razlog tome su ili potrebna novčana ulaganja u sustav ili je sustav još u idejnoj fazi, tj. u fazi planiranja i izrade ili izgradnje. Upravo zbog toga pribjegava se proučavanju sustava uz pomoć modela [11].

Prema definiciji model je simulacija sustava, tj. predstavlja apstrakciju realnog sustava [11].

Model je pojednostavljenje sustava, ali sadrži one komponente koje su identificirane kao relevantne za problem koji se proučava. Modeli se koriste da se dobije uvid u performanse sustava ili predvidi buduće ponašanje sustava [12].

Modeliranje predstavlja proces izgradnje predstavke sustava, odnosno modela, a modelira se iz razloga što sustav fizički ne postoji, izgradnja sustava je (pre)skupa i/ili mjerenje na stvarnom sustavu je vremenski prezahtjevno ili nemoguće, preskupo, prerizično,… [12].

Modeli se dijele na dvije vrste, a to su fizički model i matematički model. Fizički model je manja ili veća fizička kopija sustava, a matematički modeli predstavljaju sustav u smislu logičkih i kvantitativnih odnosa [12].

Načini rješavanja modela su analitičko rješenje ili rješavanje računalnom simulacijom. Analitičko rješenje zahtijeva da se matematički može opisati relevantni dio sustava i to analitičko rješenje mora postojati. Računalna simulacija zahtijeva da se ponašanje pojedinih dijelova sustava i njihovi odnosi mogu logično opisati [12].

Tipovi modela se mogu podijeliti u tri kategorije. Prva je kategorija jesu li oni deterministički ili stohastički, gdje su deterministički modeli oni čije je ponašanje potpuno predvidivo, tj. u kojima je novo stanje sustava koji je modeliran u potpunosti određeno prethodnim stanjem, a

stohastički modeli su oni modeli čije se ponašanje ne može unaprijed predvidjeti, ali se mogu odrediti vjerojatnosti promjene stanja. Stohastičke modele karakterizira slučajno ponašanje, odnosno postojanje slučajne varijable u sustavu. Druga kategorija je jesu li statički ili dinamički, gdje statički označavaju one modeli kod kojih nema promjena stanja u vremenu, a dinamički modeli su modeli kod kojih se promjene varijabli stanja događaju u vremenu. Treća kategorija je jesu li modeli kontinuirani ili diskretni. U kontinuiranim modelima varijable stanja mijenjaju se kontinuirano u vremenu, a u diskretnim modelima stanje sustava se mijenja samo u nekim vremenskim točkama. Mogući su i miješani kontinuirano-diskretni modeli (hibridni modeli) koji sadrže i kontinuirane i diskretne varijable [12].

U ovom radu, gdje se promatra simulacija proizvodnje alata, ta simulacija je bazirana na simulaciji sustava koja je temeljena na diskretnim događajima.

3.2.5. Slučajevi korištenja i nekorištenja simulacije

Mnogi stvarni sustavi su previše složeni (tj. prekomplicirani) da bi se njihovi modeli mogli riješiti analitički. Analitička rješenja su prekompleksna, zahtijevaju mnogo računalnog resursa [12].

Simulacijsko modeliranje je pogodna metoda za modeliranje i analizu sustava kada postoje složene strukture i način rada sustava, dinamika i nestacionarnost sustava i kada postoje slučajne varijable [12].

Simulacija se ne koristi kada se problem može riješiti jednostavnim računom, problem se može riješiti analitički, lakše je izvesti izravne pokuse, trošak izrade simulacijskog eksperimenta je veći od uštede koja bi se ostvarila spoznajom, ako nema odgovarajućih resursa ili vremena, ako nema odgovarajućih podataka ili ako je sustav previše složen za modeliranje (npr. ljudsko ponašanje) [12].

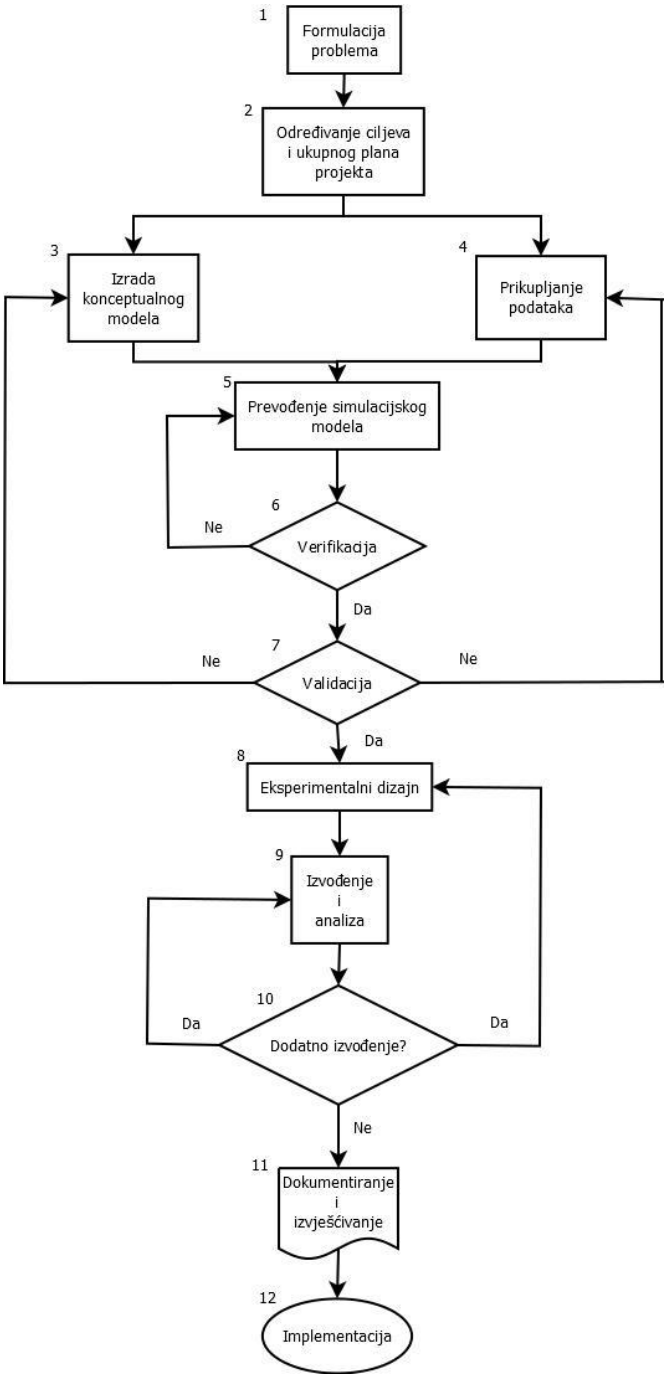
3.3. Vrste simulacija

Podjele modela dovele su do formiranja četiri osnovna tipa simulacija, a to su Monte Carlo simulacija, kontinuirana simulacija, simulacija diskretnih događaja i miješana kontinuirano-diskretna simulacija (hibridna simulacija) [12].

Monte Carlo simulacija je statistička simulacija, koristi se za statičke tipove simulacija kod kojih se u rješavanju problema koristi stvaranje uzoraka iz razdioba slučajnih varijabli (temelji se na uzastopnom uzorkovanju slučajnih brojeva). Problemi koje rješava mogu biti deterministčkog i stohastičkog karaktera [12].

Kontinuirana simulacija je dinamička simulacija kod koje se promjene varijabli stanja događaju kontinuirano u vremenu (npr. pražnjenje tankera), a simulacija diskretnih događaja je dinamička simulacija kod koje se promjene varijabli stanja događaju u diskretnim vremenskim trenucima (npr. dolasci gostiju u restoran) [12].

3.4. Koraci simulacijskog istraživanja



Slika 25 Dijagram toka izrade i proučavanja simulacije [10]

Na slici 25 prikazan je dijagram toka izrade i proučavanja simulacije. Koraci su objašnjeni u idućim podnaslovima.

3.4.1. Formulacija problema

Svaka istraživanje treba početi s definiranjem problema. Ovisno o tome tko definira problem, on treba biti jasno opisan i razumljiv. Ako problem definira analitičar, u tom slučaju se donosioci odluka trebaju složiti s formulacijom problema [8].

3.4.2. Određivanje ciljeva i ukupnog plana projekta

Ciljeve predstavljaju pitanja na koja simulacija treba dati odgovor i u ovom stadiju već treba biti jasno da je simulacija ispravna metodologija za rješavanje formuliranog problema. Pod planiranjem se smatra planiranje potrebnih ljudi, troškova i broja potrebnih dana za izvođenje istraživanja s pretpostavkama očekivanih rezultata [8].

3.4.3. Izrada konceptualnog modela

U ovome koraku definiraju se smjernice za izgradnju uspješnog i prikladnog modela. Bit izrade konceptualnog modela je u apstrakciji biti i osnovnih značajki problema. Teži se izgradnji što jednostavnijeg modela koji će davati točne i korisne podatke. Kompleksnost modela ne bi smjela biti veća od one koja je dovoljna za dobivanje relevantnih podataka [8].

3.4.4. Prikupljanje podataka

Prikupljanje podataka je faza koja iziskuje veliku količinu vremena i često se isprepleće s izradom modela. Kakvi će se podaci prikupljati nalaže faza određivanja ciljeva i ukupnog plana projekta [8].

3.4.5. Prevođenje simulacijskog modela

Pod pojmom prevođenje simulacijskog modela smatra se unošenje podataka i provođenje izračuna u računalu prepoznatljivom formatu. U ovom stadiju odlučuje se koji će se softver koristiti i na koji način [8].

3.4.6. Verifikacija

Verifikacija je proces provjere kojim se osigurava da je model izrađen ispravno, tj. postavlja pitanje ako je matematički model ispravno implementiran u simulacijskom softveru i u njemu se vodi briga o ispravnosti ulaznih parametara i logičke strukture modela [8].

3.4.7. Validacija

Validacija je proces ocjenjivanja točnosti modela u odnosu na stvarni sustav koji opisuje. Validacija se ostvaruje kalibracijom modela usporedbom ponašanja modela sa stvarnim ponašanjem sustava te se ponavlja tako dugo dok se ne postigne točnost modela koja je prihvatljiva za donošenje zaključaka iz simulacijskog modela [8].

3.4.8. Eksperimentalni dizajn

U ovoj fazi određuju se moguće alternative simulacije. Ova faza je često u zavisnosti s već izvedenom varijantom simulacije i rezultatima analize izvođenja. Ovdje se određuje vrijeme inicijalizacije simulacije, vrijeme izvođenja i broj ponavljanja izvođenja [8].

3.4.9. Izvođenje i analiza

Izvođenjem simulacije i njezinom analizom procjenjuju se i definiraju mjere performansi dizajna sustava koji se simulira [8].

3.4.10. Potreba za dodatnim izvođenjem

U ovom koraku postavlja se pitanje koje na temelju analize u prošlom koraku određuje moraju li se izvršiti još neka dodatna izvođenja i eventualni eksperimenti [8].

3.4.11. Dokumentiranje i izvješćivanje

Postoje dva tipa dokumentiranja. Prvo je dokumentiranje programa koje omogućuje ponovnu upotrebu ne nužno od strane osobe koja je prva izvodila i postavila simulaciju, a ujedno i omogućuje promjenu parametara na način da je moguće prepoznati ulazne parametre koji utječu na optimizaciju izlaznih performansi sustava. Drugi tip je izvješćivanje. Izvješća pružaju povijesni uvid u projekt simulacije i na taj način mogu se otkloniti i određene nejasnoće i problemi u ranoj fazi izvođenja istraživanja simulacije [8].

3.4.12. Implementacija

Korak implementacije uvelike ovisi uspješnosti izvođenja prethodnih 11 koraka. Ako je sve izvedeno na temeljit način, i komunikacija između osoba koje će koristiti model i onih koji ga izrađuju, velika je vjerojatnost da će se simulacijski model primjenjivati u realnom sustavu o kojem se radilo u simulacijskom modelu [8].

3.5. Softveri za simulaciju

Na tržištu trenutno postoji mnogo programskih rješenja za izradu simulacijskih modela od raznih proizvođača. Princip svih softvera je jednak ili sličan, a odabir programa ovisi o dostupnosti i cijeni ili o preferencijama korisnika softvera. U nastavku su opisani neki postojeći softveri za izradu simulacija.

3.5.1. Enterprise Dynamics

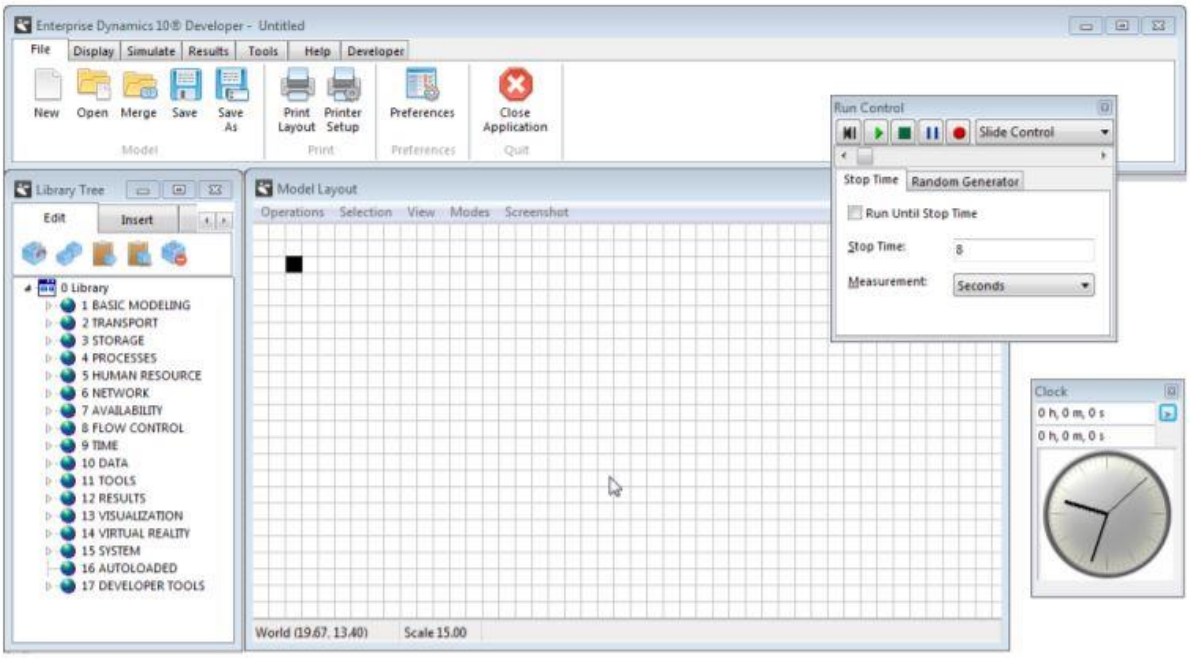
Enterprise Dynamics je softverska platforma za izradu i implementaciju simulacijskih rješenja. Omogućuje rješavanje kompleksnih zadataka postavljenih na ljude, procese, tehnologiju i infrastrukturu primjenjujući objektno orijentiranu simulacijsku platformu [13].

Mogućnosti softvera [13]:

- simulacije velikih sustava
- jednostavna „drag&drop“ izgradnja modela
- predefinirana pravila i funkcionalnosti atoma
- izrada vlastitih atoma i pravila
- 2D i 3D vizualizacija modela
- modul za izvještavanje rezultata i izlaznih podataka
- izvođenje eksperimentalnih simulacija uz jasno definirana pravila.

Značajke i mogućnosti u softveru Enterprise Dynamics [13]:

- modeliranje procesa u svrhu analize, optimizacije, dokumentiranja ili komunikacije s korisnikom
- simulacija budućih izvedbi scenarija npr. proizvodnog procesa, analiza veza između pojedinih entiteta, identifikacija potencijalnih uskih grla
- vizualizacija operacija – 2D graf ili 3D animacija
- analiza – postojećeg stanja sustava, projektiranje novog proizvodnog sustava



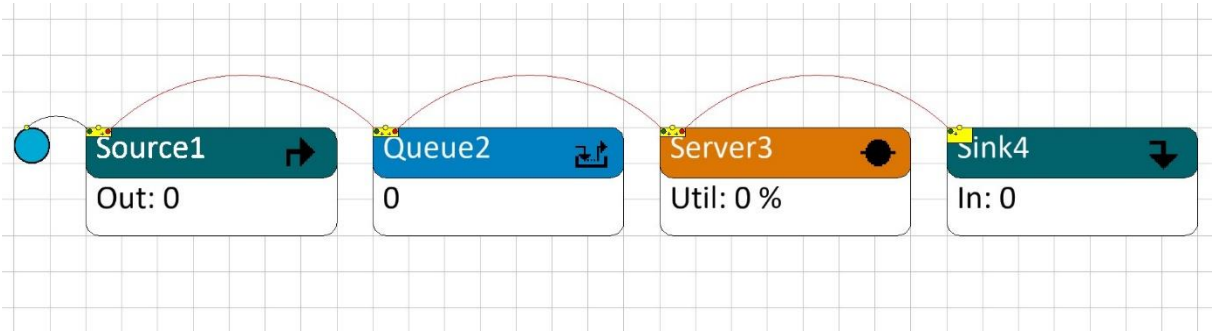
Slika 26 Enterprise Dynamics sučelje [14]

Na slici 26 prikazano je sučelje programa Enterprise Dynamics. Vidljivo je da se sučelje sastoji od četiri prozora. Prvi prozor na vrhu je klasičan prozor svih programa pomoću kojeg se upravlja datotekama, sprema ih, mijenjaju načini programa i slično. Također u tom prozoru se postavljaju postavke za izvještaje i analize. U prozoru s lijeve strane je „Library Tree“ u kojem se nalaze svi atomi koji se mogu ubaciti u model. U prozoru „Model Layout“ se postavljaju atomi, odnosno u tom prozoru se gradi simulacijski model. S desne strane u prozoru „Run Control“ se nalaze postavke za brzinu izvođenja simulacije, za puštanje, pauziranje, stopiranje i snimanje simulacije kao i postavke za zaustavljanje simulacije automatski nakon nekog vremena. U posljednjem prozoru „Clock“ se nalazi sat koji prikazuje proteklo vrijeme simulacije.



Slika 27 3D prikaz modela u Enterprise Dynamics [14]

Na slici 27 je prikazan prozor u programu Enterprise Dyanmics koji prikazuje 3D model simulacije. Također je moguće pratiti i 3D animaciju izvođenja simulacije. Atomima se može mijenjati 3D izgled, ali i 2D izgled.



Slika 28 Osnovni atomi u Enterprise Dynamics

Na slici 28 su prikazani osnovni atomi koji se koriste u programu Enterprise Dynamics. Svaki atom na sebi ima ulazne i izlazne kanale pomoću kojih se spaja sa ostalim atomima. Atomi predstavljaju neke elemente stvarnih fizičkih sustava koji se modelira, ali mogu predstavljati i elemente koji fizički nisu u stvarnom sustavu, ali njihovom implementacijom se olakšava proces simulacije. Svaki od osnovnih atoma ima svoju funkciju, a te funkcije su opisane u nastavku.

Plavom točkom na slici 28 je označen „Product“ koji služi za modeliranje protoka proizvoda, materijala, robe, dokumenata, osoba ili nekih drugih dobara. Preko atoma „Source“ atom „Product“ ulazi u model, odnosno atom „Source“ generira „Product“ u određenim vremenskim intervalima. Atom „Queue“ služi kao mjesto gdje atomi čekaju ako je idući atom u nizu zauzet. Atom „Server“ predstavlja određenu operaciju, odnosno mjesto na kojem se nešto u stvarnom fizičkom sustavu izvršava i za što je potrebno neko određeno vrijeme. Npr. taj atom može predstavljati neki stroj, ili uslužni pult ili nešto na čemu se izvršava neka operacija ili usluga. Atom „Sink“ služi za izlaz proizvoda iz simulacije. Atomi se u „Model Layout“ prozor unose povlačenjem iz „Library Tree“ prozora, a međusobno se spajaju na način da se spaja izlazni kanal jednog atoma sa ulaznim kanalom drugog atoma na koji idu proizvodi s prethodnog atoma. Ti spojevi su prikazani na slici 28 crvenim lukovima između atoma. Kod atoma je moguće definirati i posebne funkcionalnosti i/ili ponašanja atoma, a to se radi pomoću specifičnog programskog jezika naziva „4D Script“ koji se upisuje u prozor za uređivanje 4D Scripta posebno za svaki atom, a prikazan je na slici 29.



Slika 29 Prozor za unos 4D Scripta

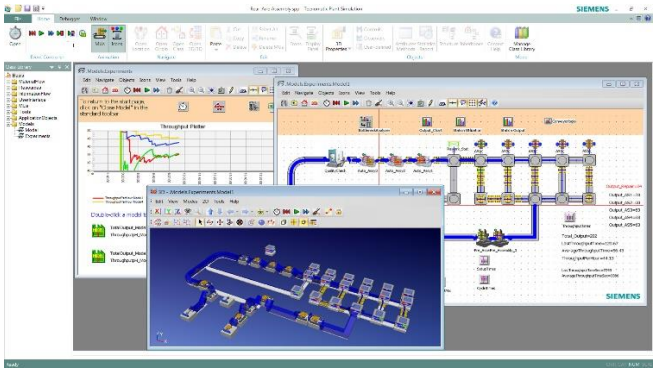
3.5.2. Siemens: Tecnomatix Plant Simulation

Tecnomatix Plant Simulation softver omogućuje simulaciju, vizualizaciju, analizu te optimizaciju proizvodnih sustava i logističkih procesa. Koristeći Plant Simulation moguće je optimizirati tokove materijala, upotrebu resursa i logističkih aktivnosti za sve razine planiranja postrojenja, od globalnih postrojenja, do lokalnih tvornica ili specifičnih proizvodnih linija [15].

Koristeći Plant Simulation moguće je [15]:

- otkriti i eliminirati probleme u proizvodnji bez skupih i vremenski ekstenzivnih zahvata koji inače zahtijevaju zaustavljanje proizvodnje
- minimizacija investicijskih troškova
- optimizacija performansi i potrošnje energije prije same implementacije novog proizvodnog sustava

Posebnost Plant Simulationa je mogućnost praćenja energetskih performansi sustava i izračun te optimizacija potrošnje energije. Također, integrirane neuronske mreže mogu optimizirati sustav korištenjem genetskih algoritama [15].



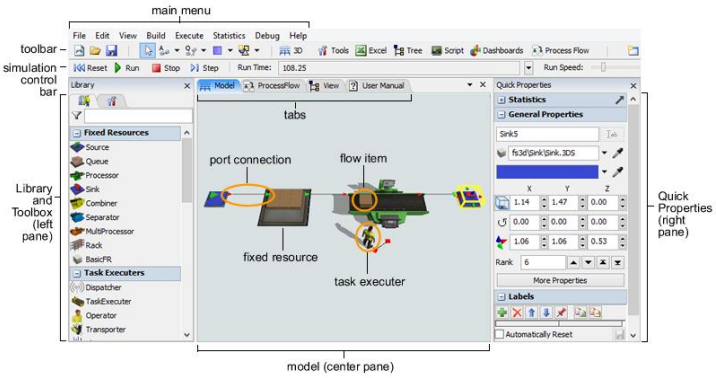
Slika 30 Sučelje Plant Simulation

Zahvaljujući otvorenoj arhitekturi sustava omogućena je integracija više sustava u jedan (ActiveX, CAD, Oracle SQL, ODBC, XML) što pojednostavljuje upravljanje cijelim sustavom zbog razmjene znanja cijele organizacije [15].

3.5.3. FlexSim

FlexSim je simulacijski softver za simulaciju diskretnih događaja koji isto služi za planiranje i organizaciju proizvodnje i uslužnih procesa. Omogućuje prikaz 3D simulacijskih modela koristeći OpenGL okruženje. Za razliku od ostalih simulacijskih softvera, FlexSim ne koristi vlastiti programski jezik, već se za programiranje posebnih funkcionalnosti koristi C++ programski jezik [16].

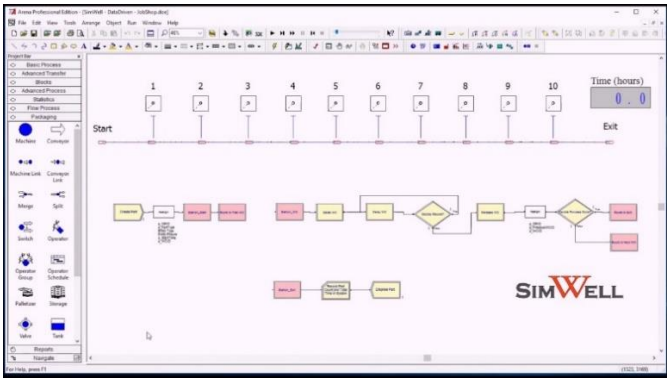
Na slici 31 prikazano je sučelje programa FlexSim.



Slika 31 Sučelje FlexSim [16]

3.5.4. Arena Simulation

Arena je simulacijski softver za simulaciju diskretnih događaja i u vlasništvu je kompanije „Rockwell Automation“. Kao programski jezik koristi se SIMAN simulacijski jezik [17]. Na slici 32 prikazano je sučelje programa Arena Simulation.



Slika 32 Sučelje Arena Simulation [17]

3.5.5. Simio

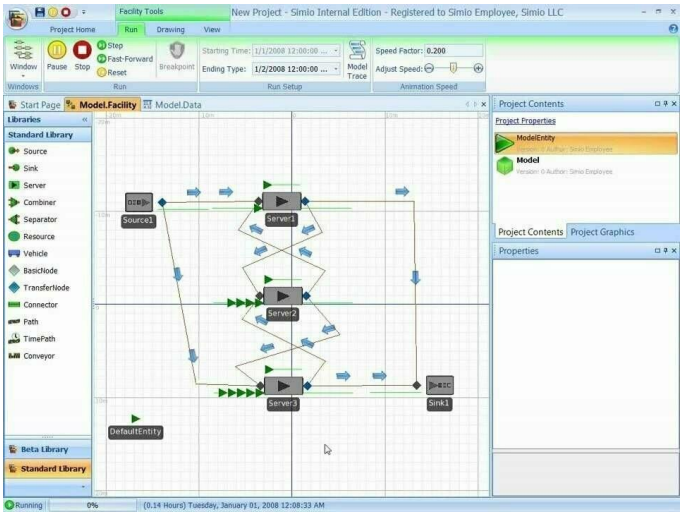
Simio je alat za simulacijsko modeliranje koji objedinjava jednostavnost objekata s fleksibilnošću opisivanja procesa kako bi pružio mogućnosti brzog modeliranja bez potrebe za programiranjem [18].

Na slici 35 prikazano je sučelje programa Simio.

Temeljni dizajn softvera temelji se na objektnom modeliranju, međutim, u potpunosti podržava opisivanje diskretnih i kontinuiranih sustava. Moguće je u istom modelu kombinirati kontinuirane i diskretne značajke sustava [18].

Modeliranje u sustavu može se temeljiti na već izgrađenim modelima koji su pohranjeni u memoriji softvera, međutim, njegova jednostavnost omogućuje mu jednostavnu izgradnju inteligentnih objekata za izgradnju željenih modela [18].

Prednost Simio modela je u tome što model izgleda kao stvarni sustav jer se logika modela i animacija izrađuju u istom koraku, tako da objekt može biti animiran na način da opisuje stvarnu promjenu stanja koja se odvija na tom objektu [18].



Slika 33 Sučelje Simio [18]

4. PROCES PROIZVODNJE ALATA ZA IZRADU STAKLENE AMBALAŽE

Kao što je navedeno u drugom poglavlju asortiman alata za izradu staklene ambalaže je vrlo širok i sastoji se od mnogo dijelova. Također dijelovi ovise i o postupku izrade staklene ambalaže, a koji su opisani u nastavku.

Postupak „usisano-puhano“ je omogućen od 1903.g kada je izumljen prvi automatski stroj za puhanje stakla. Stroj je radio postupkom „usisano-puhano“, što znači da se staklena masa usisavala u metalni kalup, a potom automatski rezala. Danas se umjesto ovog postupka koriste postupci „prešano-puhano“ i „prešano-puhano usko grlo“ [19].

Postupak „prešano-puhano“ je jedan od najčešće korištenih u proizvodnji šupljeg stakla. U postupku „prešano-puhano“, staklena kap upada u pretkalup na čijoj se donjoj strani nalazi jezgrenik. Pretkalup se potom zatvara te se jezgrenik pomiče prema gore i na taj način oblikuje predoblik i grlo. Jezgrenik se vraća na svoje mjesto, a predoblik prebacuje u kalup. Za razliku od postupka „puhano-puhano“, ovdje se grlo oblikuje na kraju [19].

Kod postupka „prešano-puhano usko grlo“ se još u pretkalupu u tekuću staklenu masu utiskuje jezgrenik i staklenka tako dobiva ravnomjernu i tanju stijenku. Tehnološki prijelaz s tradicionalnog postupka na „prešano-puhano usko grlo“ omogućio je proizvodnju staklenki tanjih stijenki, odnosno lakog stakla. Prednost ovog postupka je i brže hlađenje predoblika tijekom prešanja pa je u kraćem vremenu moguće proizvesti više komada [19].

Postupak „puhano-puhano“ je tehnika za proizvodnju šupljeg stakla izumljena 1925. godine, a koristi se još i danas. Na ulazu u staklarski stroj oblikuje se duguljasta staklena kap koja se putem žljebova ubacuje u pretkalup. Ondje se pomoću komprimiranog zraka izrađuje predoblik i oblikuje grlo, dok se završni oblik boce dobiva u kalupu [19].

U nastavku poglavlja detaljno je opisan proces proizvodnje jednog dijela alata za izradu staklene ambalaže. Tvrtka je podijeljena na dva dijela, odnosno na dio koji se bavi izradom kalupa, tj. dijela alata koji oblikuje veći dio boce i na dio koji se bavi izradom grla i prstena grla koji služe za izradu samog vrha boce, odnosno grla (vrha) boce na kojem se nalazi navoj ako ga boca ima. U nastavku je opisan proizvodni proces i pogon proizvodnje grla, odnosno alata koji služi za izradu vrha boce.

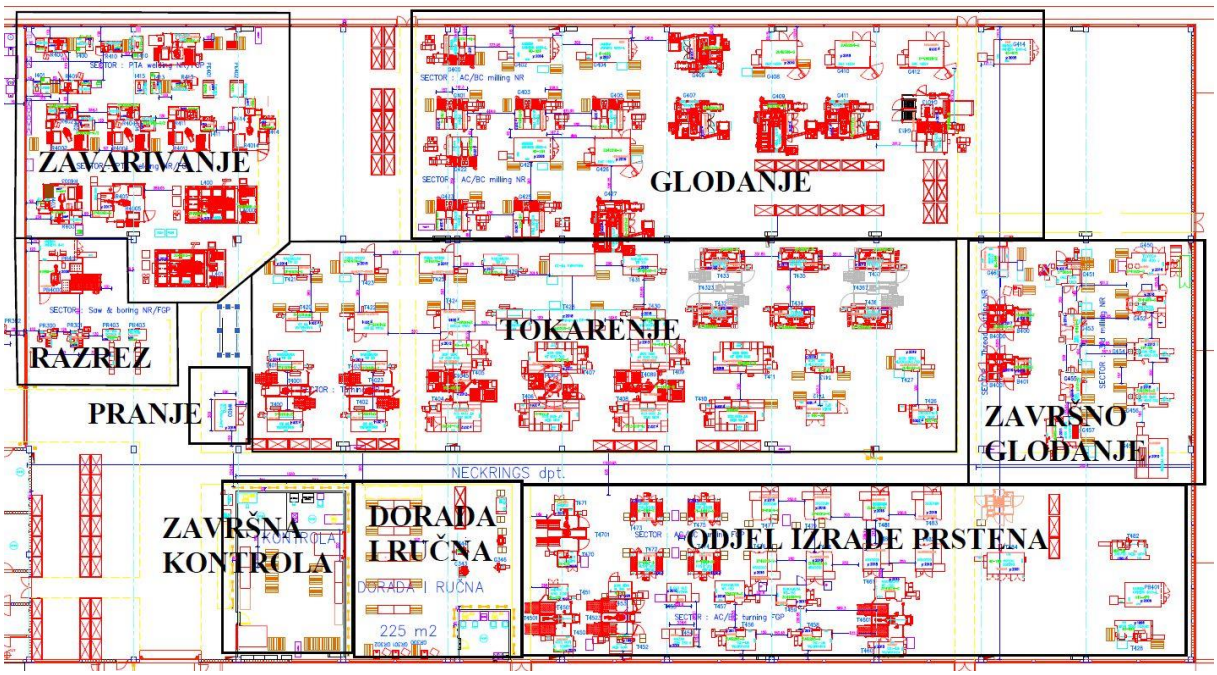
4.1. Prostorni raspored pogona

U tvrtki je izrađen 2D CAD model prostornog rasporeda pogona u kojem su prikazani svi strojevi i njihove pozicije, a slika prostornog rasporeda je na slici 34 u nastavku.

Pogon je razmješten kao alatnica, odnosno u grupe strojeva po operacijama koje se obavljaju na tim strojevima. Pogon je izgrađen nedavno te je moderan, ali i projektiran i planiran unaprijed za obim proizvodnje. U početku je bio ispunjen strojevima do 75 % kapaciteta, no daljnjim konstantnim širenjem polako doseže maksimalne kapacitete.

Pogon se sastoji od idućih odjela:

- Pranje i ispuhivanje
- Razrez materijala
- Zavarivanje
- Glodanje
- Tokarenje
- Završno glodanje
- Dorada i ručna obrada
- Završna kontrola
- Odjel izrade prstena grla.



Slika 34 Raspored grupa strojeva u pogonu

Na slici 33 vidljiv je razmještaj u pogonu tvrtke OMCO Croatia, a na slici je vidljiv raspored strojeva u grupe ovisno o operaciji koja se obavlja na stroju. Dio skladišta se nalazi lijevo od odijela razreza i zavarivanja, dok se dio skladišta nalazi izvan pogona. Izlazno skladište je ispod završne kontrole. Razmještaj strojeva je takav da otprilike prati tijek operacija proizvodnje. Tok materijala nije uvijek isti za svaki proizvod, a ovisi o tome od kakve vrste sirovca se izrađuje proizvod. Proizvodi otprilike prate redoslijed da idu prvo na razrez materijala, pa na glodanje, zatim na zavarivanje pa se vraćaju na glodanje te nakon toga idu na tokarenje nakon kojeg po potrebi slijedi završno glodanje. Na kraju dolaze dorada i ručna obrada te završna kontrola. Detaljniji opis proizvodnog procesa dan je u sljedećem podnaslovu.

Odjel izrade prstena je zaseban odjel i proizvodnja nije povezana sa proizvodnjom grla, no nalaze se u istom pogonu jer je prsten dio alata koji se umeće u grlo te zbog toga isporuka prema kupcima ide u paketu grlo-prsten ili kupci čak zahtijevaju da se dostavi na način da su prsteni već umetnuti u grlo.

4.2. Opis proizvodnog procesa

Za simulaciju je potrebno imati detaljne podatke o proizvodnji, a u ovoj tvrtki se obraća pažnja na planiranje proizvodnje te tako nije teško pridobiti točne podatke o proizvodima koji se proizvode, njihovim vremenima obrade kao i vremenima čekanja i priprema strojeva. Sve je detaljno isplanirano te zbog toga nije potrebno trošiti vrijeme i resurse na dobivanje podataka i snimanja trenutne situacije. U ovom podnaslovu opisan je proizvodni proces proizvoda grlo po fazama, odnosno u idućim podnaslovima opisane su faze i kada koji proizvod dolazi na njih i što se radi na pojedinoj fazi.

Proces proizvodnje najviše ovisi o tome kakav je početni materijal, odnosno sirovac. Sirovac može biti odljevak, a može biti i poluvaljak u šipkama. Na slici 35 prikazano je grlo.



Slika 35 Grlo [6]

Na slici 35 se vidi da je grlo izrađeno od dva dijela. Unutar grla se umeće prsten pa je zbog toga, a i zbog samog načina funkcioniranja strojeva za izradu staklene ambalaže, oblik grla konstruiran na način da se sastoji od dva dijela. Dijelovi su podijeljeni na mušku i žensku polovicu i iako su simetrično jednaki, razlikuju se po šlicu pomoću kojeg se spajaju. Na muškim polovicama je taj šlic izbočen, dok je na ženskima urezan. Šlic može biti izrađen na više dijelova, može biti jednostruki, može biti dupli jednostruki na način da je ili jednostruki na obje polovce ili jednostruki na obje strane na muškoj polovici, a može biti i dupli (dvostruki) šlic. Sa unutarnje strane polovica na vrhu se nalazi tzv. fazona koja se u većini slučajeva metalizira jer je to dio alata koji je u doticaju sa staklom prilikom izrade staklene ambalaže. Kroz grlo postoje razne rupe, glodani dijelovi i sl. koji ovisno o dizajnu služe za hlađenje alata ili za postizanje vakuuma prilikom izrade staklene ambalaže. Dimenzije grla su različite, ovisno o tome koja staklena ambalaža se proizvodi, pa prema ukupnom promjeru grla postoje u rasponu od pedesetak milimetara do stopedeset milimetri.

4.2.1. Pranje i ispuhivanje

Svako grlo nakon svoje proizvodnje dolazi na fazu pranja i ispuhivanja. Pranje je strojno i nakon svakog pranja ručno se ispuhuju grla od ostataka odvojene čestice ili prašine i nečistoća koje ostaju nakon obrade. Vrijeme provedeno na ovoj fazi nije bitno za proizvodnju pa se niti ne računaju vremena provedena na ovoj fazi u ukupno vrijeme potrebno za proizvodnju, a ni kod planiranja se ne planira koji proizvod ide na ovu fazu tako da je i ova faza u kasnijoj simulaciji proizvodnje zanemarena.

4.2.2. Razrez materijala

Razrez materijala je faza koja je prva u redoslijedu proizvodnje za dio proizvoda. Na ovu fazu dolaze samo proizvodi koji se izrađuju od poluvaljka. Poluvaljci su obično nabavljani u dimenzijama promjera višekratnika broja pet. Najčešće se od poluvaljka rade proizvodi dimenzija najvećeg promjera do stotinjak milimetara. Na ovoj fazi se dugačka šipka, odnosno poluvaljak reže na dimenzije malo veće od visine grla zbog dodataka za obradu. Proces se odvija na način da radnik na pilu stavi šipku i namješta visinu rezanja grla ,a pila zatim automatski reže i pomiče šipku na pili. Nakon postupka rezanja na ovoj fazi se još odrađuje i bušenje za prihvat. Bušenje za prihvat je bušenje provrta s donje strane grla za prihvat na strojeve za obradu glodanjem i tokarenjem. Na ovoj fazi se reže i materijal za izradu prstena grla koji se izrađuju od punih šipki pošto su prsteni izrađeni iz jednog cilindričnog komada. Na

ovoj fazi se nalazi pet pila i jedna bušilica za bušenje prihvata. Na ovoj fazi se puno više radi prstena grla jer svi prsteni izrađeni od sivog lijeva, kojih je većina, se izrađuju od šipki te ih je uvijek potrebno rezati. Što se tiče grla, manji postotak grla dolazi na ovu fazu jer se većina grla izrađuje od odljevaka.

U ovoj su pile internog naziva:

- PR300
- PR301
- PR302
- PR402
- PR403,

dok bušilica ima interni naziv PB400.

4.2.3. Zavarivanje

Zavarivanje je faza na koju dolaze skoro svi proizvodi na metalizaciju, odnosno navarivanje dijela grla ili prstena grla. Na fazi su strojevi podijeljeni na strojeve koji se koriste za metalizaciju grla i strojeve koji se koriste za metalizaciju prstena. Svi strojevi imaju robotskog poslužitelja, no operater je potreban za dostavu paleta i za namještanje samog procesa zavarivanja. Zavarivanje se odvija na dijelu grla koji se naziva fazona, a to je dio koji je u doticaju sa staklom prilikom izrade staklene ambalaže. Taj dio mora biti tvrđi od ostalih dijelova grla zbog samog doticaja sa staklom, a i zbog toga što je u doticaju sa puno većim temperaturama od ostalih dijelova grla. Osim cijele fazone metalizirati se mogu i samo rubovi fazone na dvodijelnosti i/ili vrhu grla. Zavarivanje se odvija nakon prve operacije glodanja, odnosno interno nazvanog glodanja DOMET, što bi značilo glodanje do (ili prije) metalizacije. Glodanje DOMET je opisano pod podnaslovom 4.2.4., a suštini služi za pripremu za metalizaciju.



Slika 36 Metalizirano grlo [6]

Na slici 36 je vidljivo metalizirano grlo, odnosno metalizirana fazona. Osnovni materijal grla je aluminijska bronca, a metalizacija je od legura baziranih na niklu.

Također na zavarivanju se osim robotski zavaruje i laserski, a ručno zavarivanje se koristi kod nekih fazona koje su van dimenzija robota, odnosno kada robot ne može metalizirati cijelu fazonu ili kada je potrebno dodatno metalizirati rubove ili neke kosine na grlu. Ručno zavarivanje se odvija u kooperaciji, tj. ne odvija se u pogonu tvrtke. Lasersko zavarivanje se odvija na dva stroja internog naziva L400 i L401, a na njima se metaliziraju samo grla.

U fazi zavarivanja grla nalaze se strojevi:

- R400
- R401
- R402
- R403
- R404
- R405
- R411
- R414,

a strojevi za metalizaciju prstena su:

- R410
- R412
- R413
- PE401
- PE402.

4.2.4. Glodanje

Na fazi glodanja se odvijaju dvije operacije, tj. već spomenuta operacija glodanje DOMET i glodanje POMET. Operacije se razlikuju po tome što se DOMET odvija prije metalizacije, dok se POMET odvija nakon metalizacije. Na fazi se ukupno nalaze 22 stroja i svi imaju 8 gnijezda, odnosno 8 pozicija na paleti za prihvat komada, točnije četiri s gornje strane palete, a četiri s donje strane palete. Od tih strojeva dva stroja imaju 4 vretena za obradu, a 11 strojeva ima 2 vretena za obradu.

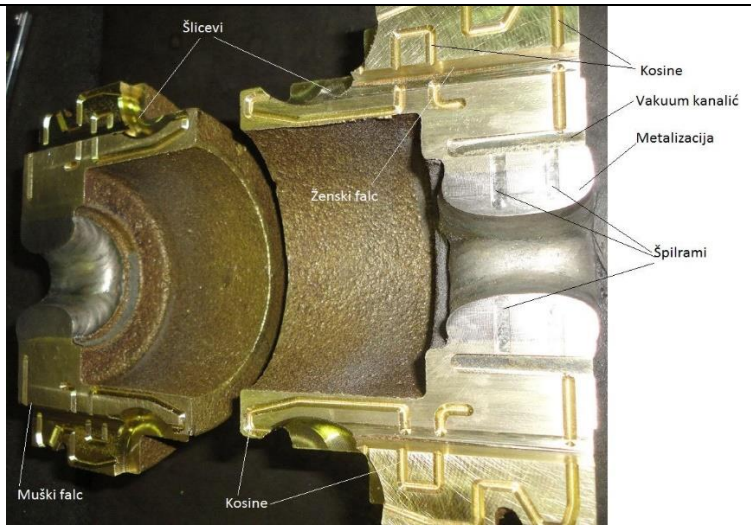


Slika 37 Grlo na stroju za glodanje [6]

Na slici 37 je vidljivo jedno grlo na stroju za glodanje, točnije prije operacije DOMET. Na operacijama glodanja u jednom stezanju se na većini strojeva obrađuje četiri grla, dok se na manjem broju strojeva obrađuju prilikom jednog stezanja 8 komada ili 2 komada.

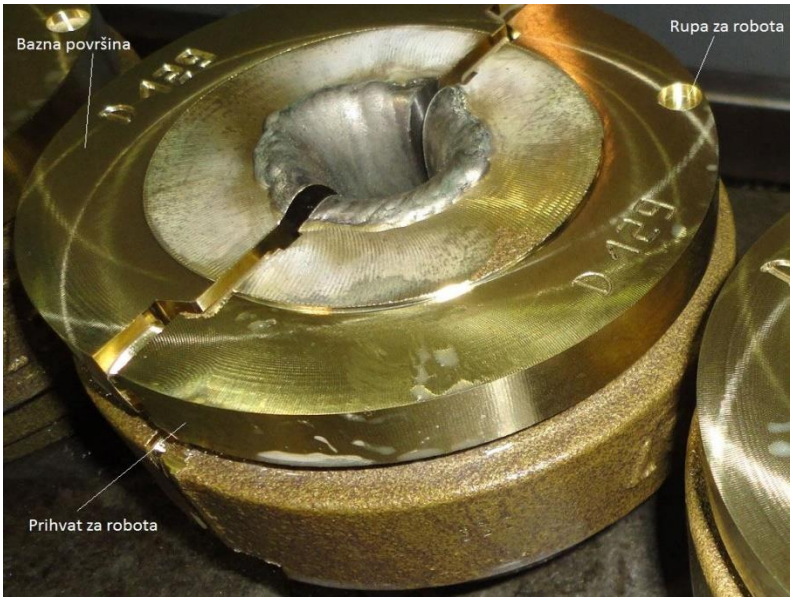
Operacija glodanja DOMET se sastoji od uzdužnog glodanja i vertikalnog glodanja, a dolazi na red nakon razreza ako se proizvod radi od poluvaljka ili je prva u redu ako se proizvod radi iz odljevka. Na toj operaciji se kao što je već navedeno obavlja priprema za metalizaciju. Grla se glodaju čeono, odnosno poravnava se gornja površina grla i po dvodijelnosti. Na operaciji glodanja DOMET također se i gloda provrt na koji se navaruje fazona. Na slici 37 se vidi da je provrt već izrađen na odljevku, ali kako je svaka fazona drugačijih dimenzija i oblika i ovisno o laserskom, robotskom ili ručnom zavarivanju radi se priprema, tj. proširivanje tog provrta za navarivanje dodatnog materijala. Operacija glodanje DOMET se radi samo na proizvodima koji idu na metalizaciju, dok manji postotak grla ne ide na metalizaciju te kod tih proizvoda nije potrebna operacija glodanja DOMET pa nakon operacije glodanje DOMET uvijek slijedi operacija zavarivanja, tj. metalizacije.

Operacija glodanje POMET se odvija nakon operacija zavarivanja ili ako nema zavarivanja onda je prva u redu nakon operacije razreza. Operacija se sastoji od uzdužnog glodanja i vertikalnog glodanja. Pri operaciji glodanja POMET glodaju se šlicevi te kosine za tokarenje na dvodijelnosti, a također se na dvodijelnosti mogu glodati neke rupe, vakuumski kanalići, kanalići za hlađenje grla i sl., a ovisno o konstrukciji samog grla. Tijek operacije je da se prvo uzdužno gloda metalizacija na dvodijelnosti, a zatim slijede operacije glodanja šliceva, finog uzdužnog glodanja, glodanja vakuum kanalića, glodanje špilrama (za odzračivanje), skidanje oštrih bridova (glodanje kosina) te fino glodanje muškog i ženskog šlica.



Slika 38 Grlo nakon uzdužnog glodanja POMET [6]

Na slici 38 je prikazano grlo nakon operacija uzdužnog glodanja na fazi glodanje POMET, dok se još na fazi glodanje POMET odvija i glodanje u vertikalnom položaju gdje se na fino gloda prihvat za robota (za tokarenje), bazna površina i rupa za robota, a prikazano je na slici 39.



Slika 39 Grlo nakon vertikalnog glodanja POMET [6]

Na fazi glodanja rade se samo grla, a na 22 strojeva internog naziva od G400 do G427 (bez G414 do G419) odvijaju se operacije glodanja DOMET i glodanja POMET na svim strojevima, odnosno nisu određeni neki strojevi za DOMET, a neki za POMET. Strojevi su raznih proizvođača, od UNISIGN, HAAS-PUMA do najčešćih STAMA.

4.2.5. Tokarenje

Tokarenje je faza koja je najsloženija kod proizvodnje grla i operaciju tokarenja prolazi svako grlo. Na tokarenju je ovisno o stroju na kojem se izrađuje moguće izraditi cjelokupno grlo bez potrebe za dodatnim završnim glodanjem. Sve operacije tokarenja se odvijaju na način da se odvija istovremeno tokarenje stražnje strane na lijevom vretenu i tokarenje prednje strane na desnom vretenu. Na tokarenju na lijevom vretenu, odnosno tokarenju stražnje strane rade se tokarenja grubog i finog vanjskog i unutarnjeg tokarenja, dok se na desnom vretenu, tj. tokarenju prednje strane odvijaju grubo i fino vanjsko tokarenje, grubo i fino tokarenje fazone, graviranje, glodanje navoja te ako je mogućnost stroja dodatne glodaće operacije koje bi se inače radile na završnom tokarenju. Na tokarenju postoje tri grube strojeva, ovisno o mogućnostima stroja, a to su: obične tokarilice, WTW tokarilice i NT tokarilice.

Obične tokarilice imaju 2 vretena (lijevo i desno) te dva alata, svaki za obradu jedne strane. Vrste strojeva u ovoj skupini su PUMA TT-1800 (4 stroja), Nakamura TW20 (10 strojeva) i Nakamura T30 (2 stroja). Interni nazivi strojeva su T400, T401, T402, T403 te T420 do T431.

WTW tokarilice su najnaprednije tokarilice u pogonu i one imaju 2 vretena te 4 alata, odnosno po dva alata za svako vreteno. U pogonu postoji 6 takvih strojeva marke Nakamura-Tome WTW 150, a interni nazivi su od T432 do T437.

NT tokarilice su također napredne i omogućuju peto-osnu obradu. Imaju 2 vretena i dva alata, po jedan za svako vreteno. Postoji 8 strojeva u toj grupi i to 4 Mori Seiki NT4250 internih naziva T406, T407, T410 i T411 i 4 Mori Seiki NT3200 stroja internih naziva T404, T405, T408 i T409.

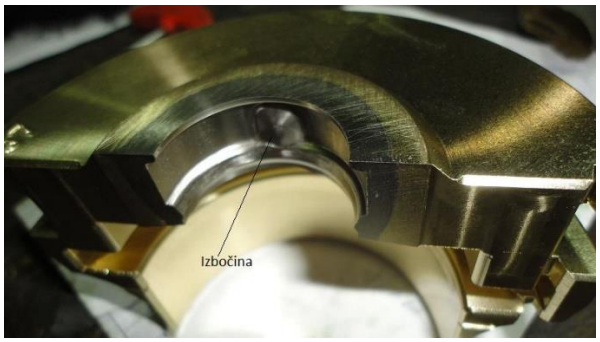
Operacija tokarenja je najzahtjevnija, zahtijeva najiskusnije operatere i tehnologe te također postoji puno prostora za optimizaciju. Operacija zahtijeva najviše vremena u proizvodnji, odnosno grlo provede najviše vremena na tokarenju te obično samo tokarenje nosi većinu vremena proizvodnje grla. Proizvodi koji se rade na WTW i NT strojevima obično ne zahtijevaju dodatno završno glodanje nego su odmah spremni za ručnu obradu i završnu kontrolu. Problem je što tih strojeva ima premalo da bi se svi proizvodi mogli proizvoditi na njima bez potrebe za završnim glodanjem.

4.2.6. Završno glodanje

Završno glodanje je faza na kojem se rade najzahtjevnije operacije te zbog toga sadrži najnaprednije 5-osne i 4-osne strojeve. U fazi završnog glodanja se obično rade operacije:

- kopirno glodanje
- bušenje rupa
- graviranje
- bočno glodanje
- vertikalno glodanje utora za hlađenje
- ovalno glodanje
- glodanje raznih utora.

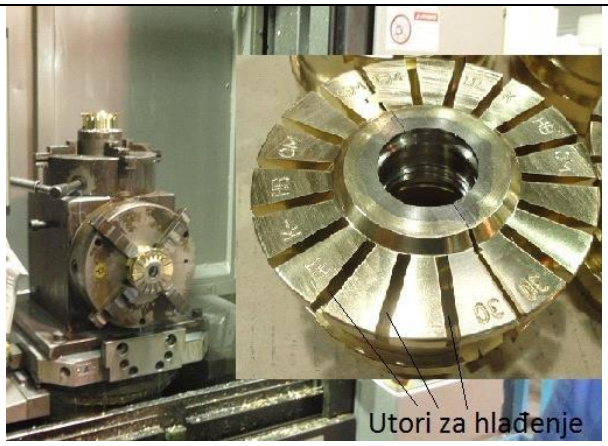
Na slikama 40 do 42 prikazani su neki postupci koji se rade na završnom glodanju. Završno glodanje je isto kao i tokarenje vrlo dugotrajan postupak te zahtijeva puno vremena za proizvodnju, no kako se većina proizvoda ipak može odraditi na tokarenju, na završno glodanje dolaze proizvodi koji se nikako drugačije ne mogu izraditi i proizvodi na kojima je na tokarenju zbog greške operatera zaboravljena neka operacija ili kako bi se rasteretila operacija tokarenja.



Slika 40 Izbočina na fazoni [6]



Slika 41 Kočnica u fazoni [6]



Slika 42 Utori za hlađenje [6]

Od strojeva, na završnom glodanju se nalaze dvije bušilice internih naziva B400 i B401 i deset glodalica internih naziva od G450 do G460 (G459 nije uključen) od kojih su neke 4-osne, a neke 5-osne. Proizvođači strojeva su razni, od Mori Seiki, Mazak, Haas i slično.

4.2.7. Dorada i ručna obrada

Dorada i ručna obrada je faza gdje se odvijaju ručne operacije skidanja srha, dorade navoja, raznih poliranja i slično. Također u ovoj fazi postoje neke manje bušilice i graveri koji služe za proizvode koji nisu gravirani na tokarenju ili na završnom glodanju, odnosno na njima se rade gravure koje nisu zahtjevne ili se ne nalaze na teško dostupnom mjestu i slično. Na ručnoj obradi postoji deset radnih mjesta na kojima rade iskusni radnici. Strojevi koji se nalaze u ovoj fazi, a bitni su za promatranje proizvodnje su graveri. Postoje tri gravera internih naziva G300, G301 i G302. Na doradi i ručnoj obradi se obrađuju i grla i prsteni, ali prsteni imaju puno manji zahtjev za doradom i ručnom obradom ili graviranjem jer se većina odradi na strojevima, a i nemaju navoja ili nekih drugih kompliciranih dijelova za izradu.

4.2.8. Završna kontrola

U fazu završne kontrole dolaze svi proizvodi proizvedeni u pogonu. Način kontrole i pregleda proizvoda najčešće ovisi o kupcu pošto su kupci ustaljeni te svaki kupac ima svoje zahtjeve na proizvod. Završna kontrola je podložna menadžmentu kontrole te se ne razmatra u svojstvu proizvodnje proizvoda.

4.2.9. Odjel izrade prstena

Odjel izrade prstena je zaseban odjel u pogonu iako u ustrojstvu tvrtke spada pod proizvodnju grla. Kao što je već navedeno, prsten je sastavni dio grla jer se umeće u grlo, a izrađuje se od okruglih, punih šipki. Proizvodnja prstena se odvija na način da se nakon razreza materijala radi tokarenje DOMET, odnosno priprema za metalizaciju gdje se tokari dio fazone. Prsten zatim ide na zavarivanje, a nakon toga slijedi tokarenje POMET, odnosno tokarenje nakon metalizacije gdje se dobiva konačan oblik prstena i gotov proizvod. U rijetkim slučajevima prsteni idu i na završno glodanje kada je potrebna neka gravura ili kada na prstenu postoje rupe pod kutom. Na slici 43 je prikazan izrađen prsten.



Slika 43 Gotov prsten grla [6]

5. SIMULACIJA PROIZVODNJE

U ovom poglavlju opisan je simulacijski model proizvodnje grla koji je izrađen s ciljem analize procesa te su nakon verifikacije i validacije modela, odnosno provjere modela, provedene „što ako“ simulacije predloženih preinaka s ciljem unapređenja procesa.

5.1. Simulacijski model postojećeg stanja

Simulacijski model je izrađen u programu Enterprise Dynamics i za izradu su korišteni osnovni atomi opisani u poglavlju 3.5.1., a u ovom podnaslovu opisano je kako je stvaran sustav proizvodnje preslikan u simulacijski model. Čitateljima koji nisu upoznati s korištenim softverom određeni opisi možda neće biti u potpunosti razumljivi, isto zahtijeva znanja o softveru koja studenti stječu na predavanju iz kolegija Simulacije proizvodnih i logističkih sustava. Iz odjela planiranja proizvodnje tvrtke dobiveni su podaci o obrađivanim proizvodima za nekoliko nasumično odabranih dana. Iz podataka je na samom početku vidljivo da svaki dan obrađuju 30 proizvoda pa je za izradu simulacije odabran jedan od tih dana te su iskorišteni podaci o proizvodima za izradu simulacije. Na slici 44 prikazan je primjer podataka o jednom proizvodu.

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	109	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	109	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	109	0	0		0	
4	30105 | Razrez materijala	109	0,1	0,01		109	
5	30205 | Bušenje za prihvat	109	0,1	0,03		109	
6	40805 | Glodanje grla do met.	109	1,5	0,08		109	
7	41105 | Metalizacija grla na robotu	109	0,25	0,19		109	
8	41405 | Glodanje grla po met. SL	109	0	0,07		109	
9	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	109	3,5	0,2		108	+ utori str strana + utori na prizmi
10	43905 | Glodanje poprečnih zazora	109	0,25	0,06		106	
11	45405 | Skidanje srha	109	0	0,02		107	
12	47405 | Dorada navoja	109	0	0,018		107	
13	48705 | Graviranje oznaka	109	0,2	0,015		0	
			5,91	0,693			

Slika 44 Primjer podataka o proizvodu [6]

Na slici je vidljiva tablica u kojoj su podaci o proizvodnji jednog od proizvoda. U prvom stupcu je redoslijed operacije, dok je u drugom stupcu ime operacije. U trećem stupcu se nalazi količina proizvoda koji se rade u seriji, dok su u četvrtom i petom stupcu pripremno-završno vrijeme i vrijeme obrade jednog komada u satima. U zadnjem stupcu su dodatni opisi koji pomažu operaterima i planerima, odnosno u taj stupac se daju dodatna objašnjenja operacija ili se navode posebnosti operacije.

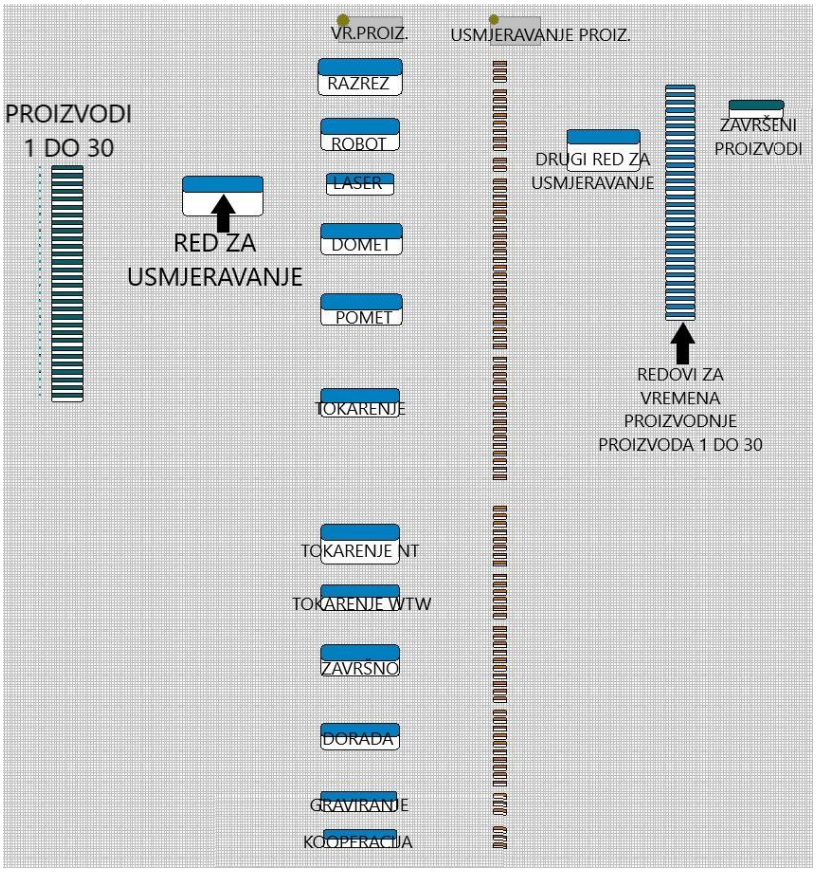
U simulaciji svaki od 30 proizvoda predstavlja jedan „Product“ atom koji je spojen na atom „Source“. Na atomu „Source“ postavljeni su vrijeme dolaska svakog proizvoda u simulaciju i

vrijeme dolaska idućeg takvog proizvoda u simulaciju. Iako svaka serija proizvoda ima neku određenu količinu, zbog pojednostavljenja simulacije, ali i zbog toga što u tvrtki sve proizvode obrađuju i isporučuju u serijama jedan „Product“ predstavlja jednu seriju proizvoda, a ne jedan komad iz te serije. Također, svaki proizvod prilikom kreacije, odnosno izlaskom sa atoma „Source“ kreira na sebi dvije varijable – korak i proizvod. Varijabla proizvod zadana je brojevima 1 do 30 ovisno o kojem proizvodu je riječ, a varijabla korak se svim proizvodima na početku zadaje vrijednost 1. Nadalje, simulacija je zamišljena da svi proizvodi, odnosno serije nakon kreiranja na atomu „Source“ idu na atom usmjeravanja, odnosno red „Queue“. Taj atom iz tablice usmjeravanja čita korake proizvodnje za svaki proizvod. Koraci proizvodnje određeni su po fazama, odnosno po redoslijedu proizvodnje dobivenih iz podataka tvrtke. Da bi se mogli odrediti koraci prvo je potrebno definirati faze, odnosno grupe strojeva u simulaciji. Grupe strojeva se kreiraju ovisno o stvarnom sustavu proizvodnje, odnosno po fazama proizvodnje navedenima u poglavlju 4.2.1 do 4.2.7. Grupe strojeva su prilagođene i operacijama koje su navedene u podacima o proizvodu pa su za simulaciju izabrane sljedeće grupe strojeva:

1. Razrez materijala + bušenje za prihvat = 3 stroja u simulaciji
2. Zavarivanje robot = 8 strojeva u simulaciji
3. Zavarivanje laser = 2 stroja u simulaciji
4. Glodanje DOMET = 22 stroja u simulaciji
5. Glodanje POMET = koristi iste strojeve kao i glodanje DOMET
6. Tokarenje = 16 strojeva u simulaciji
7. Tokarenje NT = 8 strojeva u simulaciji
8. Tokarenje WTW = 6 strojeva u simulaciji
9. Završno glodanje = 10 strojeva u simulaciji
10. Dorada i ručna obrada = 10 radnih mjesta u simulaciji
11. Graviranje = 3 stroja u simulaciji
12. Kooperacija (zavarivanje) = 3 kooperanta u simulaciji.

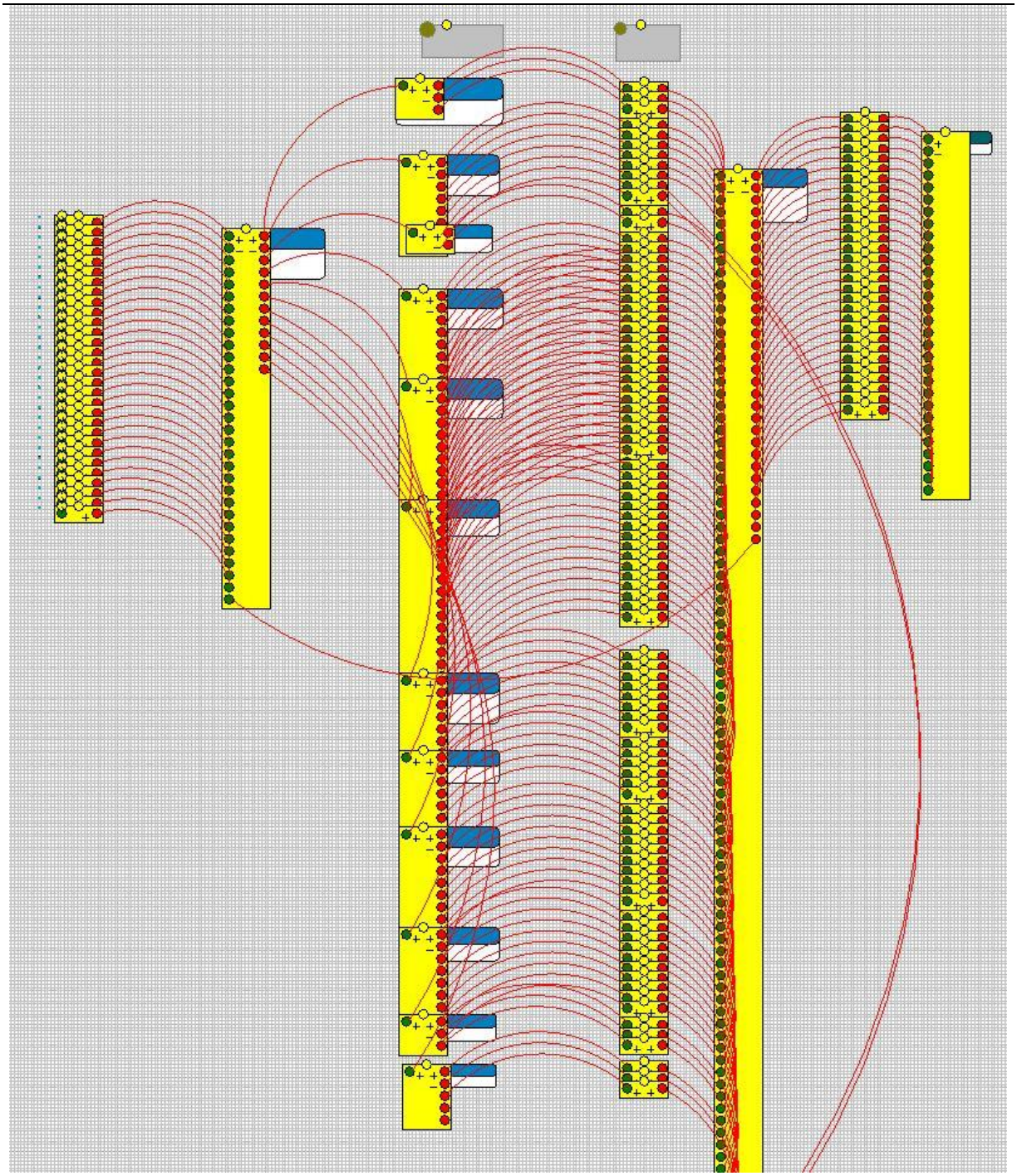
Svaka grupa strojeva je u simulaciji određena kao atom „Queue“, odnosno grupa strojeva predstavlja red („Queue“) na koji dolaze sve serije proizvoda koje u tom trenutku trebaju neku operaciju s te grupe strojeva. Grupe strojeva su povezane sa atomima „Server“, a svaki atom predstavlja jedan stroj. Na tim atomima strojeva zadano je vrijeme obrade, odnosno vrijeme obrade zadano je još jednom tablicom koja kao i tablica usmjeravanja proizvoda u stupcima

ima navedene proizvode od 1 do 30, a u redovima korake od 1 do koliko je potrebno za proizvodnju cijelog proizvoda. Također na tim atomima strojeva, odnosno „Server“ zadano je da prilikom izlaska proizvoda s tog atoma se poveća varijabla koraka, odnosno korak se poveća za jedan. Nakon atoma strojeva proizvodi idu na još jedan atom „Queue“ koji opet iz tablice usmjeravanja proizvoda čita trenutan korak. Ako je trenutni korak različit od nule tada taj atom proizvode opet šalje na atom usmjeravanja, odnosno prvi „Queue“ koji ovisno o broju koraka šalje proizvod na tu grupu proizvoda. Ako je vrijednost koraka nula na drugom atomu usmjeravanja, odnosno na atomu nakon strojeva, tada proizvodi idu na redove, tj. atome „Queue“ koji su označeni od jedan do trideset, a oni služe za praćenje proizvodnje, tj. da bi se kasnije moglo analizirati koliko se je određenog tipa proizvoda proizvelo. Proizvodi na te redove dolaze ovisno o varijabli „proizvod“, odnosno proizvod 1 ide na red za proizvod 1, proizvod 2 na svoj red i tako redom do 30. Nakon tih redova svi proizvodi idu na atom „Sink“, odnosno atom završenih proizvoda gdje oni zapravo izlaze iz simulacije, a kasnije je moguće na tom atomu vidjeti ukupan broj proizvedenih proizvoda. U nastavku su detaljnije opisane grupe strojeva i koje operacije se na njima opisuju te je dodatno uz slike objašnjen cijeli simulacijski model.

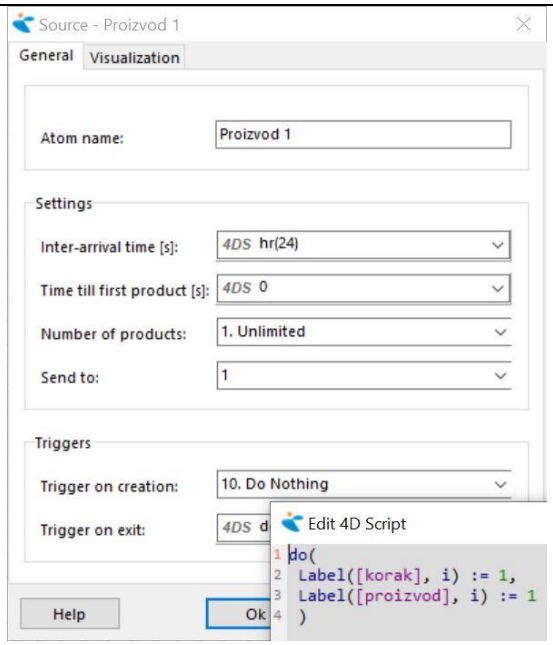


Slika 45 Model proizvodnje u programu Enterprise Dynamics

Na slici prikazan je cjelokupni model proizvodnje izrađen u programu Enterprise Dynamics. Na lijevoj strani slike vidljivi su proizvodi od 1 do 30, odnosno atomi „Source“ i lijevo od njih plave točkice atomi „Product“. Desno od toga nalazi se atom „Queue“, odnosno red za usmjeravanje na kojeg dolaze svi proizvodi, a on ih zatim ovisno o tablici usmjeravanja proizvoda koja je prikazana iznad strojeva šalje na određenu grupu strojeva. Grupe strojeva su prikazane kao redovi, odnosno atomi „Queue“ desno od reda za usmjeravanje. Kada proizvod dođe na red grupe strojeva on čeka slanje na slobodan stroj. Sve grupe strojeva su postavljene tako da proizvode šalju na nasumično odabran stroj iz te grupe proizvoda. Strojevi su na slici prikazani između grupe strojeva i drugog reda za usmjeravanje atomima „Server“. Kada proizvod dođe na strojeve, na atomu se iz tablice vremena proizvodnje čita vrijeme proizvodnje na tom koraku te se proizvod zatim na tom stroju zadržava toliko vremena. Nakon završetka na stroju, proizvod poveća vrijednost varijable „korak“ za jedan ide na sljedeći red, tj. atom „Queue“ drugog reda za usmjeravanje koji kao što je već navedeno uspoređuje vrijednosti varijable „korak“ iz tablice usmjeravanja proizvodnja i ako je ta vrijednost različita od nule taj drugi red šalje proizvode opet lijevo na prvi red za usmjeravanje. Ako je vrijednost varijable „korak“ nula, proizvodi idu na redove za vremena proizvodnje, odnosno atome „Queue“ koji služe za praćenje vremena izrade proizvoda 1 do 30. Nakon tog atoma, proizvodi idu na atom „Sink“ koji se zove završeni proizvodi gdje se tada lako može očitati koliko je ukupno proizvoda izrađeno u tom vremenu. Na slici 46 prikazani su kanali spajanja tih atoma, a na slikama od 47 do 52 prikazane su postavke određenih atoma i tablica.

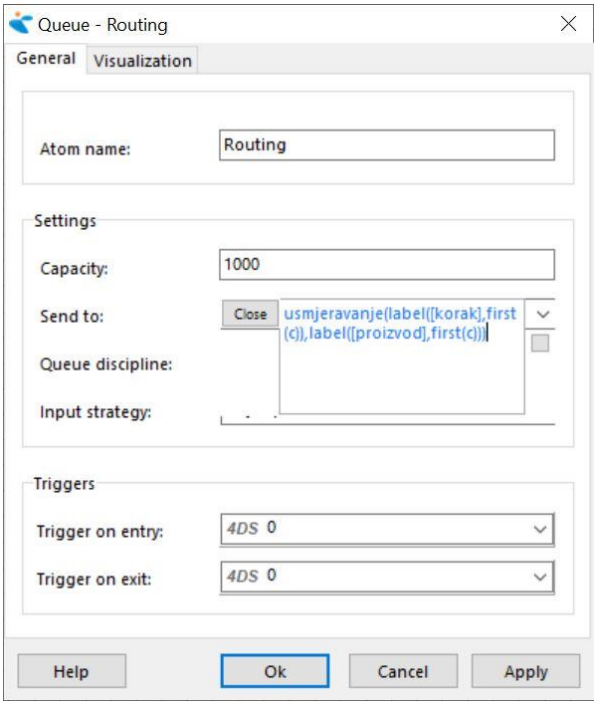


Slika 46 Spojeni model proizvodnje u programu Enterprise Dynamics.



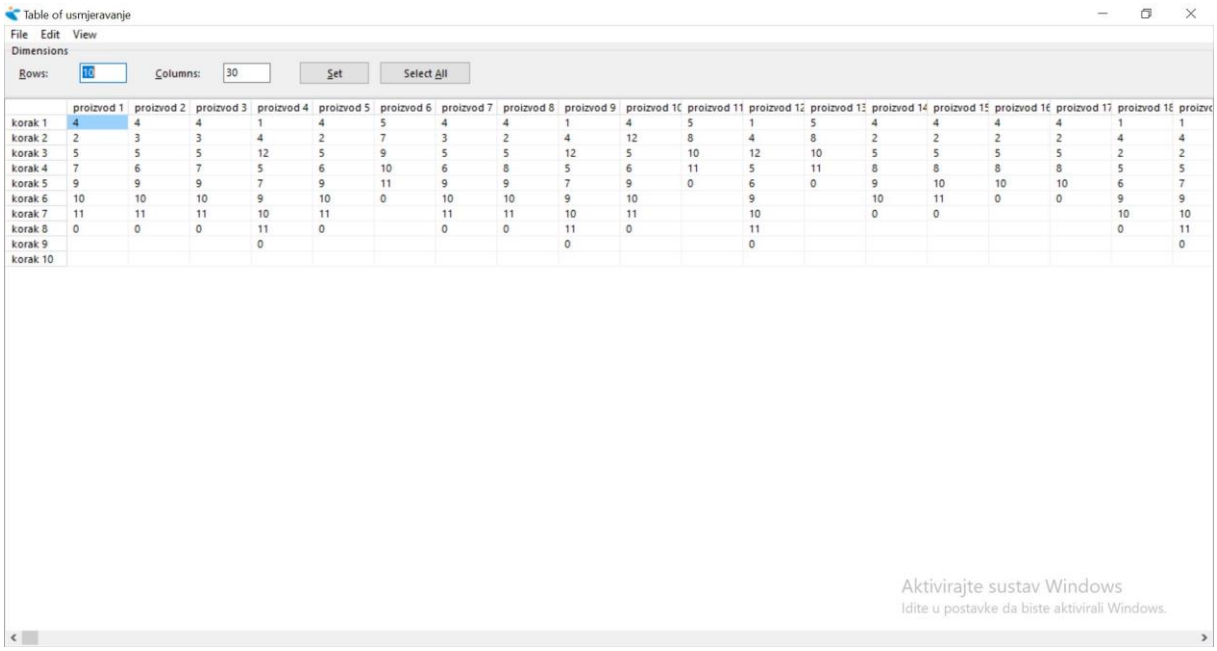
Slika 47 Postavke proizvoda

Na slici 47 su prikazane postavke proizvoda. Postavke proizvoda su zadane tako da svaki proizvod dolazi svakih 24 sata u polju „Inter-arrival time [s]“. Vrijeme se postavlja inače u sekundama, ali naredbom hr(24) zadano je vrijeme u satima. U polju „Trigger on exit“ zadana je kreacija varijabli, odnosno labela „korak“ i „proizvod“. Proizvod ovisno o tome koji je broj dobiva vrijednost varijable „proizvod“ od jedan do trideset, a varijabla „korak“ je svim proizvodima zadana kao jedan.



Slika 48 Postavke prvog reda za usmjeravanje

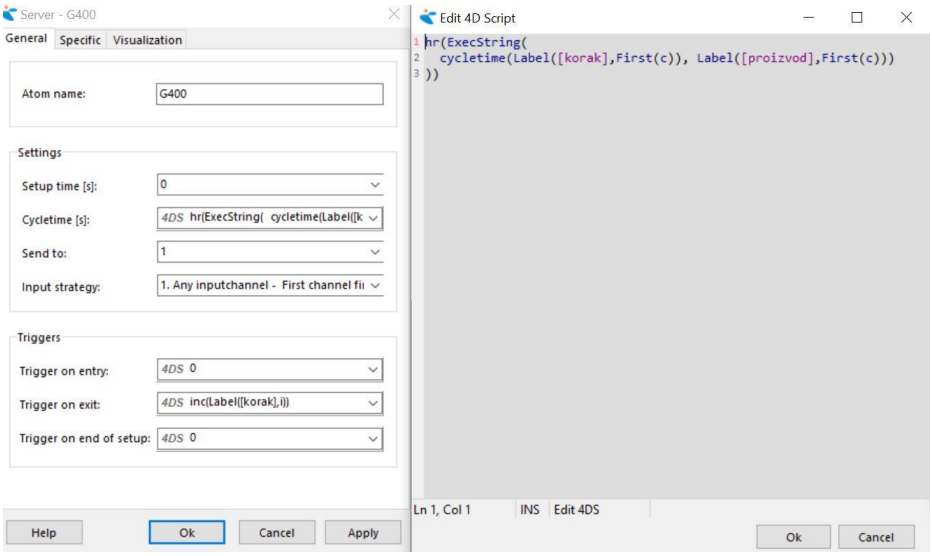
Na slici 48 prikazane su postavke atoma „Queue“ u simulaciji nazvanog „Routing“, a on predstavlja red za usmjeravanje proizvoda. Kapacitet mu je postavljen na 1000 iz razloga što taj red ne predstavlja nijedan fizički dio realnog sustava pa da se na njemu ne bi grupirali proizvodi, odnosno dolazilo do zastoja, a ionako proizvodi obično čim dođu na ovaj atom odmah i prođu kroz njega jer su sljedeći u nizu atomi redova grupe proizvoda te se proizvodi onda grupiraju na tim redovima ako dolazi do zastoja na tim grupama strojeva. Pod poljem „Send to“ napisan je kod koji daje naredbu da se proizvodi šalju na onaj izlazni kanal koji se pročita u tablici usmjeravanje ovisno o varijablama „korak“ i „proizvod“. Izlazni kanali imaju vrijednosti za grupe strojeva onako kako su nabrojane na stranici 42, odnosno razrez i bušenje za prihvat imaju izlazni kanal broj 1, zavarivanje robotski broj 2 i tako redom. Na slici 49 prikazana je tablica usmjeravanja proizvoda gdje je vidljivo da su proizvodi poredani u stupce, a koraci u redovi i onda se za svaki proizvod čita po redovima. Kada atom reda za usmjeravanje čita tablicu, on npr. pročita vrijednost varijable „proizvod“ 1 što mu daje naredbu da čita vrijednosti iz prvog stupca, a kada dođe proizvod prvi puta ima vrijednost varijable „korak“ isto jedan što znači da čita vrijednost i iz prvog reda. Nakon što proizvod prođe određenu obradu i poveća mu se vrijednost varijable „korak“ za jedan i vrati se preko drugog reda za usmjeravanje na prvi red za usmjeravanje tada se u tablici čita vrijednost sljedećeg reda iz tog stupca i tako redom dok se ne dođe do reda u kojem je vrijednost nula.



Slika 49 Tablica usmjeravanja proizvoda

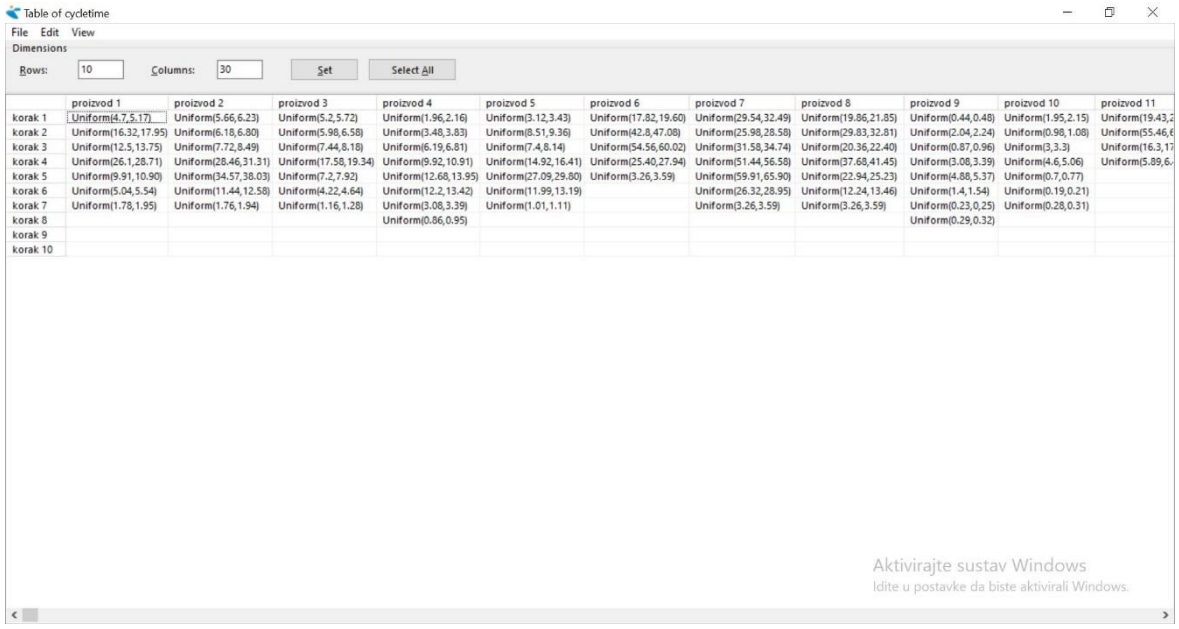
Postavke atoma „Queue“ za svaku grupu strojeva su iste i na njima nema ništa značajnog, odnosno postavljeno je da se atomi šalju na nasumično odabran slobodan izlaz. Na slici 50

prikazane su postavke jednog atoma „Server“ koji predstavljaju strojeve. Postavke svih strojeva su jednake jer se vremena proizvodnje čitaju iz tablice vremena proizvodnje.



Slika 50 Postavke strojeva

Na slici 50 su postavke strojeva, odnosno u polju „Cycletime [s]“ postavlja se vrijeme koje će proizvod provesti na tom atomu, odnosno vrijeme obrade. Vrijeme je zadano pomoću naredbe „ExecString“ koja govori da se iz tablice vremena proizvodnje nazvane „cycletime“ u modelu pročita točan tekst ovisno o varijablama proizvoda koji se trenutno nalazi na tom atomu. Odnosno iz tablice se čita po istom principu kao i tablicu usmjeravanja proizvoda. U polju „Trigger on exit“ zadana je naredba koja varijabli „korak“ povećava vrijednost za jedan izlaskom proizvoda sa trenutnog stroja.



Slika 51 Tablica vremena proizvodnje

Na slici 51 prikazana je tablica vremena proizvodnje. U njoj su u stupcima označeni proizvodi, a u redovima koraci. Svaki korak označava jednu operaciju kako je navedeno u podacima tvrtke sa slike 44. Vremena operacije su izračunate na način da se za svaku operaciju zbroje pripremno-završno vrijeme i vrijeme obrade pomnoženo sa količinom proizvoda u toj seriji. Vremena su nakon izračuna zapisana uniformnom razdiobom tako da najmanja moguća vrijednost je izračunata vrijednost, a najveća moguća vrijednost je izračunata vrijednost uvećana za 10 %. Naime kako u tvrtki imaju zadana vremena za najmanju vrijednost vremena izrade, ali zbog svjesnosti da se rijetko kad postižu te vrijednosti, već vrijeme proizvodnje uvijek traje duže ovisno o iskustvu operatera, nabavljivosti materijala, eventualnim popravcima operacija i zamjenama alata, iz pojednostavljenja simulacijskog modela i izračuna uzeta je vrijednost povećanja tog vremena od 10 %. Za konkretnije i realnije rezultate trebalo bi obaviti mjerenja i istraživanja o stvarnoj razdiobi vremena za pojedini proces. U jednadžbama ispod naveden je način izračuna vremena.

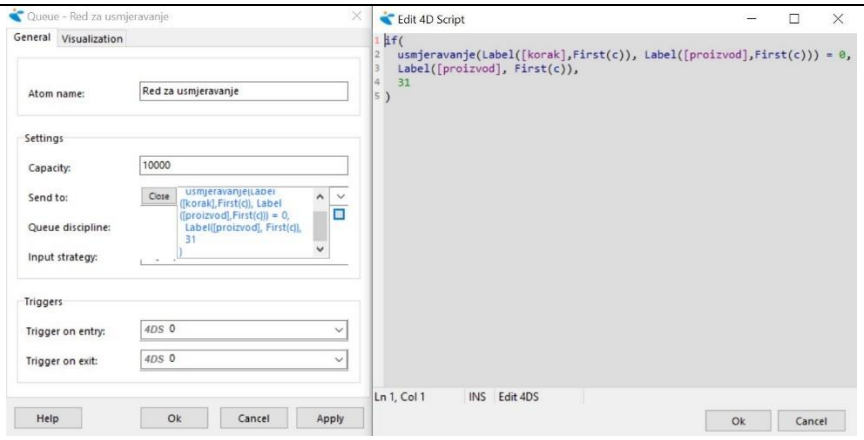
$$T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k \text{ [h]}$$

$$T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 \text{ [h]}$$

$$T = Uniform(T_1, T_2) \text{[h]}$$

- T_1 = izračunato vrijeme po podacima iz tvrtke [h]
- T_{pz} = pripremno-završno vrijeme navedeno u podacima tvrtke [h]
- n = broj komada u seriji tog proizvoda
- T_k = komadno vrijeme, tj. vrijeme obrade jednog komada na stroju [h]
- $T_2 = T_1$ vrijeme uvećano za 10 % [h]
- T = vrijeme izrade jedne serije proizvoda uneseno u tablicu u simulaciji [h]

Vrijeme T_2 je zadano, kao i općenito uniformna razdioba, iz razloga što u tvrtki imaju podatke vezane uz vrijeme izrade koji se rijetko postižu kao što je već navedeno iznad u tekstu.
U simulaciji, nakon što proizvod prolazi kroz atom „Server“, odnosno stroj proizvod dolazi na drugi red čije su postavke prikazane na slici ispod.



Slika 52 Postavke drugog reda za usmjeravanje

Zadatak atoma „Queue“ koji se naziva red za usmjeravanje, a predstavlja drugi red za usmjeravanje, je da gotove proizvode odvoji od nedovršenih proizvoda, tj. da dovršene proizvode šalje dalje kroz simulacijski model, dok nedovršene proizvode opet šalje na prvi red za usmjeravanje koji ih zatim ovisno o podacima iz tablice za usmjeravanje i vrijednosti varijabli „korak“ i „proizvodnja“ šalje na zadane grupe strojeva. Na slici 52 vidljive su postavke u kojima je bitno polje „Send to“, a na kojem piše naredba za usporedbu (eng. *if*) koja čita ako je vrijednost trenutnog polja u tablici za usmjeravanje s obzirom na varijable „korak“ i „proizvod“ jednaka nuli. Ako je vrijednost nula tada ovisno o varijabli „proizvod“ tog proizvoda šalje na taj izlaz, a ako je vrijednost različita od nule proizvod ide na izlaz 31 koji je spojen sa prvim redom za usmjeravanje.

Nakon drugog reda za usmjeravanje, ako je proizvod gotov ide na atom „Queue“ naziva „Vremena proizvodnje od 1 do 30“ te kroz njega direktno prolazi na atom „Sink“ nazvan „Završeni proizvodi“. Ovi atomi služe za kasniju eventualnu analizu proizvodnje, odnosno da se može izračunati vrijeme proizvodnje određenog proizvoda.

U nastavku su dani podaci za sve proizvode, odnosno prikaz izračuna vremena proizvodnje i određene faze, tj. koraci proizvodnje po grupama strojeva.

5.1.1. Proizvod 1

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	105	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	105	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	105	0	0		0	
4	40805 | Glodanje grla do met.	105	0,5	0,04		105	
5	41105 | Metalizacija grla na robotu	105	0,25	0,153		105	
6	41405 | Glodanje grla po met. SL	105	2	0,1		105	
7	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	105	3	0,22		103	+ ovalno
8	43505 | Bočno glodanje grla	105	0,25	0,092		101	bočno + pop rupe 5 min.
9	45405 | Skidanje srha	105	0	0,03		101	
10	47405 | Dorada navoja	105	0	0,018		101	
11	48705 | Graviranje oznaka	105	0,2	0,015		0	
			6,21	0,668			

Slika 53 Podaci proizvoda 1 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}5 + 105 \cdot 0{,}04 = 4{,}7\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}7 = 5{,}17\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.7{,}5.17)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 105 \cdot 0{,}153 = 16{,}32\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 16{,}32 = 17{,}95\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(16.32{,}17.95)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 105 \cdot 0{,}1 = 12{,}5\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 12{,}5 = 13{,}75\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(12.5{,}13.75)$
- 7 – Tokarenje NT - zbog opisa da se radi i ovalno glodanje pa je potreban 5-osni stroj
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3 + 105 \cdot 0{,}2 = 26{,}1\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 26{,}1 = 28{,}71\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(26.1{,}28.71)$
- 9 – Završno glodanje - operacija bočno glodanje grla
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 105 \cdot 0{,}092 = 9{,}91\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 9{,}91 = 10{,}90\ h$

- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(9.91,10.90)$

- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 105 \cdot (0{,}03 + 0{,}018) = 5{,}04\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}04 = 5{,}54\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(5.04,5.54)$

- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 105 \cdot 0{,}015 = 1{,}78\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}78 = 1{,}95\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.78,1.95)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 6{,}20 + 105 \cdot 0{,}668 = 76{,}34\ h$

5.1.2. Proizvod 2

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	104	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	104	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	104	0	0		0	
4	40905 | Glodanje grla do met. LASER	104	1,5	0,04		104	
5	41205 | Metalizacija grla na laseru	104	1,5	0,045		104	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	104	2	0,055		104	
7	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	104	3,5	0,24		101	
8	43405 | Vertikalno glodanje	104	0,25	0,33		102	vertikalno (pal glodalo) + bočno + utori na prizmi 18 min. M
9	45405 | Skidanje srha	104	0	0,045		99	
10	45505 | Turpijanje bridova	104	0	0,027		99	
11	47105 | Dorada uvučenog dijela navoja	104	0	0,02		99	
12	47405 | Dorada navoja	104	0	0,018		99	
13	48705 | Graviranje oznaka	104	0,2	0,015		0	
			8,96	0,835			

Slika 54 Podaci proizvoda 2 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 104 \cdot 0{,}04 = 5{,}66\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}66 = 6{,}23\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(5.66,6.23)$

- 3 – Zavarivanje LASER
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 104 \cdot 0{,}045 = 6{,}18\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 6{,}18 = 6{,}80\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(6.18,6.80)$

- 5 – Glodanje POMET
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 104 \cdot 0{,}055 = 7{,}72\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}72 = 8{,}49\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.72{,}8.49)$
- 6 - Tokarenje
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 104 \cdot 0{,}24 = 28{,}46\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 28{,}46 = 31{,}31\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(28.46{,}31.31)$
- 9 – Završno glodanje - operacija vertikalno glodanje
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 104 \cdot 0{,}33 = 34{,}57\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 34{,}57 = 38{,}03\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(34.57{,}38.03)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha, turpijanje bridova, dorada navoja i dorada uvučenog dijela navoja
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 104 \cdot (0{,}045 + 0{,}027 + 0{,}02 + 0{,}018) = 11{,}44\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 11{,}44 = 12{,}58\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(11.44{,}12.58)$
- 11 – Graviranje
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 104 \cdot 0{,}015 = 1{,}76\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}76 = 1{,}94\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.76{,}1.94)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 8{,}95 + 104 \cdot 0{,}835 = 95{,}79\ h$

5.1.3. Proizvod 3

Re	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	64	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	64	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	64	0	0		0	
4	40905 | Glodanje grla do met. LASER	64	2	0,05		64	
5	41205 | Metalizacija grla na laseru	64	1,5	0,07		64	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	64	2	0,085		62	
7	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	64	3,5	0,22		63	+ kos.na p.+ ut.na p.
8	44205 | Glodanje zazora	64	0,3	0,04		51	zazori sa čela
9	45305 | Vertikalno+ horizontalno glodanje	64	0,5	0,06		62	vertikalno + ut.na p.
10	45405 | Skidanje srha	64	0	0,02		60	
11	45505 | Turpijanje bridova	64	0	0,008		60	
12	47105 | Dorada uvučenog dijela navoja	64	0	0,02		60	
13	47405 | Dorada navoja	64	0	0,018		60	
14	48705 | Graviranje oznaka	64	0,2	0,015		0	
			10,01	0,606			

Slika 55 Podaci proizvoda 3 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 64 \cdot 0{,}05 = 5{,}2\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}2 = 5{,}72\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(5.2{,}5.72)$
- 3 – Zavarivanje LASER
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 64 \cdot 0{,}07 = 5{,}98\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}98 = 6{,}58\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(5.98{,}6.58)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 64 \cdot 0{,}085 = 7{,}44\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}44 = 8{,}18\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.44{,}8.18)$
- 7 – Tokarenje NT – zbog opisa izrade kosine na prizmi i utora – potrebno 5-osni stroj
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 64 \cdot 0{,}22 = 17{,}58\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 17{,}58 = 19{,}34\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(17.58{,}19.34)$
- 9 – Završno glodanje - operacija vertikalno + horizontalno glodanje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}5 + 64 \cdot 0{,}06 = 7{,}2\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}2 = 7{,}92\ h$

- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.2,7.92)$

- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha, turpijanje bridova, dorada navoja i dorada uvučenog dijela navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 64 \cdot (0{,}02 + 0{,}008 + 0{,}02 + 0{,}018) = 4{,}22\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}22 = 4{,}64\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.22,4.64)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 64 \cdot 0{,}015 = 1{,}16\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}16 = 1{,}28\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.16,1.28)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 10 + 64 \cdot 0{,}606 = 48{,}78\ h$

5.1.4. Proizvod 4

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	44	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	44	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	44	0	0		0	
4	30105 | Razrez materijala	44	0,1	0,01		44	
5	30205 | Bušenje za prihvat	44	0,1	0,03		44	
6	40805 | Glodanje grla do met.	44	1,5	0,045		0	
7	41005 | Metalizacija grla ručno	44	0,033	0,14		0	
8	41405 | Glodanje grla po met. SL	44	2	0,18		44	
9	42305 | Tokarenje grla bez navoja metalizirano- Twin	44	3	0,22		42	+ kos.na p.
10	42505 | 3D glodanje grla	44	1	0,15		42	
11	44705 | Bušenje kosih rupa	44	0,2	0,1		43	
12	45405 | Skidanje srha	44	0	0,02		41	
13	47505 | Dorada i poliranje utora u fazoni	44	0	0,05		40	
14	48705 | Graviranje oznaka	44	0,2	0,015		0	
			8,143	0,96			

Slika 56 Podaci proizvoda 4 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 1 – Razrez materijala + bušenje za prihvat
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}1 + 0{,}1 + 44 \cdot (0{,}01 + 0{,}03) = 1{,}96\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}96 = 2{,}16\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.96,2.16)$
- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 44 \cdot 0{,}045 = 3{,}48\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 3{,}48 = 3{,}83\ h$

- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(3.48,3.83)$

- 12 – Kooperacija zavarivanje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}033 + 44 \cdot 0{,}14 = 6{,}19\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 6{,}19 = 6{,}81\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(6.19,6.81)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 44 \cdot 0{,}18 = 9{,}92\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 9{,}92 = 10{,}91\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(9.92,10.91)$
- 7 – Tokarenje NT – zbog opisa izrade kosine na prizmi – potrebno 5-osni stroj
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3 + 44 \cdot 0{,}22 = 12{,}68\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 12{,}68 = 13{,}95\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(12.68,13.95)$
- 9 – Završno glodanje - operacije 3D glodanje grla i bušenje kosih rupa
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1 + 0{,}2 + 44 \cdot (0{,}15 + 0{,}1) = 12{,}2\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 12{,}2 = 13{,}42\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(12.2,13.42)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i dorada i poliranje utora u fazoni
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 44 \cdot (0{,}02 + 0{,}05) = 3{,}08\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 3{,}08 = 3{,}39\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(3.08,3.39)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 44 \cdot 0{,}015 = 0{,}86\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 0{,}86 = 0{,}95\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(0.86,0.95)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 8{,}133 + 44 \cdot 0{,}96 = 50{,}37\ h$

5.1.5. Proizvod 5

Re	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	54	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	54	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	54	0	0		0	
4	40805 | Glodanje grla do met.	54	1,5	0,03		54	
5	41105 | Metalizacija grla na robotu	54	0,25	0,153		54	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	54	2	0,1		53	
7	42305 | Tokarenje grla bez navoja metalizirano- Twin	54	2,5	0,23		53	
8	42505 | 3D glodanje grla	54	1	0,14		54	
9	42605 | Glodanje navoja- Mikron	54	1	0,1		52	
10	43405 | Vertikalno glodanje	54	0,25	0,22		53	vertikalno + pop rupe
11	45405 | Skidanje srha	54	0	0,03		46	
12	45505 | Turpijanje bridova	54	0	0,042		46	
13	47705 | Dorada navoja ketchup	54	0	0,15		50	
14	48705 | Graviranje oznaka	54	0,2	0,015		0	
			8,71	1,21			

Slika 57 Podaci proizvoda 5 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 54 \cdot 0{,}03 = 3{,}12\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 3{,}12 = 3{,}43\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(3.12{,}3.43)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 54 \cdot 0{,}153 = 8{,}51\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 8{,}51 = 9{,}36\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(8.51{,}9.36)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 54 \cdot 0{,}1 = 7{,}4\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}4 = 8{,}14\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.4{,}8.14)$
- 6 – Tokarenje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2{,}5 + 54 \cdot 0{,}23 = 14{,}92\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 14{,}92 = 16{,}41\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(14.92{,}16.41)$
- 9 – Završno glodanje - operacije 3D glodanje grla, glodanje navoja i vertikalno glodanje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1 + 1 + 0{,}25 + 54 \cdot (0{,}14 + 0{,}1 + 0{,}22) = 27{,}09\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 27{,}09 = 29{,}80\ h$

- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(27.09,29.80)$

- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha, turpijanje bridova i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 54 \cdot (0{,}03 + 0{,}042 + 0{,}15) = 11{,}99\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 11{,}99 = 13{,}19\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(11.99,13.19)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 54 \cdot 0{,}015 = 1{,}01\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}01 = 1{,}11\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.01,1.11)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 8{,}70 + 54 \cdot 1{,}21 = 74{,}04\ h$

5.1.6. Proizvod 6

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	204	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	204	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	204	0	0		0	
4	40305 | Glodanje (falcanje) grla B	204	1,5	0,08		204	
5	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	204	2	0,2		204	+ovalno
6	43405 | Vertikalno glodanje	204	0,25	0,155		204	Vent utori + popr. rupe 8,5 min.MATSURA
7	43505 | Bočno glodanje grla	204	0,25	0,11		203	+ ut.na p. 6 min.
8	45405 | Skidanje srha	204	0	0,04		202	
9	45505 | Turpijanje bridova	204	0,1	0,034		203	
10	47405 | Dorada navoja	204	0	0,05		203	
11	48705 | Graviranje oznaka	204	0,2	0,015		202	
			4,31	0,684			

Slika 58 Podaci proizvoda 6 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 204 \cdot 0{,}08 = 17{,}82\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 17{,}82 = 19{,}60\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(17.82,19.60)$
- 7 – Tokarenje NT – zbog dodatne operacije ovalnog glodanja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 204 \cdot 0{,}2 = 42{,}8\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 42{,}8 = 47{,}08\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(42.8,47.08)$
- 9 – Završno glodanje - operacije vertikalno glodanje i bočno glodanje grla

- $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 0{,}25 + 204 \cdot (0{,}155 + 0{,}11) = 54{,}56\ h$
- $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 54{,}56 = 60{,}02\ h$
- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(54.56{,}60.02)$

- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha, turpijanje bridova i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}1 + 204 \cdot (0{,}04 + 0{,}034 + 0{,}05) = 25{,}40\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 25{,}40 = 27{,}94\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(25.40{,}27.94)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 204 \cdot 0{,}015 = 3{,}26\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 3{,}26 = 3{,}59\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(3.26{,}3.59)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 4{,}30 + 204 \cdot 0{,}684 = 143{,}84\ h$

5.1.7. Proizvod 7

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	204	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	204	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	204	0	0		0	
4	40905 | Glodanje grla do met. LASER	204	2	0,135		204	
5	41205 | Metalizacija grla na laseru	204	1,5	0,12		204	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	204	2	0,145		199	+ utori 6,35
7	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	204	3,5	0,235		204	
8	43505 | Bočno glodanje grla	204	0,25	0,15		199	8 min.
9	45305 | Vertikalno+ horizontalno glodanje	204	0,5	0,14		204	vertikalno + pop rupe + utori za osl jezgrenika + ovalno 7,5
10	45405 | Skidanje srha	204	0	0,045		198	
11	45505 | Turpijanje bridova	204	0	0,03		198	
12	47405 | Dorada navoja	204	0	0,054		199	
13	48705 | Graviranje oznaka	204	0,2	0,015		0	
			9,96	1,069			

Slika 59 Podaci proizvoda 7 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 204 \cdot 0{,}135 = 29{,}54\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 29{,}54 = 32{,}49\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(29.54{,}32.49)$
- 3 – Zavarivanje LASER
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 204 \cdot 0{,}12 = 25{,}98\ h$

- $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 25{,}98 = 28{,}58\ h$
- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(25.98{,}28.58)$

- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 204 \cdot 0{,}145 = 31{,}58\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 31{,}58 = 34{,}74\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(31.58{,}34.74)$
- 6 – Tokarenje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 204 \cdot 0{,}235 = 51{,}44\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 51{,}44 = 56{,}58\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(51.54{,}56.58)$
- 9 – Završno glodanje - operacije bočno glodanje grla i vertikalno + horizontalno glodanje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 0{,}5 + 204 \cdot (0{,}15 + 0{,}14) = 59{,}91\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 59{,}91 = 65{,}90\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(59.91{,}65.90)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha, turpijanje bridova i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 204 \cdot (0{,}045 + 0{,}03 + 0{,}054) = 26{,}32\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 26{,}32 = 28.95\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(26.32{,}28.95)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 204 \cdot 0{,}015 = 3{,}26\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 3{,}26 = 3{,}59\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(3.26{,}3.59)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 9{,}95 + 204 \cdot 1{,}069 = 228{,}03\ h$

5.1.8. Proizvod 8

Re	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	204	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	204	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	204	0	0		0	
4	40805 | Glodanje grla do met.	204	1,5	0,09		204	
5	41105 | Metalizacija grla na robotu	204	0,25	0,145		204	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	204	2	0,09		204	
7	42305 | Tokarenje grla bez navoja metalizirano- Twin	204	3	0,17		202	WTW + ut.na p. + pop.rupe
8	45305 | Vertikalno+ horizontalno glodanje	204	0,5	0,11		195	rez.+ bočno 6 min.
9	45405 | Skidanje srha	204	0	0,03		196	
10	45505 | Turpijanje bridova	204	0	0,03		196	
11	48705 | Graviranje oznaka	204	0,2	0,015		45	
			7,46	0,68			

Slika 60 Podaci proizvoda 8 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 204 \cdot 0{,}09 = 19{,}86\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 19{,}86 = 21{,}85\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(19.86{,}21.85)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 204 \cdot 0{,}145 = 29{,}83\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 29{,}83 = 32{,}81\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(29.83{,}32.81)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 204 \cdot 0{,}09 = 20{,}36\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 20{,}36 = 22{,}40\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(20.36{,}22.40)$
- 8 – Tokarenje WTW – u opisu naveden WTW
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3 + 204 \cdot 0{,}17 = 37{,}68\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 37{,}68 = 41{,}45\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(37.68{,}41.45)$
- 9 – Završno glodanje – operacija vertikalno + horizontalno glodanje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}5 + 204 \cdot 0{,}11 = 22{,}94\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 22{,}94 = 25{,}23\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(22.94{,}25.23)$

- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i turpijanje bridova
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 204 \cdot (0{,}03 + 0{,}03) = 12{,}24\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 12{,}24 = 13{,}46\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(12.24{,}13.46)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 204 \cdot 0{,}015 = 3{,}26\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 3{,}26 = 3{,}59\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(3.26{,}3.59)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 7{,}45 + 204 \cdot 0{,}68 = 146{,}17\ h$

5.1.9. Proizvod 9

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	6	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	6	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	6	0	0		0	
4	30105 | Razrez materijala	6	0,1	0,01		6	
5	30205 | Bušenje za prihvat	6	0,1	0,03		6	
6	40805 | Glodanje grla do met.	6	1,5	0,09		0	
7	41005 | Metalizacija grla ručno	6	0,033	0,14		6	
8	41405 | Glodanje grla po met. SL	6	2	0,18		6	+ utori 6,35
9	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	6	3,5	0,23		6	+ ut.zad.str.
10	43205 | Glodanje utora sa stražnje strane	6	0,25	0,05		6	utori na armu
11	43505 | Bočno glodanje grla	6	0,25	0,1		6	bočno + kose rupe + kosina na prizmi + ut.na p.
12	45405 | Skidanje srha	6	0	0,02		5	
13	47405 | Dorada navoja	6	0	0,018		5	
14	48705 | Graviranje oznaka	6	0,2	0,015		0	
			7,943	0,883			

Slika 61 Podaci proizvoda 9 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 1 – Razrez materijala + bušenje za prihvat
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}1 + 0{,}1 + 6 \cdot (0{,}01 + 0{,}03) = 0{,}44\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 0{,}44 = 0{,}48\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(0.44{,}0.48)$
- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 6 \cdot 0{,}09 = 2{,}04\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 2{,}04 = 2{,}24\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(2.04{,}2.24)$

- 12 – Kooperacija zavarivanje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}033 + 6 \cdot 0{,}14 = 0{,}87\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 0{,}87 = 0{,}96\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(0.87{,}0.96)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 6 \cdot 0{,}18 = 3{,}08\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 3{,}08 = 3{,}39\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(3.08{,}3.39)$
- 7 – Tokarenje NT – zbog dodatne operacije glodanja utora sa stražnje strane
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 6 \cdot 0{,}23 = 4{,}88\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}88 = 5{,}37\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.88{,}5.37)$
- 9 – Završno glodanje – operacije glodanje utora sa stražnje strane i bočno glodanje grla
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 0{,}25 + 6 \cdot (0{,}05 + 0{,}1) = 1{,}4\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}4 = 1{,}54\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.4{,}1.54)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 6 \cdot (0{,}02 + 0{,}018) = 0{,}23\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 0{,}23 = 0{,}25\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(0.23{,}0.25)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 6 \cdot 0{,}015 = 0{,}29\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 0{,}29 = 0{,}32\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(0.29{,}0.32)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 7{,}933 + 6 \cdot 0{,}883 = 13{,}23\ h$

5.1.10. Proizvod 10

Re	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	5	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	5	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	5	0	0		0	
4	40805 | Glodanje grla do met.	5	1,5	0,09		0	
5	41005 | Metalizacija grla ručno - robot	5	0,033	0,19		0	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	5	2	0,2		5	
7	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	5	3,5	0,22		5	
8	44505 | Bušenje uzdužnih rupa i skidanje srha	5	0,2	0,1		5	uzd rupe + utori na prizmi
9	45405 | Skidanje srha	5	0	0,02		4	
10	47405 | Dorada navoja	5	0	0,018		4	
11	48705 | Graviranje oznaka	5	0,2	0,015		0	
			7,443	0,853			

Slika 62 Podaci proizvoda 10 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 5 \cdot 0{,}09 = 1{,}95\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}95 = 2{,}15\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.95{,}2.15)$
- 12 – Kooperacija zavarivanje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}033 + 5 \cdot 0{,}19 = 0{,}98\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 0{,}98 = 1{,}08\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(0.98{,}1.08)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 5 \cdot 0{,}2 = 3\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 3 = 3{,}3\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(3{,}3.3)$
- 6 – Tokarenje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 5 \cdot 0{,}22 = 4{,}6\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}6 = 5{,}06\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.6{,}5.06)$
- 9 – Završno glodanje – operacije bušenje uzdužnih rupa i utori na prizmi
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 5 \cdot 0{,}1 = 0{,}7\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 0{,}7 = 0{,}77\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(0.7{,}0.77)$

- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i dorada navoja
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 5 \cdot (0{,}02 + 0{,}018) = 0{,}19\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 0{,}19 = 0{,}21\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(0.19{,}0.21)$
- 11 – Graviranje
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 5 \cdot 0{,}015 = 0{,}28\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 0{,}28 = 0{,}31\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(0.28{,}0.31)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 7{,}433 + 5 \cdot 0{,}853 = 11{,}70\ h$

5.1.11. Proizvod 11

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	379	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	379	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	379	0	0		0	
4	40305 | Glodanje (falcanje) grla B	379	2	0,046		379	
5	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	379	0,5	0,145		378	WTW; + kos.na p. + ovalno
6	45405 | Skidanje srha	379	0	0,025		378	
7	47405 | Dorada navoja	379	0	0,018		378	
8	48705 | Graviranje oznaka	379	0,2	0,015		0	
			2,71	0,249			

Slika 63 Podaci proizvoda 11 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 5 – Glodanje POMET
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 379 \cdot 0{,}046 = 19{,}43\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 19{,}43 = 21{,}37\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(19.43{,}21.37)$
- 8 – Tokarenje WTW – u opisu zadana vrsta stroja WTW
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}5 + 379 \cdot 0{,}145 = 55{,}46\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 55{,}46 = 61{,}01\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(55.46{,}61.01)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i dorada navoja
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 379 \cdot (0{,}025 + 0{,}018) = 16{,}3\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 16{,}3 = 17{,}93\ h$

- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(16.3,17.93)$

- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 379 \cdot 0{,}015 = 5{,}89\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}89 = 6{,}48\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(5.89,6.48)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 2{,}70 + 379 \cdot 0{,}249 = 97{,}07\ h$

5.1.12. Proizvod 12

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	29	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	29	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	29	0	0		0	
4	30105 | Razrez materijala	29	0,1	0,01		29	
5	30205 | Bušenje za prihvat	29	0,1	0,03		29	
6	40805 | Glodanje grla do met.	29	1,5	0,09		29	visina komada 56mm
7	41005 | Metalizacija grla ručno	29	0,033	0,19		0	
8	41405 | Glodanje grla po met. SL	29	2	0,16		29	
9	41905 | Tokarenje stražnje strane- metalizirano	29	1,5	0,25		29	
10	42105 | Tokarenje prednje strane grla bez navoja s glodanjem prizm	29	2,3	0,165		29	
11	44205 | Glodanje zazora	29	0,3	0,04		0	zazori sa čela
12	43405 | Vertikalno glodanje	29	0,25	0,1		27	vertikalno (pal glodalo)+ kosina na prizmi + utori na prizmi
13	45405 | Skidanje srha	29	0	0,03		26	
14	45505 | Turpijanje bridova	29	0	0,008		26	
15	48705 | Graviranje oznaka	29	0,2	0,015		0	
			8,293	1,088			

Slika 64 Podaci proizvoda 12 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 1 – Razrez materijala + bušenje za prihvat
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}1 + 0{,}1 + 29 \cdot (0{,}01 + 0{,}03) = 1{,}26\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}26 = 4{,}11\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.26,4.11)$

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 29 \cdot 0{,}09 = 4{,}11\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}11 = 4{,}52\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.11,4.52)$

- 12 – Kooperacija zavarivanje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}033 + 29 \cdot 0{,}19 = 5{,}54\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}54 = 6{,}09\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(5.54,6.09)$

- 5 – Glodanje POMET
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 29 \cdot 0{,}16 = 6{,}64\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 6{,}64 = 7{,}30\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(6.64{,}7.30)$
- 6 – Tokarenje
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 2{,}3 + 29 \cdot (0{,}25 + 0{,}165) = 15{,}84\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 15{,}84 = 17{,}42\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(15.84{,}17.42)$
- 9 – Završno glodanje – operacije glodanje zazora i vertikalno glodanje
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}3 + 0{,}25 + 29 \cdot (0{,}04 + 0{,}1) = 4{,}61\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}61 = 5{,}07\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.61{,}5.07)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i turpijanje bridova
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 29 \cdot (0{,}03 + 0{,}008) = 1{,}10\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}10 = 1{,}21\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.10{,}1.21)$
- 11 – Graviranje
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 29 \cdot 0{,}015 = 0{,}64\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 0{,}64 = 0{,}70\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(0.64{,}0.70)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 8{,}283 + 29 \cdot 1{,}088 = 39{,}84\ h$

5.1.13. Proizvod 13

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	379	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	379	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	379	0	0		0	
4	40305 | Glodanje (falcanje) grla B	379	2	0,08		379	
5	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	379	0,5	0,15		379	WTW; + kos.na p. + ovalno
6	45405 | Skidanje srha	379	0	0,025		378	
7	47405 | Dorada navoja	379	0	0,018		378	
8	48705 | Graviranje oznaka	379	0,2	0,015		0	
			2,71	0,288			

Slika 65 Podaci proizvoda 13 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 379 \cdot 0{,}08 = 32{,}32\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 32{,}32 = 35{,}55\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(32.32{,}35.55)$
- 8 – Tokarenje WTW – u opisu zadana vrsta stroja WTW
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}5 + 379 \cdot 0{,}15 = 57{,}35\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 57{,}35 = 63{,}09\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(57.35{,}63.09)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 379 \cdot (0{,}025 + 0{,}018) = 16{,}3\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 16{,}3 = 17{,}93\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(16.3{,}17.93)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 379 \cdot 0{,}015 = 5{,}89\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}89 = 6{,}48\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(5.89{,}6.48)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 2{,}70 + 379 \cdot 0{,}288 = 111{,}85$

5.1.14. Proizvod 14

Re	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	84	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	84	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	84	0	0		0	
4	40805 | Glodanje grla do met.	84	0,5	0,035		84	
5	41105 | Metalizacija grla na robotu	84	0	0,12		84	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	84	2	0,1		84	+ V zazori ravni
7	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	84	3,5	0,175		84	WTW + oz poč navoja
8	43405 | Vertikalno glodanje	84	0,25	0,165		82	vertikalno + pop rupe
9	45405 | Skidanje srha	84	0	0,03		82	
10	45505 | Turpijanje bridova	84	0	0,015		82	
11	47405 | Dorada navoja	84	0	0,018		82	
			6,26	0,658			

Slika 66 Podaci proizvoda 14 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}5 + 84 \cdot 0{,}035 = 3{,}44\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 3{,}44 = 3{,}78\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(3.44{,}3.78)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 84 \cdot 0{,}12 = 10{,}08\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 10{,}08 = 11{,}09\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(10.08{,}11.09)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 84 \cdot 0{,}1 = 10{,}4\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 10{,}4 = 11{,}44\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(10.4{,}11.44)$
- 8 – Tokarenje WTW – u opisu zadana vrsta stroja WTW
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 84 \cdot 0{,}175 = 18{,}2\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 18{,}2 = 20{,}02\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(18.2{,}20.02)$
- 9 – Završno glodanje - operacija vertikalno glodanje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 84 \cdot 0{,}165 = 14{,}11\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 14{,}11 = 15{,}52\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(14.11{,}15.52)$

- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha, turpijanje bridova i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 84 \cdot (0{,}03 + 0{,}015 + 0{,}018) = 5{,}29\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}29 = 5{,}82\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(5.29{,}5.82)$
- Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 6{,}25 + 84 \cdot 0{,}658 = 61{,}52\ h$

5.1.15. Proizvod 15

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	184	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	184	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	184	0	0		0	
4	40805 | Glodanje grla do met.	184	1	0,04		184	
5	41105 | Metalizacija grla na robotu	184	0,25	0,145		183	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	184	1,5	0,085		182	
7	42305 | Tokarenje grla bez navoja metalizirano- Twin	184	2	0,165		184	WTW; + kosina na prizmi + pop rupe + osl za prsten + pop ru
8	45405 | Skidanje srha	184	0	0,03		180	
9	48705 | Graviranje oznaka	184	0,2	0,015		0	
			4,96	0,48			

Slika 67 Podaci proizvoda 15 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1 + 184 \cdot 0{,}04 = 8{,}36\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 8{,}36 = 9{,}20\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(8.36{,}9.20)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 184 \cdot 0{,}145 = 26{,}93\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 26{,}93 = 29{,}62\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(26.93{,}29.62)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 184 \cdot 0{,}085 = 17{,}14\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 17{,}14 = 18{,}85\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(17.14{,}18.85)$
- 8 – Tokarenje WTW – u opisu zadana vrsta stroja WTW
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 184 \cdot 0{,}165 = 32{,}36\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 32{,}36 = 35{,}60\ h$

- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(32.36,35.60)$

- 10 – Dorada i ručna obrada - operacija skidanje srha
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 184 \cdot 0{,}03 = 5{,}52\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}52 = 6{,}07\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(5.52,6.07)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 184 \cdot 0{,}015 = 2{,}96\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 2{,}96 = 3{,}26\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(2.96,3.26)$
- Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 4{,}95 + 184 \cdot 0{,}48 = 93{,}27\ h$

5.1.16. Proizvod 16

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	306	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	306	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	306	0	0		0	
4	40805 | Glodanje grla do met.	306	0,5	0,025		306	
5	41105 | Metalizacija grla na robotu	306	0	0,15		306	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	306	2	0,05		306	
7	42305 | Tokarenje grla bez navoja metalizirano- Twin	306	3	0,175		304	WTW; + ovalno + bočno + popr. rupe + gravura
8	45405 | Skidanje srha	306	0	0,04		276	
			5,51	0,44			

Slika 68 Podaci proizvoda 16 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}5 + 306 \cdot 0{,}025 = 8{,}15\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 8{,}15 = 8{,}97\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(8.15,8.97)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 306 \cdot 0{,}15 = 45{,}9\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 45{,}9 = 50{,}49\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(45.9,50.49)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 306 \cdot 0{,}05 = 17{,}3\ h$

- $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 17{,}3 = 19{,}03\ h$
- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(17.3{,}19.03)$

- 8 – Tokarenje WTW – u opisu zadana vrsta stroja WTW
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3 + 306 \cdot 0{,}175 = 56{,}55\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 56{,}55 = 62{,}21\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(56.55{,}62.21)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacija skidanje srha
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 306 \cdot 0{,}04 = 12{,}24\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 12{,}24 = 13{,}46\ h$
- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(12.24{,}13.46)$
- Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 5{,}50 + 306 \cdot 0{,}44 = 140{,}14\ h$

5.1.17. Proizvod 17

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	306	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	306	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	306	0	0		0	
4	40805 | Glodanje grla do met.	306	0	0,025		305	
5	41105 | Metalizacija grla na robotu	306	0,25	0,141		306	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	306	2	0,05		305	
7	42305 | Tokarenje grla bez navoja metalizirano- Twin	306	0,5	0,17		305	WTW; + ovalno + bočno + popr. rupe + gravura
8	45405 | Skidanje srha	306	0	0,04		302	
			2,76	0,426			

Slika 69 Podaci proizvoda 17 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 306 \cdot 0{,}025 = 7{,}65\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}65 = 8{,}42\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.65{,}8.42)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 306 \cdot 0{,}141 = 43{,}40\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 43{,}40 = 47{,}74\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(43.40{,}47.74)$

- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 306 \cdot 0{,}05 = 17{,}3\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 17{,}3 = 19{,}03\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(17.3{,}19.03)$
- 8 – Tokarenje WTW – u opisu zadana vrsta stroja WTW
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}5 + 306 \cdot 0{,}17 = 52{,}52\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 52{,}52 = 57{,}77\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(52.52{,}57.77)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacija skidanje srha
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 306 \cdot 0{,}04 = 12{,}24\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 12{,}24 = 13{,}46\ h$
- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(12.24{,}13.46)$
- Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 2{,}75 + 306 \cdot 0{,}426 = 133{,}11\ h$

5.1.18. Proizvod 18

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	86	0,01	0		0	
2	8005 | Završna kontrola	86	0	0		0	
3	30305 | Upisivanje dimenzija u posebnu mjernu listu	86	0	0		0	
4	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	86	0	0		0	
5	30105 | Razrez materijala	86	0,1	0,01		86	
6	30205 | Bušenje za prihvat	86	0,1	0,03		86	
7	40805 | Glodanje grla do met.	86	1,5	0,07		86	
8	41105 | Metalizacija grla na robotu	86	0,25	0,153		86	
9	41405 | Glodanje grla po met. SL	86	2	0,15		85	
10	42305 | Tokarenje grla bez navoja metalizirano- Twin	86	3	0,2		37	
11	43905 | Glodanje poprečnih zazora	86	0,3	0,06		0	
12	45405 | Skidanje srha	86	0	0,02		0	
			7,26	0,693			

Slika 70 Podaci proizvoda 18 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 1 – Razrez materijala + bušenje za prihvat
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}1 + 0{,}1 + 86 \cdot (0{,}01 + 0{,}03) = 3{,}64\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 3{,}64 = 4\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(3.64{,}4)$

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 86 \cdot 0{,}07 = 7{,}52\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}52 = 8{,}27\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.52{,}8.27)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 86 \cdot 0{,}153 = 13{,}41\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 13{,}41 = 14{,}75\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(13.41{,}14.75)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 86 \cdot 0{,}15 = 14{,}9\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 14{,}9 = 16{,}39\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(14.9{,}16.39)$
- 6 – Tokarenje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3 + 86 \cdot 0{,}2 = 20{,}2\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 20{,}2 = 22{,}22\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(20.2{,}22.22)$
- 9 – Završno glodanje – operacija glodanje poprečnih zazora
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}3 + 86 \cdot 0{,}06 = 5{,}46\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}46 = 6\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(5.46{,}6)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacija skidanje srha
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 86 \cdot 0{,}02 = 1{,}72\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}72 = 1{,}89\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.72{,}1.89)$
- Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 7{,}25 + 86 \cdot 0{,}693 = 66{,}85\ h$

5.1.19. Proizvod 19

Re	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	109	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	109	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	109	0	0		0	
4	30105 | Razrez materijala	109	0,1	0,01		109	
5	30205 | Bušenje za prihvat	109	0,1	0,03		109	
6	40805 | Glodanje grla do met.	109	1,5	0,08		109	
7	41105 | Metalizacija grla na robotu	109	0,25	0,19		109	
8	41405 | Glodanje grla po met. SL	109	0	0,07		109	
9	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	109	3,5	0,2		108	+ utori str strana + utori na prizmi
10	43905 | Glodanje poprečnih zazora	109	0,25	0,06		106	
11	45405 | Skidanje srha	109	0	0,02		107	
12	47405 | Dorada navoja	109	0	0,018		107	
13	48705 | Graviranje oznaka	109	0,2	0,015		0	
			5,91	0,693			

Slika 71 Podaci proizvoda 19 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 1 – Razrez materijala + bušenje za prihvat
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}1 + 0{,}1 + 109 \cdot (0{,}01 + 0{,}03) = 4{,}56\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}56 = 5{,}02\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.56{,}5.02)$
- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 109 \cdot 0{,}08 = 10{,}22\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 10{,}22 = 11{,}24\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(10.22{,}11.24)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 109 \cdot 0{,}19 = 20{,}96\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 20{,}96 = 23{,}06\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(20.96{,}23.06)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 109 \cdot 0{,}07 = 7{,}63\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}63 = 8{,}39\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.63{,}8.39)$
- 7 – Tokarenje NT – operacije utora sa stražnje strane i na prizmi
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 109 \cdot 0{,}2 = 25{,}3\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 25{,}3 = 27{,}83\ h$

- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(25.3,27.83)$

- 9 – Završno glodanje – operacija glodanje poprečnih zazora
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 109 \cdot 0{,}06 = 6{,}79\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 6{,}79 = 7{,}47\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(6.79,7.47)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 109 \cdot (0{,}02 + 0{,}018) = 4{,}14\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}14 = 4{,}55\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.14,4.55)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 109 \cdot 0{,}015 = 1{,}84\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}84 = 2{,}02\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.84,2.02)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 5{,}90 + 109 \cdot 0{,}693 = 81{,}44\ h$

5.1.20. Proizvod 20

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	204	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	204	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	204	0	0		0	
4	40905 | Glodanje grla do met. LASER	204	2	0,055		204	
5	41205 | Metalizacija grla na laseru	204	1,5	0,04		204	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	204	1,5	0,055		202	
7	42305 | Tokarenje grla bez navoja metalizirano- Twin	204	2,5	0,17		202	WTW; + ov + kosina na prizmi + pop rupe
8	45405 | Skidanje srha	204	0	0,03		197	
9	48705 | Graviranje oznaka	204	0,2	0,015		0	
			7,71	0,365			

Slika 72 Podaci proizvoda 20 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 204 \cdot 0{,}055 = 13{,}22\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 13{,}22 = 14{,}54\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(13.22,14.54)$
- 3 – Zavarivanje LASER
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 204 \cdot 0{,}04 = 9{,}66\ h$

- $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 9{,}66 = 10{,}63\ h$
- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(9.66{,}10.63)$

- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 204 \cdot 0{,}055 = 12{,}72\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 12{,}72 = 13{,}99\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(12.72{,}13.99)$
- 8 – Tokarenje WTW – u opisu zadana vrsta stroja WTW
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2{,}5 + 204 \cdot 0{,}17 = 37{,}18\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 37{,}18 = 40{,}90\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(37.18{,}40.90)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacija skidanje srha
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 204 \cdot 0{,}03 = 6{,}12\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 6{,}12 = 6{,}73\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(6.12{,}6.73)$

- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 204 \cdot 0{,}015 = 3{,}26\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 3{,}26 = 3{,}59\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(3.26{,}3.59)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 7{,}70 + 204 \cdot 0{,}365 = 82{,}16\ h$

5.1.21. Proizvod 21

Re	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	54	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	54	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	54	0	0		0	
4	40805 | Glodanje grla do met.	54	1,5	0,05		54	
5	41005 | Metalizacija grla ručno	54	0,033	0,19		0	
6	41405 | Glodanje grla po met. SL	54	2	0,09		54	
7	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	54	3,5	0,24		54	+ ut.na p.+ oz.navoja
8	43405 | Vertikalno glodanje	54	0,25	0,1		52	vertikalno (pal glodalo) + kanalići 10x0,4 + gr.
9	43705 | Glodanje zazora pod kutem	54	0,25	0,05		54	V zazori
10	44205 | Glodanje zazora	54	0,3	0,04		0	zazori sa čela
11	45405 | Skidanje srha	54	0	0,03		52	
12	45505 | Turpijanje bridova	54	0,1	0,01		51	
13	47405 | Dorada navoja	54	0	0,018		52	
14	48705 | Graviranje oznaka	54	0,2	0,015		0	
			8,143	0,833			

Slika 73 Podaci proizvoda 21 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 54 \cdot 0{,}05 = 4{,}2\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}2 = 4{,}62\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.2{,}4.62)$
- 12 – Kooperacija zavarivanje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}033 + 54 \cdot 0{,}19 = 10{,}29\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 10{,}29 = 11{,}32\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(10.29{,}11.32)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 54 \cdot 0{,}09 = 6{,}86h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 6{,}86 = 7{,}55\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(6.86{,}7.55)$
- 7 – Tokarenje NT – u opisu operacije utori na prizmi i oznake navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 54 \cdot 0{,}24 = 16{,}46\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 16{,}46 = 18{,}11\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(16.46{,}18.11)$
- 9 – Završno glodanje – operacije vertikalno glodanje, glodanje zazora pod kutom i glodanje zazora
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 0{,}25 + 0{,}3 + 54 \cdot (0{,}1 + 0{,}05 + 0{,}04) = 11{,}06\ h$

- $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 11{,}06 = 12{,}17\ h$
- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(11.06{,}12.17)$

- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha, turpijanje bridova i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}1 + 54 \cdot (0{,}03 + 0{,}01 + 0{,}018) = 3{,}13\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 3{,}13 = 3{,}44\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(3.13{,}3.44)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 54 \cdot 0{,}015 = 1{,}01\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}01 = 1{,}11\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.01{,}1.11)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 8{,}133 + 54 \cdot 0{,}833 = 53{,}12\ h$

5.1.22. Proizvod 22

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	79	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	79	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	79	0	0		0	
4	40805 | Glodanje grla do met.	79	1,5	0,09		79	
5	41105 | Metalizacija grla na robotu	79	0,25	0,153		79	
6	41405 | Glodanje grla po met. SL	79	0,5	0,08		79	
7	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	79	3,5	0,21		79	+ ut.na p.
8	43405 | Vertikalno glodanje	79	0,25	0,1		79	utori 1,5 dubine + kanalići 10x0,4 + gr.
9	43705 | Glodanje zazora pod kutem	79	0,25	0,065		76	V zazori 3,5 min.
10	43905 | Glodanje poprečnih zazora	79	0,25	0,02		0	zazori sa prednje strane 10x0,03/0,05
11	45405 | Skidanje srha	79	0	0,03		76	
12	45505 | Turpijanje bridova	79	0	0,008		76	
13	47405 | Dorada navoja	79	0	0,04		76	
14	48705 | Graviranje oznaka	79	0,2	0,015		0	
			6,71	0,811			

Slika 74 Podaci proizvoda 22 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 79 \cdot 0{,}09 = 8{,}61\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 8{,}61 = 9{,}47\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(8.61{,}9.47)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 79 \cdot 0{,}153 = 12{,}34\ h$

- $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 12{,}34 = 13{,}57\ h$
- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(12.34{,}13.57)$

- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}5 + 79 \cdot 0{,}08 = 6{,}82\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 6{,}82 = 7{,}50\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(6.82{,}7.50)$
- 7 – Tokarenje NT – u opisu operacija utori na prizmi
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 79 \cdot 0{,}21 = 20{,}09\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 20{,}09 = 22{,}1\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(20.09{,}22.1)$
- 9 – Završno glodanje – operacije vertikalno glodanje, glodanje zazora pod kutom i glodanje poprečnih zazora
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 0{,}25 + 0{,}25 + 79 \cdot (0{,}1 + 0{,}065 + 0{,}02) = 15{,}37\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 15{,}37 = 16{,}91\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(15.37{,}16.91)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha, turpijanje bridova i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 79 \cdot (0{,}03 + 0{,}08 + 0{,}04) = 6{,}16\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 6{,}16 = 6{,}78\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(6.16{,}6.78)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 79 \cdot 0{,}015 = 1{,}39\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}39 = 1{,}53\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.39{,}1.53)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 6{,}70 + 79 \cdot 0{,}811 = 70{,}77\ h$

5.1.23. Proizvod 23

Re	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	64	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	64	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	64	0	0		0	
4	40905 | Glodanje grla do met. LASER	64	1,5	0,04		64	
5	41205 | Metalizacija grla na laseru	64	1,5	0,07		64	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	64	2	0,09		64	
7	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	64	3,5	0,24		64	prizma na grubo + utori str strana
8	45305 | Vertikalno+ horizontalno glodanje	64	0,5	0,2		62	vertikalno + pop rupe + gravura + utori na prizmi
9	32005 | Tokarenje prednje strane grla s navojem i glodanjem prizm	64	1	0,1		62	Prednja str na fino
10	43705 | Glodanje zazora pod kutem	64	0,25	0,04		62	
11	45405 | Skidanje srha	64	0	0,03		62	
12	45505 | Turpijanje bridova	64	0	0,02		62	
13	47405 | Dorada navoja	64	0	0,018		62	
14	48705 | Graviranje oznaka	64	0,2	0,015		26	
			10,46	0,863			

Slika 75 Podaci proizvoda 23 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 64 \cdot 0{,}04 = 4{,}06\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}06 = 4{,}47\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.06{,}4.47)$
- 3 – Zavarivanje LASER
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 64 \cdot 0{,}07 = 5{,}98\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}98 = 6{,}58\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(5.98{,}6.58)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 64 \cdot 0{,}09 = 7{,}76\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}76 = 8{,}54\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.76{,}8.54)$
- 7 – Tokarenje NT – u opisu operacija utori stražnja strana
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 64 \cdot 0{,}24 = 18{,}86\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 18{,}86 = 20{,}75\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(18.86{,}20.75)$
- 9 – Završno glodanje – operacija vertikalno + horizontalno glodanje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}5 + 64 \cdot 0{,}2 = 13{,}3\ h$

- $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 13{,}3 = 14{,}63\ h$
- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(13.3{,}14.63)$

- 6 – Tokarenje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1 + 64 \cdot 0{,}1 = 7{,}4\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}4 = 8{,}14\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.4{,}8.14)$
- 9 – Završno glodanje – operacija glodanje zazora pod kutom
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 64 \cdot 0{,}04 = 2{,}81h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 2{,}81 = 3{,}09\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(2.81{,}3.09)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha, turpijanje bridova i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 64 \cdot (0{,}03 + 0{,}02 + 0{,}018) = 4{,}35\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}35 = 4{,}79\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.35{,}4.79)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 64 \cdot 0{,}015 = 1{,}16\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}16 = 1{,}28\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.16{,}1.28)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 10{,}45 + 64 \cdot 0{,}863 = 65{,}68\ h$

5.1.24. Proizvod 24

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	156	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	156	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	156	0	0		0	
4	30105 | Razrez materijala	156	0,1	0,01		156	
5	30205 | Bušenje za prihvat	156	0,1	0,03		156	
6	40805 | Glodanje grla do met.	156	1,5	0,09		156	
7	41105 | Metalizacija grla na robotu	156	0,25	0,153		156	
8	41405 | Glodanje grla po met. SL	156	2	0,1		156	+kosina 15°
9	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	156	3,5	0,175		156	WTW; +utori str strana
10	45405 | Skidanje srha	156	0	0,02		151	
11	47405 | Dorada navoja	156	0	0,018		151	
12	48705 | Graviranje oznaka	156	0,2	0,015		0	
			7,66	0,611			

Slika 76 Podaci proizvoda 24 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 1 – Razrez materijala + bušenje za prihvat
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}1 + 0{,}1 + 156 \cdot (0{,}01 + 0{,}03) = 6{,}44\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 6{,}44 = 7{,}08\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(6.44{,}7.08)$
- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 156 \cdot 0{,}09 = 15{,}54\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 15{,}54 = 17{,}09\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(15.54{,}17.09)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 156 \cdot 0{,}153 = 24{,}12\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 24{,}12 = 26{,}53\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(24.12{,}26.53)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 156 \cdot 0{,}1 = 17{,}6\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 17{,}6 = 19{,}36\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(17.6{,}19.36)$
- 8 – Tokarenje WTW – u opisu zadana vrsta stroja WTW
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 156 \cdot 0{,}175 = 30{,}8\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 30{,}8 = 33{,}88\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(30.8{,}33.88)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 156 \cdot (0{,}02 + 0{,}018) = 5{,}93\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}93 = 6{,}52\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(5.93{,}6.52)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 156 \cdot 0{,}015 = 2{,}54\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 2{,}54 = 2{,}79h$

- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(2.54,2.79)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 7{,}65 + 156 \cdot 0{,}611 = 102{,}97\ h$

5.1.25. Proizvod 25

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	156	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	156	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	156	0	0		0	
4	40805 | Glodanje grla do met.	156	1,5	0,055		154	
5	41105 | Metalizacija grla na robotu	156	0,25	0,153		156	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	156	2	0,08		154	
7	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	156	3,5	0,165		153	WTW; + tok. utor prednje strane + R20 + popr.rupe
8	43905 | Glodanje poprečnih zazora	156	0,3	0,06		136	
9	45405 | Skidanje srha	156	0	0,03		152	
10	47405 | Dorada navoja	156	0	0,018		149	
11	48705 | Graviranje oznaka	156	0,2	0,015		0	
			7,76	0,576			

Slika 77 Podaci proizvoda 25 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 156 \cdot 0{,}055 = 10{,}08\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 10{,}08 = 11{,}09\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(10.08,11.09)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 156 \cdot 0{,}153 = 24{,}12\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 24{,}12 = 26{,}53\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(24.12,26.53)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 156 \cdot 0{,}08 = 14{,}48\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 14{,}48 = 15{,}93\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(14.48,15.93)$
- 8 – Tokarenje WTW – u opisu zadana vrsta stroja WTW
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 156 \cdot 0{,}165 = 29{,}24\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 29{,}24 = 32{,}16\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(29.24,32.16)$

- 9 – Završno glodanje – operacija glodanje poprečnih zazora
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}3 + 156 \cdot 0{,}06 = 9{,}66\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 9{,}66 = 10{,}63\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(9.66{,}10.63)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 156 \cdot (0{,}03 + 0{,}018) = 7{,}49\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}49 = 8{,}24\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.49{,}8.24)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 156 \cdot 0{,}015 = 2{,}54\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 2{,}54 = 2{,}79\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(2.54{,}2.79)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 7{,}75 + 156 \cdot 0{,}576 = 97{,}61\ h$

5.1.26. Proizvod 26

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	54	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	54	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	54	0	0		0	
4	40805 | Glodanje grla do met.	54	1,5	0,05		54	
5	41105 | Metalizacija grla na robotu	54	0,25	0,153		54	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	54	2	0,1		54	
7	42305 | Tokarenje grla bez navoja metalizirano- Twin	54	2,5	0,21		54	+ utori na prizmi
8	45405 | Skidanje srha	54	0	0,02		52	
9	48705 | Graviranje oznaka	54	0,2	0,015		52	
			6,46	0,548			

Slika 78 Podaci proizvoda 26 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 54 \cdot 0{,}05 = 4{,}2\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}2 = 4{,}62\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.2{,}4.62)$
- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 54 \cdot 0{,}153 = 8{,}51\ h$

- $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 8{,}51 = 9{,}36\ h$
- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(8.51{,}9.36)$

- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 54 \cdot 0{,}1 = 7{,}4\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}4 = 8{,}14\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.4{,}8.14)$
- 7 – Tokarenje NT – u opisu operacija utora na prizmi
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2{,}5 + 54 \cdot 0{,}21 = 13{,}84\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 13{,}84 = 15{,}22\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(13.84{,}15.22)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacija skidanje srha
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 54 \cdot 0{,}02 = 1{,}08\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}08 = 1{,}19\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.08{,}1.19)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 54 \cdot 0{,}015 = 1{,}01\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}01 = 1{,}11\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.01{,}1.11)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 6{,}45 + 54 \cdot 0{,}548 = 36{,}04\ h$

5.1.27. Proizvod 27

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	134	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	134	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	134	0	0		125	
4	40905 | Glodanje grla do met. LASER	134	2	0,07		134	
5	41205 | Metalizacija grla na laseru	134	1,5	0,08		134	
6	41305 | Glodanje grla po met. B	134	2	0,15		133	
7	42405 | Tokarenje grla- multitasking	134	6	0,31		133	Izrada bez navoja zbog kasno pripremljenih pločica za navoj
8	42505 | 3D glodanje grla	134	0,2	0,092		133	osl za prsten 5 min.
9	42605 | Glodanje navoja- Mikron	134	1	0,1		132	
10	43505 | Bočno glodanje grla	134	0,25	0,1		131	Raditi nakon izrade navoja 5,5 min.
11	45405 | Skidanje srha	134	0	0,045		132	
12	45505 | Turpijanje bridova	134	0	0,03		132	
13	47405 | Dorada navoja	134	0	0,054		132	
14	48705 | Graviranje oznaka	134	0,2	0,015		0	
			13,16	1,046			

Slika 79 Podaci proizvoda 27 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 134 \cdot 0{,}07 = 11{,}38\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 11{,}38 = 12{,}52\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(11.38{,}12.52)$
- 3 – Zavarivanje LASER
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 134 \cdot 0{,}08 = 12{,}22\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 12{,}22 = 13{,}44\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(12.22{,}13.44)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 134 \cdot 0{,}15 = 22{,}1\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 22{,}1 = 24{,}31\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(22.1{,}24.31)$
- 6 – Tokarenje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 6 + 134 \cdot 0{,}31 = 47{,}54\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 47{,}54 = 52{,}29\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(47.54{,}52.29)$
- 9 – Završno glodanje – operacije 3D glodanje grla, glodanje navoja i bočno glodanje grla
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 1 + 0{,}25 + 134 \cdot (0{,}092 + 0{,}1 + 0{,}1) = 43{,}46\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 43{,}46 = 47{,}81\ h$

- $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(43.46,47.81)$

- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha, turpijanje bridova i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 134 \cdot (0{,}045 + 0{,}03 + 0{,}054) = 17{,}29\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 17{,}29 = 19{,}02\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(17.29,19.02)$

- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 134 \cdot 0{,}015 = 2{,}21\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 2{,}21 = 2{,}43\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(2.21,2.43)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 13{,},35 + 134 \cdot 1{,}066 = 156{,}19\ h$

5.1.28. Proizvod 28

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	64	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	64	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	64	0	0		0	
4	30105 | Razrez materijala	64	0,1	0,01		64	
5	30205 | Bušenje za prihvat	64	0,1	0,03		64	
6	40805 | Glodanje grla do met.	64	1,5	0,045		64	
7	41105 | Metalizacija grla na robotu	64	0,25	0,135		64	
8	41405 | Glodanje grla po met. SL	64	2	0,09		64	
9	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	64	3,5	0,22		64	+ utori na prizmi + ovalno !!! obavezno!
10	43905 | Glodanje poprečnih zazora	64	0,3	0,02		0	
11	45405 | Skidanje srha	64	0	0,02		62	
12	47405 | Dorada navoja	64	0	0,018		62	
13	48705 | Graviranje oznaka	64	0,2	0,015		0	
			7,96	0,603			

Slika 80 Podaci proizvoda 28 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 1 – Razrez materijala + bušenje za prihvat
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}1 + 0{,}1 + 64 \cdot (0{,}01 + 0{,}03) = 2{,}76\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 2{,}76 = 3{,}04\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(2.76,3.04)$

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1{,}5 + 64 \cdot 0{,}045 = 4{,}38\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 4{,}38 = 4{,}82\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(4.38,4.82)$

- 2 – Zavarivanje robot
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}25 + 64 \cdot 0{,}135 = 8{,}89\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 8{,}89 = 9{,}78\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(8.89{,}9.78)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 64 \cdot 0{,}09 = 7{,}76\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}76 = 8{,}54h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.76{,}8.54)$
- 7 – Tokarenje NT– u opisu operacije utori na prizmi i ovalno glodanje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 3{,}5 + 64 \cdot 0{,}22 = 17{,}58\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 17{,}58 = 19{,}34\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(17.58{,}19.34)$
- 9 – Završno glodanje – operacija glodanje poprečnih zazora
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}3 + 64 \cdot 0{,}02 = 1{,}58\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}58 = 1{,}74\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.58{,}1.74)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 64 \cdot (0{,}02 + 0{,}018) = 2{,}43\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 2{,}43 = 2{,}67\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(2.43{,}2.67)$
- 11 – Graviranje
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 64 \cdot 0{,}015 = 1{,}16\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 1{,}16 = 1{,}28\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(1.16{,}1.28)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 7{,}95 + 64 \cdot 0{,}603 = 46{,}54\ h$

5.1.29. Proizvod 29

Re	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količin	Opis
1	8000 | Vaganje komada	154	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	154	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	154	0	0		0	
4	40905 | Glodanje grla do met. LASER	154	1	0,05		154	Pazi, šira priprema za domet od standardne!
5	41205 | Metalizacija grla na laseru	154	0,5	0,06		154	Pazi, šira priprema za domet od standardne!
6	41305 | Glodanje grla po met. B	154	2	0,08		154	
7	42205 | Tokarenje grla s navojem metalizirano- Twin	154	0,5	0,155		154	WTW; + ovalno + kosina na prizmi + ut.na p.
8	45405 | Skidanje srha	154	0	0,03		153	
9	47405 | Dorada navoja	154	0	0,018		153	
10	48705 | Graviranje oznaka	154	0,2	0,015		0	
			4,21	0,408			

Slika 81 Podaci proizvoda 29 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 4 – Glodanje DOMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 1 + 154 \cdot 0{,}05 = 8{,}7h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 8{,}7 = 9{,}57\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(8.7{,}9.57)$
- 3 – Zavarivanje LASER
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}5 + 154 \cdot 0{,}06 = 9{,}74\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 9{,}74 = 10{,}71\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(9.74{,}10.71)$
- 5 – Glodanje POMET
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 154 \cdot 0{,}08 = 14{,}32\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 14{,}32 = 15{,}75\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(14.32{,}15.75)$
- 8 – Tokarenje WTW – u opisu zadana vrsta stroja WTW
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}5 + 154 \cdot 0{,}155 = 24{,}37\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 24{,}37 = 26{,}81\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(24.37{,}26.81)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha i dorada navoja
  - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0 + 154 \cdot (0{,}03 + 0{,}018) = 7{,}39\ h$
  - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 7{,}39 = 8{,}13\ h$
  - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(7.39{,}8.13)$

- 11 – Graviranje
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}2 + 154 \cdot 0{,}015 = 2{,}51\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 2{,}51 = 2{,}76\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(2.51{,}2.76)$

Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 4{,}20 + 154 \cdot 0{,}408 = 67{,}03\ h$

5.1.30. Proizvod 30

R	Operacija	Količin	Tpz	Tk	Korek	Količina	Opis
1	8000 | Vaganje komada	104	0,01	0		1	
2	8005 | Završna kontrola	104	0	0		0	
3	8006 | Pranje i ispuhivanje grla	104	0	0		0	
4	40305 | Glodanje (falcanje) grla B	104	2	0,1		104	+ utor 6,35
5	42405 | Tokarenje grla- multitasking	104	7	0,42		104	(WTW čista Bronca 15'30'')
6	45405 | Skidanje srha	104	0	0,02		102	
7	47105 | Dorada uvučenog dijela navoja	104	0,1	0,02		101	
8	47405 | Dorada navoja	104	0,1	0,018		101	
			9,21	0,578			

Slika 82 Podaci proizvoda 30 [6]

Redoslijed faza i vremena proizvodnje po fazama:

- 5 – Glodanje POMET
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 2 + 104 \cdot 0{,}1 = 12{,}4\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 12{,}4 = 13{,}64\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(12.4{,}13.64)$
- 8 – Tokarenje WTW – u opisu zadana vrsta stroja WTW
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 7 + 104 \cdot 0{,}42 = 50{,}68\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 50{,}68 = 55{,}75\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(50.68{,}55.75)$
- 10 – Dorada i ručna obrada - operacije skidanje srha, dorada uvučenog dijela navoja i dorada navoja
    - $T_1 = T_{pz} + n \cdot T_k = 0{,}1 + 0{,}1 + 104 \cdot (0{,}02 + 0{,}02 + 0{,}018) = 6{,}23\ h$
    - $T_2 = 1{,}1 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 6{,}23 = 6{,}85\ h$
    - $T = Uniform(T_1, T_2) = Uniform(6.23{,}6.85)$
- Ukupno minimalno vrijeme izrade proizvoda: $T_{uk} = \sum T_{pz} + n \cdot \sum T_k = 9{,}20 + 104 \cdot 0{,}578 = 69{,}31\ h$

5.2. Verifikacija i validacija modela

Kao što je u poglavlju 3.4.6. navedeno, verifikacija je proces kojim je potrebno potvrditi da simulacijski model radi ispravno i da su ulazni parametri i logičke strukture modela ispravne. Puštanjem simulacije modela vidi se da svi proizvodi slijede korake koji su navedeni, odnosno simulacijski model se odvija na zamišljen način te realno opisuje fizički sustav proizvodnje pa zbog toga nije potrebno dodatno izmjenjivati model.

Procesom validacije potrebno je potvrditi da je model točan. Validacija je izvršena na način da se kroz simulaciju puštao jedan po jedan proizvod, tj. prvo se puštao samo proizvod 1 dok su ostali proizvodi bili odspojeni pa se nakon njega puštao samo proizvod 2 pa samo proizvod 3 itd. Model se je također i verificirao na taj način jer je pokazano da proizvodi slijede korake proizvodnje po planu proizvodnje. Isto su tako u tablicu vremena izrade na pojedinoj fazi unesene konkretne vrijednosti, a ne vrijednosti kroz uniformnu razdiobu. To je napravljeno iz razloga da bi se moglo promatrati ponašaju li se proizvodi u simulaciji po izračunatom modelu. Nadalje, na taj način se vidi prati li svaki proizvod korake koji su mu zadani te da li mu je vrijeme prolaska kroz simulaciju jednako izračunatom ukupnom minimalnom vremenu izrade pojedinog proizvoda. Puštanjem simulacije za svaki proizvod je vidljivo da prati korake koji su mu zadani te simulacijski model zadovoljava ovaj zahtjev. U nastavku na slikama 83, 84, 85 i 86 su dani podaci vremena izrade svakog proizvoda kada se je samo taj proizvod puštao kroz simulaciju te je usporedbom s izračunatim vrijednostima u poglavljima od 5.1.1 do 5.1.30. vidljivo da se ti podaci poklapaju.

Ovim postupcima je vidljivo da je zadovoljena validacija modela te se u idućem podnaslovu opisuje analiza modela.

Experiment Report

Experiment information

Model:	Provjera modela.mod
Observation period:	12960000
Warmup period:	0
Number of replications:	5
Simulation method:	Separate runs
Description:	

Vrijeme proizvodnje 1

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	76.34	76.34	76.34	76.34

Vrijeme proizvodnje 2

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	95.79	95.79	95.79	95.79

Vrijeme proizvodnje 3

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	48.78	48.78	48.78	48.78

Vrijeme proizvodnje 4

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	50.37	50.37	50.37	50.37

Vrijeme proizvodnje 5

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	74.04	74.04	74.04	74.04

Vrijeme proizvodnje 6

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	143.84	143.84	143.84	143.84

Vrijeme proizvodnje 7

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	228.03	228.03	228.03	228.03

Vrijeme proizvodnje 8

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	146.17	146.17	146.17	146.17

Provjera modela.mod
29.10.2020.

Page 1

Slika 83 Vremena proizvodnje za validaciju 1

Experiment Report

Experiment information

Model:	Provjera modela.mod
Observation period:	12960000
Warmup period:	0
Number of replications:	5
Simulation method:	Separate runs
Description:	

Vrijeme proizvodnje 9

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	13.23	13.23	13.23	13.23

Vrijeme proizvodnje 10

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	11.70	11.70	11.70	11.70

Vrijeme proizvodnje 11

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	97.07	97.07	97.07	97.07

Vrijeme proizvodnje 12

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	39.84	39.84	39.84	39.84

Vrijeme proizvodnje 13

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	111.85	111.85	111.85	111.85

Vrijeme proizvodnje 14

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	61.52	61.52	61.52	61.52

Vrijeme proizvodnje 15

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	93.27	93.27	93.27	93.27

Vrijeme proizvodnje 16

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	140.14	140.14	140.14	140.14

Provjera modela.mod
29.10.2020.

Page 2

Slika 84 Vremena proizvodnje za validaciju 2

Experiment Report

Experiment information

Model:	Provjera modela.mod
Observation period:	12960000
Warmup period:	0
Number of replications:	5
Simulation method:	Separate runs
Description:	

Vrijeme proizvodnje 17

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	133.11	133.11	133.11	133.11

Vrijeme proizvodnje 18

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	66.85	66.85	66.85	66.85

Vrijeme proizvodnje 19

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	81.44	81.44	81.44	81.44

Vrijeme proizvodnje 20

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	82.16	82.16	82.16	82.16

Vrijeme proizvodnje 21

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	53.11	53.12	53.12	53.12

Vrijeme proizvodnje 22

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	70.77	70.77	70.77	70.77

Vrijeme proizvodnje 23

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	65.68	65.68	65.68	65.68

Vrijeme proizvodnje 24

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	102.97	102.97	102.97	102.97

Provjera modela.mod
29.10.2020.

Page 3

Slika 85 Vremena proizvodnje za validaciju 3

Experiment Report

Experiment information

Model:	Provjera modela.mod
Observation period:	12960000
Warmup period:	0
Number of replications:	5
Simulation method:	Separate runs
Description:	

Vrijeme proizvodnje 25

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	97.61	97.61	97.61	97.61

Vrijeme proizvodnje 26

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	36.04	36.04	36.04	36.04

Vrijeme proizvodnje 27

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	156.19	156.19	156.19	156.19

Vrijeme proizvodnje 28

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	46.54	46.54	46.54	46.54

Vrijeme proizvodnje 29

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	67.03	67.03	67.03	67.03

Vrijeme proizvodnje 30

	Average	Standard Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Vrijeme(sati)	0	0	69.31	69.31	69.31	69.31

Provjera modela.mod
29.10.2020.

Page 4

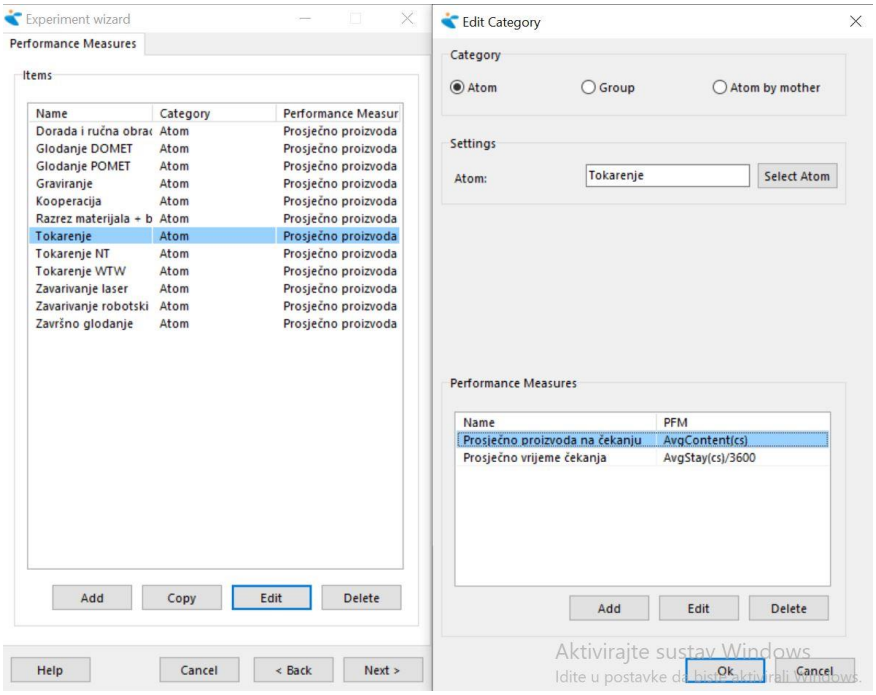
Slika 86 Vremena proizvodnje za validaciju 4

5.3. Analiza rezultata simulacije modela trenutnog proizvodnog procesa

Analiza modela je izvršena na način da se promatraju grupe strojeva, odnosno atomi „Queue“ koji opisuju određene grupe strojeve te se pokuša uočiti na kojim grupama strojeva se grupira najviše proizvoda. To je urađeno pomoću „Experiment Wizard“ u programu Enterprise Dynamics. Postavke Experiment Wizarda dane su u nastavku na slikama 87 i 88.



Slika 87 Postavke Experiment Wizarda 1



Slika 88 Postavke Experiment Wizarda 2

Experiment Wizard radi na način da pusti simulaciju u rad određen broj puta na točno određeno vrijeme. Za ovaj slučaj uzeto je vrijeme od 720 sati, odnosno 30 dana što bi značilo da se promatra proizvodnja jednog mjeseca pošto tvrtka radi sve dane u tri smjene. Također je odabrano da se simulacija pusti u rad 5 puta te se onda gleda prosječna vrijednost tih pet slučajeva. Na slici 88 vidljive su postavke za grupu strojeva tokarenje, no za sve ostale grupe strojeva su jednake postavke. U postavkama je vidljivo da se prati „Prosječno proizvoda na čekanju“ s naredbom AvgContent(cs) koja prati koliko se proizvoda prosječno nalazi na tom atomu. Druga vrijednost koja se prati je „Prosječno vrijeme čekanja“ sa naredbom AvgStay(cs)/3600. Ona prati koliko proizvod obično čeka na tom atomu prije nego što nastavi dalje kroz simulaciju, a vrijednost je podijeljena s 3600 da bi se dobila vrijednost u satima.

U nastavku na slici 89 prikazani su dobiveni podaci o prosječnom vremenu čekanja i prosječnom broju proizvoda na čekanju za trenutnu proizvodnju u tvrtki. Na slici je vidljivo da je najveći broj proizvoda prosječno na čekanju na grupi strojeva zavarivanje robotski i laser te na tokarenju WTW. Zbog tih dugih čekanja na tim grupama strojeva dolazi do zastoja proizvodnje. Također je u nastavku na slici 90 prikazan dio izvješća, odnosno „Summary report“ izrađen u programu na kojem je moguće vidjeti iskoristivosti pojedinih strojeva, a na njima se može vidjeti da su strojevi najiskorišteniji upravo na ovim fazama gdje se dešava najveći zastoj, dok su najmanje iskorišteni na fazi razreza materijala i običnog tokarenja. Na slici su iskoristivosti prikazane zelenim slovima u trećem stupcu. Zbog svega navedenog prijedlog preinake proizvodnog sustava je uvođenje dodatnih strojeva na faze tokarenja WTW i zavarivanja laserski i robot, a više o tome u idućem podnaslovu.

Atom : Dorada i ručna obrada

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02
Prosječno vrijeme čekanja	0.02	0.01	0.00	0.03	0.01	0.04

Atom : Glodanje DOMET

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	4.33	0.13	4.16	4.50	4.16	4.46
Prosječno vrijeme čekanja	4.00	0.12	3.84	4.15	3.84	4.12

Atom : Glodanje POMET

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	5.40	0.29	5.04	5.76	5.15	5.88
Prosječno vrijeme čekanja	5.94	0.32	5.54	6.34	5.66	6.47

Atom : Graviranje

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.04	0.02	0.02	0.06	0.02	0.06
Prosječno vrijeme čekanja	0.07	0.03	0.03	0.11	0.03	0.11

Atom : Kooperacija

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prosječno vrijeme čekanja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Atom : Razrez materijala + bušenje za prihvat

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.34	0.00	0.34	0.34	0.34	0.34
Prosječno vrijeme čekanja	1.16	0.00	1.15	1.16	1.15	1.17

Atom : Tokarenje

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prosječno vrijeme čekanja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Atom : Tokarenje NT

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.28	0.02	0.25	0.31	0.25	0.31
Prosječno vrijeme čekanja	0.82	0.07	0.73	0.91	0.72	0.91

Atom : Tokarenje WTW

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	68.42	0.13	68.27	68.58	68.27	68.56
Prosječno vrijeme čekanja	196.05	1.49	194.20	197.89	193.75	197.20

Atom : Zavarivanje laser

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	38.81	0.37	38.35	39.26	38.33	39.20
Prosječno vrijeme čekanja	132.11	1.27	130.54	133.68	130.30	133.67

Atom : Zavarivanje robotski

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	74.36	0.34	73.94	74.79	74.01	74.93
Prosječno vrijeme čekanja	126.40	0.75	125.47	127.32	125.72	127.64

Atom : Završno glodanje

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	3.97	0.70	3.10	4.84	3.05	4.61
Prosječno vrijeme čekanja	7.11	1.25	5.56	8.66	5.46	8.19

Slika 89 Vrijednosti čekanja trenutne proizvodnje.

PR400	0	0.313	73	73	11128.617
PR300	0	0.308	65	65	12273.160
PR301	0	0.297	72	72	10681.295
R400	1	0.995	35	34	75211.150
R401	1	0.987	33	32	78069.176
R402	1	0.991	32	31	81482.847
R403	1	0.995	33	32	77844.048
R404	1	0.988	32	31	82182.555
L400	1	0.994	65	64	39685.309
L401	1	0.992	64	63	40531.784
G400	1	0.978	74	73	34467.419
G401	1	0.972	60	59	42508.211
G402	1	0.993	56	55	46618.720
G403	1	0.971	68	67	36963.879
G404	1	0.984	67	66	38182.265
G405	1	0.982	63	62	40708.043
G406	1	0.967	77	76	32934.670
G407	1	0.982	69	68	36319.259
G408	1	0.976	62	61	41273.499
G409	1	0.978	71	70	35848.258
G410	1	0.973	62	61	40733.516
G411	1	0.981	58	57	43805.683
G412	1	0.975	72	71	35122.014
G413	1	0.976	61	60	41425.060
G420	1	0.986	61	60	42083.155
G421	1	0.993	55	54	46953.544
G422	1	0.985	62	61	41505.371
G423	1	0.982	68	67	37365.025
G424	1	0.962	66	65	37216.014
G425	1	0.964	73	72	34495.390
G426	1	0.986	70	69	36467.751
G427	1	0.980	59	58	43656.955
T400	1	0.470	15	14	81843.455
T401	0	0.444	15	15	76734.925
T402	0	0.250	12	12	53937.300
T403	0	0.385	12	12	83181.164
T420	0	0.348	9	9	100151.568
T421	0	0.222	8	8	71885.453
T422	0	0.239	10	10	62074.758
T423	1	0.175	5	4	84191.545
T424	0	0.316	8	8	102273.265
T425	1	0.442	16	15	75739.814
T426	1	0.345	12	11	73310.822
T427	0	0.253	7	7	93708.150
T428	0	0.304	11	11	71665.563
T429	0	0.123	6	6	53090.412
T404	1	0.872	32	31	72218.616
T405	1	0.851	31	30	71529.763
T406	0	0.823	34	34	62703.974
T407	1	0.841	30	29	70173.163
T408	1	0.886	29	28	81709.832
T409	1	0.807	30	29	69515.296
T410	1	0.854	30	29	75407.623
T411	1	0.884	28	27	84539.987
T432	1	0.971	16	15	158887.537

Slika 90 Izvješće iskoristivosti strojeva

5.4. Prijedlozi preinaka proizvodnog sustava u svrhu unapređenja procesa

5.4.1. Uvođenje dodatnih strojeva fazama uskog grla

Kao što je već navedeno kao preinaka predloženo je uvođenje dodatnih strojeva WTW tokarilica i robota, odnosno lasera za zavarivanje. Konkretnije u simulacijski model je u grupu tokarenja WTW dodano dodatnih 9 strojeva što bi povećalo kapacitet za 150% odnosno s

trenutnih 6 na 15 strojeva. U grupi strojeva zavarivanje robotski dodano je 5 strojeva, a u grupu zavarivanje laser dodano je 2 stroja. Puštanjem simulacije i korištenjem Experiment Wizarda dobiveni su podaci prikazani na slici 91.

Atom :	Dorada i ručna obrada					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.06	0.02	0.03	0.08	0.03	0.09
Prosječno vrijeme čekanja	0.08	0.03	0.04	0.11	0.04	0.11
Atom :	Glodanje DOMET					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	5.77	0.11	5.64	5.91	5.62	5.88
Prosječno vrijeme čekanja	5.33	0.10	5.21	5.45	5.19	5.42
Atom :	Glodanje POMET					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	103.56	1.00	102.32	104.81	102.23	104.57
Prosječno vrijeme čekanja	83.71	0.88	82.61	84.80	82.55	84.67
Atom :	Graviranje					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.10	0.02	0.08	0.12	0.09	0.12
Prosječno vrijeme čekanja	0.16	0.03	0.13	0.20	0.14	0.20
Atom :	Kooperacija					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prosječno vrijeme čekanja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Atom :	Razrez materijala + bušenje za prihvat					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.34	0.00	0.34	0.34	0.34	0.34
Prosječno vrijeme čekanja	1.16	0.00	1.16	1.16	1.16	1.17
Atom :	Tokarenje					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prosječno vrijeme čekanja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Atom :	Tokarenje NT					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.27	0.03	0.23	0.31	0.22	0.31
Prosječno vrijeme čekanja	0.81	0.10	0.69	0.93	0.68	0.93
Atom :	Tokarenje WTW					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	3.55	0.38	3.07	4.02	2.95	4.01
Prosječno vrijeme čekanja	10.11	1.14	8.70	11.52	8.36	11.51
Atom :	Zavarivanje laser					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.06	0.01	0.05	0.06	0.05	0.06
Prosječno vrijeme čekanja	0.20	0.02	0.18	0.22	0.18	0.22
Atom :	Zavarivanje robotski					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.76	0.11	0.62	0.89	0.69	0.95
Prosječno vrijeme čekanja	1.30	0.18	1.07	1.53	1.18	1.63
Atom :	Završno glodanje					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	19.03	0.37	18.57	19.49	18.62	19.43
Prosječno vrijeme čekanja	31.24	0.48	30.64	31.84	30.50	31.73

Slika 91 Vrijednosti čekanja proizvodnje nakon prve preinake

Na slici 91 vidljivo je da su na navedenim fazama znatno smanjila prosječna vremena čekanja i prosječan broj proizvoda na čekanju, no došlo je do velikog porasta tih vrijednosti na fazama glodanja POMET i završnog glodanja. Zbog toga se predlaže novo uvođenje dodatnih strojeva te povećanje kapaciteta na grupama strojeva glodanja i završnog glodanja.

5.4.2. Uvođenje dodatnih strojeva novonastalim fazama uskog grla

Zbog toga što je uvođenje strojeva riješilo usko grlo na fazama tokarenja WTW, zavarivanja robotski i zavarivanja laser, ali je dovelo do pojave uskog grla proizvodnje na drugim fazama, zamišljeno je još jedno povećanje broja strojeva na grupi strojeva za glodanje POMET i završno glodanje, odnosno nadogradnja uvođenja dodatnih strojeva na fazama tokarenja WTW, zavarivanja robotski i zavarivanja laser. Grupi strojeva završno glodanje dodano je novih 5 strojeva što je povećanje kapaciteta za 50 % s dosadašnjih 10 na novih 15 strojeva, a na fazi glodanje POMET dodano je novih 5 strojeva. Pošto strojeve sa faze glodanje POMET koristi i faza glodanje DOMET može se očekivati i smanjenje vremena čekanja na toj grupi strojeva. U nastavku je slika sa vrijednostima čekanja i broja proizvoda na čekanju nakon ove nadogradnje. Na slici 92 je vidljivo da se je prosječan broj proizvoda na čekanju, a i samo vrijeme čekanja smanjilo na fazama glodanja POMET i završnog glodanja no došlo je opet do velikog povećanja tih vrijednosti na fazama tokarenja WTW i tokarenja NT. Zato se opet predlaže nadogradnja novim strojevima te povećanje kapaciteta upravo na tim fazama. Iz podataka je također vidljivo da su čekanja na ostalim fazama minimalna.

Atom :	Dorada i ručna obrada					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.49	0.08	0.39	0.58	0.39	0.59
Prosječno vrijeme čekanja	0.51	0.08	0.41	0.61	0.41	0.63

Atom :	Glodanje DOMET					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	2.40	0.07	2.32	2.49	2.31	2.47
Prosječno vrijeme čekanja	2.22	0.06	2.14	2.30	2.13	2.28

Atom :	Glodanje POMET					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	4.42	0.16	4.22	4.62	4.28	4.68
Prosječno vrijeme čekanja	3.61	0.13	3.45	3.78	3.50	3.82

Atom :	Graviranje					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.20	0.01	0.18	0.21	0.19	0.22
Prosječno vrijeme čekanja	0.25	0.02	0.23	0.27	0.24	0.28

Atom :	Kooperacija					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prosječno vrijeme čekanja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Atom :	Razrez materijala + bušenje za prihvat					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.34	0.00	0.34	0.34	0.34	0.34
Prosječno vrijeme čekanja	1.16	0.00	1.16	1.16	1.16	1.16

Atom :	Tokarenje					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prosječno vrijeme čekanja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Atom :	Tokarenje NT					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	21.32	0.14	21.14	21.50	21.17	21.52
Prosječno vrijeme čekanja	47.43	0.22	47.16	47.70	47.25	47.70

Atom :	Tokarenje WTW					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	40.02	0.25	39.70	40.33	39.78	40.45
Prosječno vrijeme čekanja	82.78	0.54	82.11	83.45	82.37	83.68

Atom :	Zavarivanje laser					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.10	0.01	0.09	0.11	0.09	0.11
Prosječno vrijeme čekanja	0.34	0.03	0.30	0.38	0.30	0.37

Atom :	Zavarivanje robotski					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.83	0.05	0.76	0.89	0.75	0.89
Prosječno vrijeme čekanja	1.42	0.09	1.31	1.53	1.28	1.53

Atom :	Završno glodanje					
	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.52	0.07	0.43	0.61	0.43	0.60
Prosječno vrijeme čekanja	0.72	0.10	0.59	0.85	0.60	0.83

Slika 92 Vrijednosti čekanja proizvoda nakon druge preinake

5.4.3. Treće uvođenje dodatnih strojeva novonastalim fazama uskog grla

U trećem uvođenju dodatnih strojeva predloženo je povećanje kapaciteta na fazama tokarenja NT i tokarenja WTW. Važno je reći da ovaj dodatak ovisi o prijašnja dva dodavanja te ako bi se odradio samostalno ne bi dao iste rezultate. Točnije, grupi strojeva tokarenje NT dodana su 4 nova stroja, tj. povećanje kapaciteta za 50 %, odnosno s trenutnih 8 na novih 12 strojeva, dok se tokarenju WTW dodaje novih 6 strojeva, što je sada ukupno 21 takav stroj što je veliko povećanje s obzirom na trenutno stvarnih 6.

Na slici 93 prikazane su vrijednosti čekanja na svim fazama nakon ovog uvođenja dodatnih strojeva. Vidljivo je da se čekanje na fazama tokarenja NT i tokarenja WTW smanjio na minimalne vrijednosti, dok se je čekanje povećalo na fazama dorade i ručne obrade te završnog glodanja. Stoga se opet predlaže uvođenje dodatnih strojeva i radnih mjesta, tj. povećanje kapaciteta na fazama dorade i ručne obrade te završnog glodanja.

Atom :	Dorada i ručna obrada					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	6.49	0.41	5.99	6.99	5.97	6.85
Prosječno vrijeme čekanja	5.91	0.39	5.43	6.39	5.41	6.27

Atom :	Glodanje DOMET					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	2.30	0.07	2.21	2.38	2.20	2.39
Prosječno vrijeme čekanja	2.12	0.06	2.04	2.20	2.03	2.20

Atom :	Glodanje POMET					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	4.32	0.08	4.22	4.42	4.25	4.45
Prosječno vrijeme čekanja	3.53	0.07	3.45	3.61	3.47	3.64

Atom :	Graviranje					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.36	0.04	0.31	0.41	0.32	0.42
Prosječno vrijeme čekanja	0.41	0.05	0.35	0.47	0.37	0.48

Atom :	Kooperacija					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prosječno vrijeme čekanja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Atom :	Razrez materijala + bušenje za prihvat					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.34	0.00	0.34	0.34	0.34	0.34
Prosječno vrijeme čekanja	1.16	0.01	1.16	1.17	1.15	1.17

Atom :	Tokarenje					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prosječno vrijeme čekanja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Atom :	Tokarenje NT					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Prosječno vrijeme čekanja	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01

Atom :	Tokarenje WTW					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	1.24	0.14	1.06	1.42	1.00	1.37
Prosječno vrijeme čekanja	2.65	0.31	2.27	3.03	2.13	2.93

Atom :	Zavarivanje laser					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.10	0.02	0.08	0.12	0.08	0.12
Prosječno vrijeme čekanja	0.34	0.05	0.27	0.40	0.29	0.42

Atom :	Zavarivanje robotski					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.84	0.07	0.76	0.93	0.74	0.93
Prosječno vrijeme čekanja	1.45	0.12	1.30	1.60	1.27	1.61

Atom :	Završno glodanje					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	7.55	0.26	7.23	7.88	7.27	7.92
Prosječno vrijeme čekanja	9.25	0.36	8.81	9.69	8.79	9.70

Slika 93 Vrijednosti čekanja proizvodnje nakon treće preinake

5.4.4. Model preporučenog unaprjeđenja proizvodnog procesa

Model preporučenog unaprjeđenja proizvodnog procesa sadrži uvođenje dodatnih strojeva iz poglavlja 5.4.1. do 5.4.3. te povećavanja kapaciteta iz ovog poglavlja na fazama završnog glodanja i na fazi dorade i ručne obrade. Također se zbog niske iskoristivosti strojeva na fazama

razreza materijala i tokarenja predlaže smanjenje kapaciteta tih strojeva za unaprjeđenje proizvodnog procesa. Konkretno, za kraj se grupi strojeva završno glodanje dodaje još 2 stroja što bi značilo da se od početnog stanja i 10 strojeva kapacitet povećava prvo na 15 strojeva te ovim posljednjim uvođenjem dodatnih strojeva na ukupno 17 strojeva, a na fazi dorade i ručne obrade dodaju se 2 radna mjesta što znači da se kapaciteti povećavaju s 10 na 12 radnih mjesta. Na fazi razreza materijala smanjuje se broj strojeva s 3 na 1, dok se na fazi tokarenja smanjuje broj strojeva za 7 na sada 9 strojeva u toj fazi. U nastavku su dani podaci vremena čekanja i izvješća iskoristivosti strojeva predloženog unaprjeđenja proizvodnog procesa.

Na slici 94 u nastavku su vidljivi podaci o prosječnom broju proizvoda na čekanju kao i o prosječnim vremenima tih čekanja. Vidljivo je da niti na jednoj fazi te vrijednosti nisu velike, odnosno da su na svim fazama vremena čekanja manja od 3 sata osim na fazi razreza materijala, ali tamo je i mali prosječan broj proizvoda na čekanju pa su vrijednosti prihvatljive.

Na slikama 95 i 96 prikazane su iskoristivosti strojeva u trećem stupcu zelenim slovima. Vidljivo je da su iskoristivosti većinom oko 90 %, dok ima manji broj strojeva kojima je iskoristivost između 75 % i 90 %. Nakon unaprjeđenja procesa više nema strojeva sa malom iskoristivosti.

Kako više nema posebno velikih vremena čekanja na nekim fazama ili grupiranja velikog broja proizvoda koji čekaju obradu, a nema ni strojeva sa malom iskoristivosti može se zaključiti da nema više mogućnosti za nadograđivanje pomoću kojeg bi se dobile značajno velike promjene.

Atom :	Dorada i ručna obrada					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.39	0.02	0.37	0.41	0.37	0.41
Prosječno vrijeme čekanja	0.35	0.01	0.34	0.37	0.33	0.37

Atom :	Glodanje DOMET					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	2.52	0.13	2.35	2.68	2.31	2.62
Prosječno vrijeme čekanja	2.32	0.12	2.17	2.47	2.14	2.41

Atom :	Glodanje POMET					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	3.50	0.09	3.39	3.61	3.39	3.63
Prosječno vrijeme čekanja	2.86	0.07	2.77	2.96	2.78	2.97

Atom :	Graviranje					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.53	0.05	0.46	0.59	0.48	0.60
Prosječno vrijeme čekanja	0.58	0.06	0.50	0.65	0.52	0.65

Atom :	Kooperacija					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prosječno vrijeme čekanja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Atom :	Razrez materijala + bušenje za prihvat					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	1.99	0.01	1.98	1.99	1.98	1.99
Prosječno vrijeme čekanja	6.82	0.02	6.79	6.84	6.79	6.84

Atom :	Tokarenje					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.18	0.03	0.15	0.22	0.15	0.22
Prosječno vrijeme čekanja	0.57	0.09	0.46	0.68	0.47	0.70

Atom :	Tokarenje NT					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.96	0.04	0.90	1.01	0.89	1.01
Prosječno vrijeme čekanja	2.16	0.10	2.03	2.28	2.00	2.27

Atom :	Tokarenje WTW					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	1.39	0.20	1.14	1.63	1.13	1.67
Prosječno vrijeme čekanja	2.95	0.42	2.43	3.46	2.41	3.55

Atom :	Zavarivanje laser					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.08	0.01	0.07	0.09	0.06	0.08
Prosječno vrijeme čekanja	0.26	0.03	0.23	0.29	0.22	0.29

Atom :	Zavarivanje robotski					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	1.14	0.08	1.03	1.24	1.01	1.23
Prosječno vrijeme čekanja	1.96	0.14	1.78	2.14	1.74	2.12

Atom :	Završno glodanje					
	Average	St.Deviatic	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0.29	0.03	0.25	0.33	0.26	0.34
Prosječno vrijeme čekanja	0.36	0.03	0.32	0.39	0.33	0.41

Slika 94 Vrijednosti čekanja proizvodnje nakon konačne preinake

PR400	0	0.924	210	210	11400.979
R400	1	0.969	31	30	82820.328
R401	1	0.972	35	34	73375.970
R402	0	0.934	27	27	89684.909
R403	1	0.977	35	34	74141.394
R404	1	0.931	33	32	72650.634
L400	1	0.785	54	53	37183.058
L401	1	0.875	49	48	46806.913
G400	1	0.965	65	64	38994.540
G401	1	0.959	57	56	44321.258
G402	1	0.962	57	56	43603.628
G403	1	0.963	54	53	46287.257
G404	1	0.954	66	65	37631.456
G405	1	0.977	65	64	38858.233
G406	1	0.956	62	61	40484.633
G407	1	0.934	61	60	39638.927
G408	0	0.979	59	59	43004.613
G409	1	0.971	56	55	45369.430
G410	1	0.961	54	53	45997.522
G411	1	0.983	50	49	51568.314
G412	1	0.963	68	67	37173.409
G413	1	0.952	69	68	35583.324
G420	1	0.968	53	52	48061.806
G421	1	0.971	57	56	44132.313
G422	1	0.954	66	65	37885.355
G423	1	0.973	53	52	47893.505
G424	0	0.972	65	65	38777.153
G425	1	0.964	63	62	40019.893
G426	1	0.942	66	65	37125.169
G427	1	0.963	61	60	40737.579
T400	1	0.800	24	23	86245.509
T401	1	0.820	26	25	84323.107
T402	1	0.883	20	19	113600.488
T403	1	0.850	26	25	87863.137
T420	1	0.840	31	30	69700.779
T421	1	0.816	30	29	72623.959
T422	1	0.877	24	23	96835.450
T423	1	0.839	28	27	73987.887
T424	1	0.851	21	20	109896.114
T404	1	0.888	34	33	69650.736
T405	1	0.913	32	31	74093.131
T406	1	0.926	32	31	76799.502
T407	1	0.893	31	30	75417.388
T408	1	0.914	34	33	70937.483
T409	1	0.926	38	37	64563.812
T410	1	0.898	32	31	74181.948
T411	1	0.822	27	26	78528.970
T432	1	0.914	17	16	142425.111
T433	1	0.880	16	15	147280.277
T434	1	0.881	16	15	140999.658
T435	1	0.892	15	14	152628.876
T436	1	0.895	16	15	151337.417
T437	1	0.895	17	16	135727.665
G450	1	0.795	42	41	47239.443
G451	1	0.816	37	36	58684.515

Slika 95 Izvješće iskoristivosti strojeva nakon preinake 1

G452	1	0.757	34	33	54284.947
G453	1	0.798	31	30	67319.663
G454	1	0.797	39	38	52966.037
G455	1	0.834	33	32	67476.261
G456	1	0.800	34	33	56460.938
G457	1	0.845	33	32	67561.321
G458	1	0.774	30	29	66246.249
G460	1	0.779	41	40	49888.536
RM1	1	0.757	52	51	37800.417
RM2	1	0.697	66	65	26971.283
RM3	1	0.751	58	57	33906.118
RM4	1	0.734	69	68	27905.345
RM5	1	0.719	69	68	26880.808
RM6	1	0.736	77	76	25072.405
RM7	1	0.752	78	77	25275.283
RM8	1	0.784	68	67	29780.628
RM9	1	0.759	67	66	29318.228
RM10	1	0.776	64	63	31779.222
GR300	1	0.674	234	233	7476.841
GR301	0	0.636	216	216	7634.321
GR302	0	0.666	211	211	8180.821
R405	1	0.953	33	32	73221.243
R411	1	0.954	32	31	78707.429
R414	1	0.966	38	37	67579.125
WTW nadograd.1	1	0.946	16	15	161197.228
WTW nadograd.2	1	0.889	16	15	150038.795
WTW nadograd.3	1	0.881	15	14	155722.796
WTW nadograd.4	1	0.877	14	13	163946.292
WTW nadograd.5	1	0.904	16	15	147882.729
WTW nadograd.6	1	0.930	17	16	145341.875
WTW nadograd.7	1	0.943	16	15	159062.331
WTW nadograd.8	1	0.879	16	15	145983.002
WTW nadograd.9	1	0.907	15	14	165635.391
Robot nadogr.1	1	0.934	26	25	95534.695
Robot nadogr.2	1	0.948	34	33	73599.270
Robot nadogr.3	1	0.972	34	33	72404.319
Robot nadogr.4	1	0.952	29	28	87804.139
Robot nadogr.5	1	0.963	31	30	82884.008
LASER nadogr.1	1	0.800	56	55	37125.155
LASER nadogr.2	1	0.800	50	49	41907.162
Zavr. nadogr.1	1	0.822	29	28	74380.142
Zavr. nadogr.2	1	0.793	32	31	65413.634
Zavr. nadogr.3	1	0.820	34	33	64121.625
Zavr. nadogr.4	1	0.851	28	27	81574.393
Zavr. nadogr.5	1	0.812	39	38	54282.374
Glod. nadogr.1	1	0.961	72	71	33896.946
Glod. nadogr.2	1	0.960	70	69	35774.667
Glod. nadogr.3	1	0.943	63	62	39274.387
Glod. nadogr.4	1	0.978	66	65	38827.454
Glod. nadogr.5	0	0.956	63	63	39352.257
NT. nadogr.1	0	0.853	28	28	78992.292
NT. nadogr.2	1	0.898	32	31	74981.175
NT. nadogr.3	1	0.881	16	15	150418.423
NT. nadogr.4	1	0.901	15	14	164083.807
WTW nadogr.10	1	0.951	17	16	149498.525
WTW nadogr.11	1	0.932	17	16	144178.206
WTW nadogr.12	1	0.904	17	16	139224.668
WTW nadogr.13	1	0.924	14	13	168670.444
WTW nadogr.14	1	0.904	16	15	147882.729
WTW nadogr.15	1	0.889	16	15	150038.795
Zavr. nadogr.6	1	0.786	35	34	59128.557
Zavr. nadogr.7	1	0.820	31	30	66076.788
Ruč. nadogr.1	1	0.727	63	62	30096.777
Ruč. nadogr.2	0	0.742	69	69	27878.534

Slika 96 Izvješće iskoristivosti strojeva nakon preinake 2

5.5. „Što ako“ simulacija promijenjenog vremena generiranja proizvoda

U ovom poglavlju opisana je provedba simulacije u slučaju kad se povećava vrijeme generiranja proizvoda, odnosno vrijeme dolazaka proizvoda u proizvodni proces u simulaciji. U dosadašnjoj verziji simulacije vremena dolaska svih proizvoda, odnosno serija proizvoda, bile su 24 sata kao što je vidljivo na slici 47 koja pokazuje postavke jednog proizvoda, tj. atoma „Product“. U ovoj „što ako“ simulaciji vremena dolaska proizvoda su različita za sve proizvode i ona se postavljaju na vrijeme potrebno za izradu određenog proizvoda. Vremena po proizvodima su postavljena po vremenima izračunatima u poglavljima 5.1.1. do 5.1.30. Točnije, simulacija se postavlja na način da nova serija proizvoda 1 dođe tek nakon što je prva serija tog proizvoda izrađena i tako redom sve serije. U prošlom poglavlju bilo je izrađeno unaprjeđenje procesa na način da se smanji vrijeme proizvodnje povećano uslijed nepotrebnih čekanja na određenim fazama. No, ako se poveća vrijeme između dolazaka serija u proizvodni proces to čekanje na pojedinim fazama bi se moglo izbjeći pa je u ovoj simulaciji proučen upravo takav slučaj. Simulacija modela je odrađena na istim postavkama kao što je već navedeno prilikom opisa modela trenutnog proizvodnog procesa, osim što je umjesto vremena dolaska od 24 sata, vrijeme dolaska pojedine serije postavljeno na vrijeme izrade te serije što bi značilo da nova serija dolazi u proces tek kad se prva serija tog proizvoda proizvede.

Rezultati su vidljivi na slikama 97 i 98. Na slici 97 prikazana su prosječna vremena čekanja na pojedinim grupama strojeva i prosječan broj proizvoda koji čekaju na fazu, a na slici 98 prikazane su iskoristivosti strojeva na isječku izvješća o provedenoj simulaciji iz programa Enterprise Dynamics. Iz slike 97 vidljivo je da su čekanja nepostojeća ili minimalna što bi značilo da proizvodni proces nema zastoja, odnosno sadašnji kapaciteti su dovoljni za nesmetanu proizvodnju, odnosno proizvodnju bez nepotrebnih čekanja. Na slici 98 u trećem stupcu zelenom bojom su označene iskoristivosti strojeva te je vidljivo da su te iskoristivosti strojeva male, odnosno većina strojeva ima iskoristivost oko 40 %, neki i manji, dok je jedino na fazi tokarenja WTW (T432 do T437) povećana iskoristivost od 80 %. Ta faza se u prvom slučaju, odnosno u postavkama na način da proizvodi stižu u proizvodnju svakih 24 sata, pokazala kao prvo usko grlo, odnosno faza koju je prvu trebalo nadograditi da se smanji vrijeme čekanja i da se vrijeme proizvodnje što više smanji i približi izračunatim vremenima proizvodnje.

Atom : Dorada i ručna obrada

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0	0	0	0	0	0
Prosječno vrijeme čekanja	0	0	0	0	0	0

Atom : Glodanje DOMET

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01
Prosječno vrijeme čekanja	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01

Atom : Glodanje POMET

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01
Prosječno vrijeme čekanja	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01

Atom : Graviranje

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0	0	0	0,01	0	0,01
Prosječno vrijeme čekanja	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01

Atom : Kooperacija

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0	0	0	0	0	0
Prosječno vrijeme čekanja	0	0	0	0	0	0

Atom : Razrez materijala + bušenje za prihvat

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01
Prosječno vrijeme čekanja	0,06	0	0,06	0,06	0,06	0,06

Atom : Tokarenje

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0	0	0	0	0	0
Prosječno vrijeme čekanja	0	0	0	0	0	0

Atom : Tokarenje NT

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01
Prosječno vrijeme čekanja	0,03	0	0,02	0,03	0,02	0,03

Atom : Tokarenje WTW

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0,56	0,01	0,54	0,57	0,54	0,57
Prosječno vrijeme čekanja	4,14	0,09	4,03	4,25	4,01	4,24

Atom : Zavarivanje laser

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0,07	0	0,07	0,08	0,07	0,08
Prosječno vrijeme čekanja	0,83	0,04	0,78	0,88	0,78	0,87

Atom : Zavarivanje robotski

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0,02	0	0,01	0,02	0,02	0,02
Prosječno vrijeme čekanja	0,08	0,01	0,08	0,09	0,08	0,09

Atom : Završno glodanje

	Average	St.Deviation	LB (95%)	UB (95%)	Minimum	Maximum
Prosječno proizvoda na čekanju	0	0	0	0	0	0
Prosječno vrijeme čekanja	0	0	0	0	0	0

Slika 97 Vrijednosti čekanja proizvodnje „što ako“ simulacije

summary report

name	content current	content average	throughput input	throughput output	staytime average
PR400	0	0.117	49	49	6203.826
PR300	0	0.108	35	35	8009.645
PR301	0	0.136	48	48	7365.770
R400	0	0.390	17	17	59512.994
R401	1	0.482	25	24	51542.209
R402	0	0.345	14	14	63913.448
R403	1	0.502	20	19	66345.882
R404	0	0.365	17	17	55694.773
L400	0	0.390	32	32	31595.867
L401	1	0.402	31	30	33977.235
G400	1	0.350	39	38	23871.910
G401	0	0.373	35	35	27627.573
G402	0	0.377	36	36	27158.583
G403	1	0.377	34	33	29293.204
G404	0	0.379	39	39	25202.455
G405	1	0.490	33	32	38553.443
G406	0	0.447	37	37	31309.753
G407	0	0.355	39	39	23568.914
G408	0	0.384	34	34	29286.182
G409	1	0.380	30	29	33753.870
G410	0	0.244	26	26	24349.087
G411	1	0.343	36	35	25262.229
G412	0	0.379	37	37	26572.044
G413	1	0.355	33	32	28559.873
G420	0	0.359	30	30	31006.217
G421	1	0.354	35	34	26716.511
G422	0	0.312	35	35	23089.798
G423	0	0.430	40	40	27856.828
G424	0	0.422	40	40	27349.324
G425	1	0.331	29	28	29994.303
G426	0	0.369	39	39	24514.328
G427	1	0.286	26	25	29581.362
T400	0	0.158	9	9	45457.856
T401	0	0.068	6	6	29511.188
T402	0	0.088	6	6	38217.814
T403	0	0.180	8	8	58358.474
T420	1	0.098	5	4	19927.023
T421	0	0.133	7	7	49276.057
T422	0	0.137	8	8	44494.548
T423	0	0.105	7	7	39048.842
T424	0	0.108	6	6	46616.933
T425	0	0.200	13	13	39823.642
T426	0	0.217	11	11	51087.085
T427	0	0.124	9	9	35705.165
T428	0	0.122	6	6	52529.593
T429	0	0.162	8	8	52416.174
T404	1	0.522	26	25	52202.228
T405	1	0.482	27	26	44841.183
T406	0	0.502	19	19	68520.895
T407	0	0.398	21	21	49083.239
T408	0	0.489	20	20	63354.262
T409	1	0.394	23	22	45311.978
T410	0	0.515	19	19	70323.962
T411	1	0.405	21	20	49467.727
T432	1	0.838	13	12	173340.927
T433	1	0.875	17	16	137831.474
T434	1	0.806	15	14	145204.410
T435	1	0.833	15	14	149085.010
T436	1	0.835	16	15	141013.059
T437	1	0.843	18	17	128120.471
G450	1	0.346	28	27	32871.431
G451	0	0.391	30	30	33791.270
G452	1	0.473	26	25	46300.191
G453	0	0.409	36	36	29467.034
G454	0	0.369	26	26	36740.888
G455	1	0.408	29	28	35378.737
G456	0	0.336	29	29	30025.721
G457	1	0.330	25	24	35536.315
G458	0	0.297	38	38	20233.754
G460	0	0.479	34	34	36544.387
RM1	0	0.289	44	44	16997.131
RM2	0	0.224	34	34	17048.521
RM3	0	0.281	38	38	19190.390
RM4	0	0.245	33	33	19255.341
RM5	0	0.177	34	34	13465.363
RM6	0	0.289	36	36	20773.254
RM7	1	0.251	37	36	15521.917
RM8	1	0.218	35	34	16472.183
RM9	0	0.253	43	43	15246.008

name	content current	content average	throughput input	throughput output	staytime average
RM10	0	0.191	36	36	13744.130
GR300	0	0.189	113	113	4324.017
GR301	0	0.208	109	109	4953.732
GR302	0	0.226	105	105	5580.880
R405	0	0.480	14	14	88854.492
T430	1	0.254	10	9	69127.843
T431	0	0.214	8	8	69406.683
Kooperacija1	0	0.221	51	51	11251.263
Kooperacija2	0	0.200	59	59	8796.509
Kooperacija3	0	0.226	54	54	10851.375

Model start time	utorak, studeni 17 2020 12:14:22
Model end time	Ä etvrtak, prosinac 17 2020 12:14:22
Runlength (seconds)	2592000.00

End of report.

Slika 98 Izvješće iskoristivosti strojeva „što ako“ simulacije

6. ZAKLJUČAK

Optimalna proizvodnost nekog proizvodnog sustava cilj je svih tvrtki koje se bave proizvodnjom iz razloga ekonomičnosti i zarade. U tu svrhu, simulacije proizvodnih sustava mogu dati uvid u proizvodni proces i prikazati neka uska grla proizvodnje te također prikazati rezultate mogućih nadogradnji. No da bi te simulacije bile uspješne i u potpunosti prikazale realan proizvodni proces, podaci korišteni u simulaciji moraju biti precizni i dobro definirani. Zbog toga što se ovaj rad temelji na dobivenim podacima iz tvrtke te nije bilo moguće detaljnije ispitati i mjeriti pojedina vremena i procese, a i zbog same kompliciranosti planiranja proizvodnje koja ovisi o puno više čimbenika nego o samom proizvodu i vrsti obrade, simulacijski model ima niz pojednostavljenja. Jedan od čimbenika o kojem također ovisi planiranje proizvodnje je iskustvo ljudi zbog kojeg se plan proizvodnje može mijenjati da se izbjegne neiskusne operatere na zahtjevnim proizvodima. Zbog niza pojednostavljenja simulacija se ne može iskoristiti za implementaciju poboljšanja u realni sustav.

Simulacijom trenutnog proizvodnog procesa i analizom tih podataka dobiveni su neki zanimljivi podaci. U prvom slučaju simulacija se promatrala na način da nove serije proizvoda dolaze svakih 24 sata u proizvodni proces. To je odrađeno iz razloga što su u tvrtki nasumično odabrali jedan dan te dali podatke o proizvodima koji se tog dana proizvode u njihovom pogonu pa je zamišljeno da svaki dan dolazi novi asortiman takvih proizvoda. U takvoj simulaciji se pokazalo da postoje velika čekanja na nekim fazama i da je potrebno korak po korak rješavati ta čekanja na način da se na fazi na kojoj postoji čekanje prošire kapaciteti dodatnim strojevima. U radu je to izrađeno kroz 4 koraka dodatnog uvođenja strojeva. No prilikom takvog uvođenja dodatnih strojeva došlo je do velikog smanjenja iskoristivosti strojeva na fazama gdje ne postoji čekanje pa se rješavanjem jednog problema stvorio novi problem koji je riješen na način uklanjanja strojeva iz tih faza, odnosno smanjivanjem kapaciteta na tim fazama. No kako u stvarnom sustavu postoji kapacitet proizvodnje, odnosno svi proizvodi se proizvedu, a dodatnim uvođenjem strojeva zapravo pada iskoristivost strojeva, u svrhu smanjivanja vremena proizvodnje u drugoj „što ako“ simulaciji razmatra se proizvodnja kroz duži period između dolazaka novih serija istih proizvoda u proces. Postavljanjem dolazaka novih serija tek nakon proizvodnje serija istih proizvoda uviđa se da zapravo nema čekanja na pojedinim fazama, a da po iskoristivosti strojeva kapaciteti su dovoljni i za veći obim proizvodnje. Zapravo se prvom varijantom razmatra povećanje broja serija proizvoda kroz vrijeme dolazaka tih serija, točnije serije dolaze brže što znači da ih ima i više, i u toj varijanti dolazi do čekanja na pojedinim

fazama. Iz tih razloga vrlo je bitno kako se definira vrijeme dolazaka novih serija proizvoda u proces proizvodnje jer je vidljivo da imaju veliki utjecaj na odvijanje simulacije i njene rezultate. Točno definirati ta vremena dolaska je teško jer u realnom sustavu isto nemaju točno određene dolaske, a i proizvodi nisu uvijek jednaki nego se razlikuju i po broju komada u seriji i po kompleksnosti izrade, a i samim koracima proizvodnje. Zbog tih razloga dolazi do pojednostavljenja simulacije na način da se uvijek vrti istih 30 proizvoda i broj komada u serijama tih proizvoda, a vremena dolaska su razmatrana kroz dvije simulacije te su razlike između njih vidljive na prvi korak.

Kao što je već i navedeno, zbog pojednostavljenja simulaciju nije moguće implementirati u realan sustav no to se može svrstati općenito u nedostatke simulacije. Nedostaci su da se simulacije može postavljati na više načina i svi će približno opisivati realan sustav, ali je kod kompleksnih sustava vrlo teško opisati sve varijable koje utječu na taj sustav da bi simulacija jednoznačno opisivala željeni sustav. Također, pogrešnom interpretacijom rezultata simulacije može doći do katastrofalnih pogrešaka prilikom implementacije u realni sustav pa je za korištenje simulacije u unapređenju procesa potrebno znanje i iskustvo u izradi takvih simulacija, ali i općenito znanje o sustavu koji se analizira i unapređuje simulacijom.

S druge strane u ovom slučaju je vidljivo da simulacije mogu imati i neke prednosti. Puno je lakše ovakav sustav opisati simulacijski, nego analitički zbog kompleksnosti sustava, odnosno zbog mnogo faza i proizvoda te strojeva što bi zakompliciralo račun, a na ovaj način je prepušteno računalo, tj. simulaciji da obavlja taj račun. Iako zbog pojednostavljenja nije moguća implementacija u realan sustav, prednost je i što je simulacijom moguće vidjeti neka obilježja proizvodnje kao što su najopterećenije faze ili najrasterećenije faze te prilikom planiranja proširenja uzeti u obzir povećanje kapaciteta na tim fazama.

Zaključno, iako je konkretan sustav kompleksan kako analitički, tako i simulacijski za analizu, provođenjem simulacije proizvodnog procesa ove tvrtke te analizom modela simulacija dobiveni su neki rezultati koji se možda ne mogu implementirati u realan sustav, no zasigurno su koristili za proširenje znanja i iskustva autora u ovakvom načinu analize i unapređenja proizvodnih procesa.

LITERATURA

[1] Simulacija, https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=56068,3.11.2020.

[2] OMCO, https://100.fsb.hr/hr/262/OMCO, 3.11.2020.

[3] OMCO-Croatia, http://www.humnasutli.hr/omco-croatia.aspx, 3.11.2020.

[4] Omco Croatia makes moulds for world-famous bottles, https://www.glassonline.com/omco-croatia-makes-moulds-for-world-famous-bottles/, 3.11.2020.

[5] OMCO mould , https://www.omcomould.com/.html, 3.11.2020.

[6] Podaci prikupljeni u tvrtki OMCO Croatia d.o.o.

[7] Walter alati, https://www.walter-tools.com/, 3.11.2020.

[8] Banks, J., Carson II, J.S., Nelson, B.L., Nicol, D.M.: Discrete-Event System Simulation, Prentice Hall, 4. izdanje

[9] Ziegler, B.P.: Theory of Modelling and Simulation, 1976

[10] Grilec, H.: Simulacijski model proizvodnje papirne ambalaže, Dipomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2016.

[11] Lisjak, D.: Predavanja iz kolegija Informatički menadžment, https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/371175/mod_resource/content/4/P_D2_Informaticki%20menadzment%202015%20v1.pdf, 3.11.2020.

[12] Đukić, G.: Predavanja iz kolegija Simulacije proizvodnih i logističkih sustava, https://e-ucenje.fsb.hr/pluginfile.php/64309/mod_folder/content/0/SPLS_2019_hrv.pdf?forcedownload=1, 3.11.2020

[13] Enterprise Dynamics, http://www.incontrolsim.com/en/enterprise-dynamics.html, 3.11.2020.

[14] Enterprise Dynamics Tutorial, http://support.incontrolsim.com, 3.11.2020

[15] Plant Simulation, https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-planning/plant-simulation-throughput-optimization.html, 3.11.2020.

[16] Flex Sim, https://www.flexsim.com/, 3.11.2020.

[17] Arena Simulation, https://www.arenasimulation.com/, 3.11.2020.

[18] Simio, http://www.simio.com/, 18.6.2020.

[19] Vetropack pojmovnik, https://www.vetropack.hr/hr/staklo/pojmovnik/, 4.11.2020.