

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ – МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Мастер академске студије – 1. година

Модул: ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО, шк. год. 2020/2021.

Предмет: Увод у производне системе

Предметни наставник: Доц. др Горан Младеновић

ПРВИ ПРОЈЕКТНИ ЗАДАТАК

Група 1.

Име и презиме студента	Број индекса
Немања Јанев	4004/2020
Стефан Ковач	4003/2020
Јелена Цвијан	4010/2020
Катарина Пантовић	4005/2020
Милош Милетић	4007/2020

Децембар 2020.

Садржај

Увод.....	2
Технолошки поступак.....	4
Операција 1:.....	4
Операција 2.....	5
Операција 3.....	6
Операција 4.....	7
Коришћене машине.....	9
Софтвер Резање.....	10
Пројектовање технолошког система.....	14
Пројектовање диспозиционог плана.....	20
Симулација у програму Any Logic.....	22
Закључак.....	27

Увод

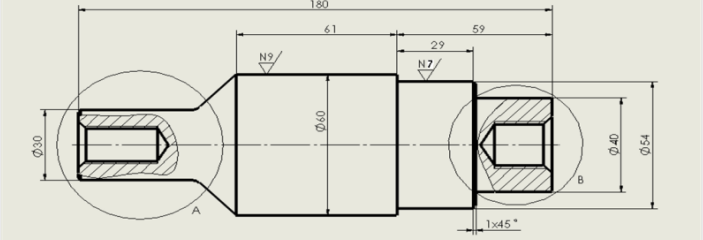
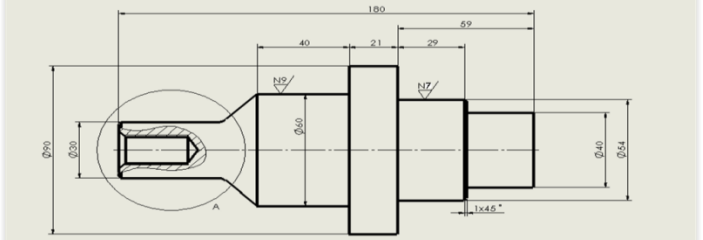
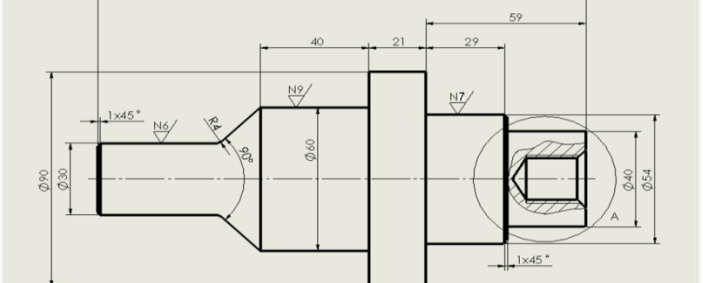
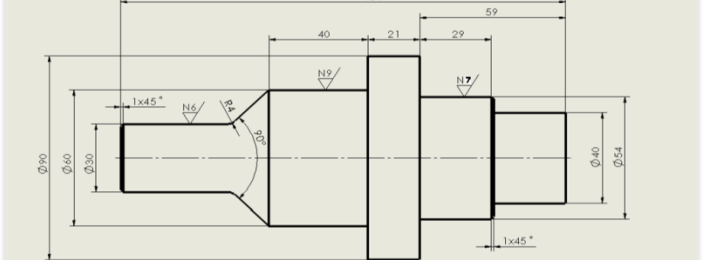
Пројектовање технолошког процеса применом рачунара (CAPP-Computer Aided Process Planning) представља скуп рачунаром подржаних функција које олакшавају пројектанту пројектовање технолошких процеса.

У овом пројектном задатку приказаћемо све кораке потребне за пројектовање и планирање ефикасне производне линије од самог почетка где је потребно да замислимо облик делова које желимо да производимо до симулирања реалног производног система са продоком материјала и надгледањем „уских грла“ .

Овај пројекат ће садржити две пројектне тачке. Прва ће обухватити одређивање операција и захвата потребних за добијање одабраног претставника фамилије, одређивање потребних машина и алата, као и режима обраде да бисмо добили главно време обраде по машини. Друга тачка обухвата анализу флексибилног технолошког система детерминистичком методом, тј. потребно је одредити производност за сваки део из фамилије, искоришћење сваке радне станице, величину система да би се постигла одређена годишња производња, а потом направити предлог диспозиционог плана фабрике и све то имплементирати у симулацију рада тог система у програму AnyLogic, ради лакше анализе квалитета технолошког система.

У Табели 1. дати су технички цртежи делова у фамилији са претставником фамилије у последњој врсти и Opitz и Code код тих делова одрађен по правилима кодирања.

Табела 1. *Фамилија делова са претставником (кодирани)*

Делови Фамилије	Opitz	Code
	2750025 00	1350016 8
	1720025 00	1350017 8
	1720026 10	1350017 8
	1700025 00	1310017 8

Технолошки поступак

Тачка 1.

Операција 1:

4



Слика 1. Операција 1. Одсецање на тестери

Операција 2:

Захват 2: Спољашња попречна груба обрада чеоне равне површине $\phi 100$

Захват 3: Забушивање

Захват 4: Спољашња уздужна груба обрада на пречник $\phi 90$

Захват 5: Спољашња уздужна груба обрада на пречник $\phi 55,6$

Захват 6: Спољашња уздужна груба обрада на пречник $\phi 40$

Захват 7: Спољашња уздужна фина обрада на пречник $\phi 54$

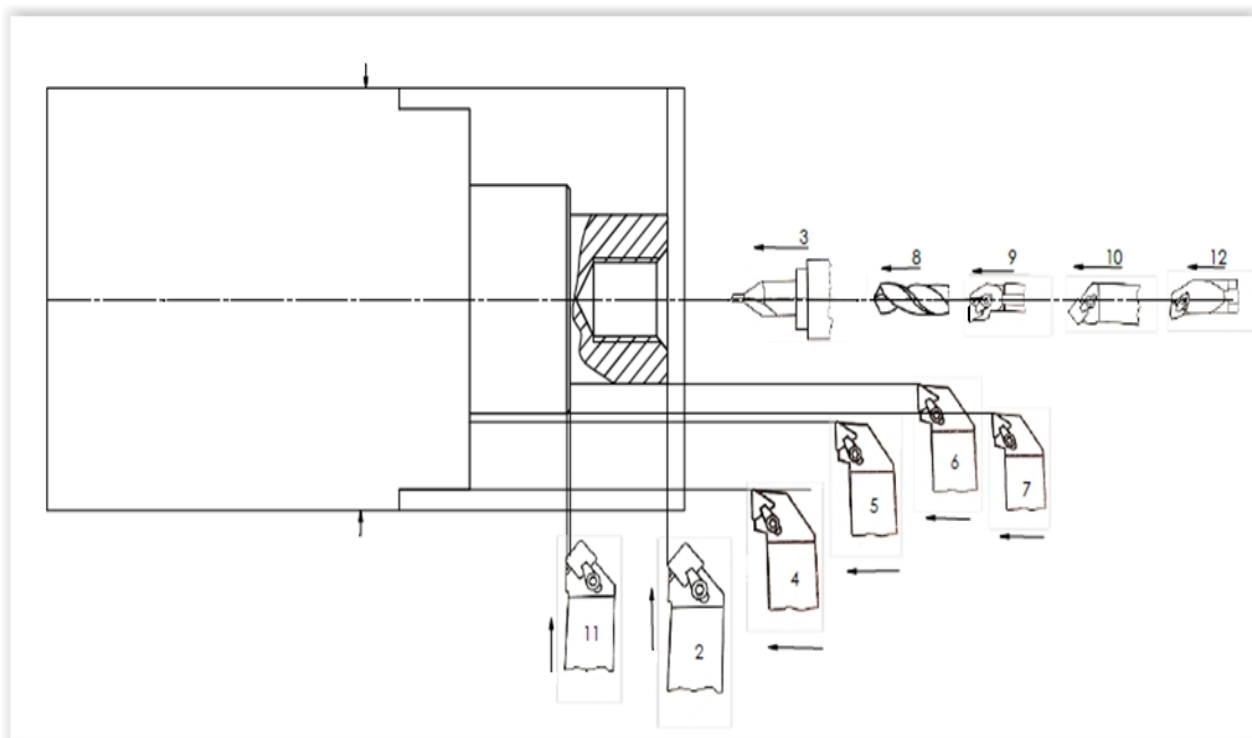
Захват 8: Бушење централног отвора бургијом $\phi 16$

Захват 9: Простругивање централног отвора на пречник $\phi 20$

Захват 10: Обарање ивица $1 \times 45^\circ$

Захват 11: Обарање ивица $1 \times 45^\circ$

Захват 12: Урезивање навоја M20x1mm



Слика 2. Операција 2. Обрада на стругу, прво стезање

Операција 3:

Захват 13: Спољашња попречна груба обрада чеоне равне површине $\phi 100$

Захват 14: Забушивање

Захват 15 Спољашња уздужна груба обрада на пречник $\phi 60$

Захват 16: Спољашња уздужна груба обрада на пречник $\phi 31,4$

Захват 17: Формирање конуса спољашњом уздужном обрадом са $\phi 60$ на $\phi 31,4$

Захват 18: Спољашња уздужна фина обрада на пречник $\phi 30,3$

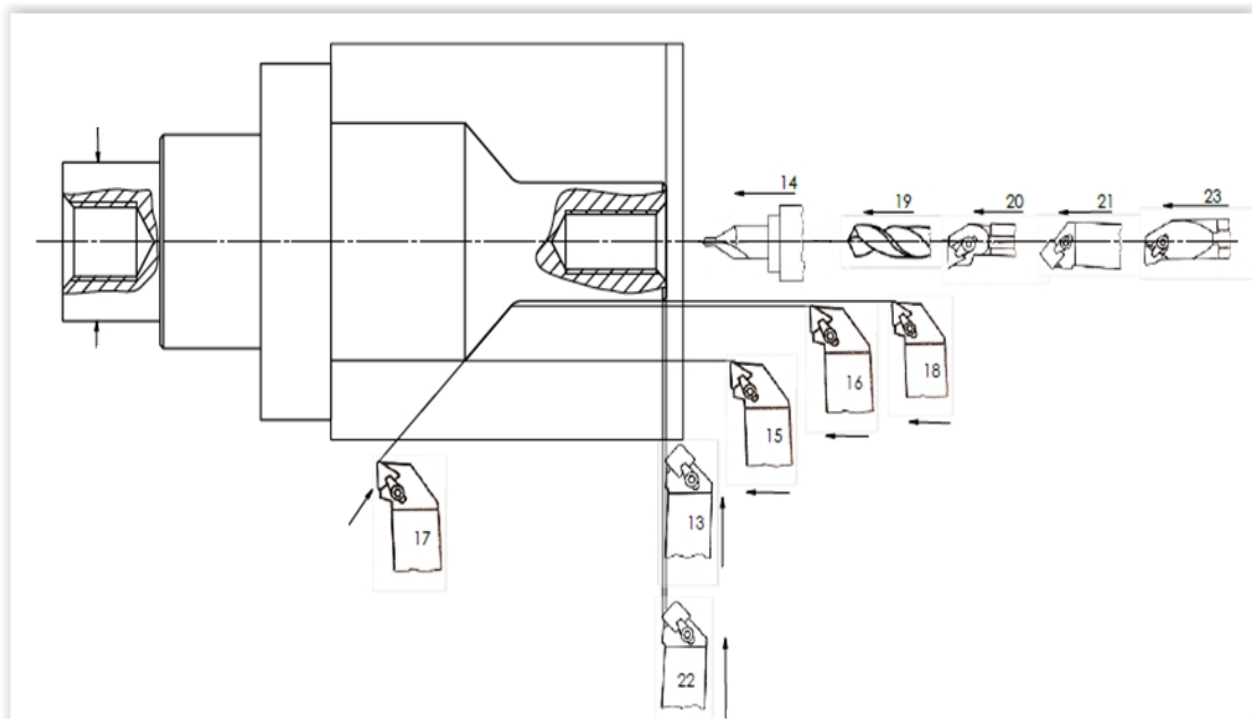
Захват 19: Бушење централног отвора бургијом $\phi 14$

Захват 20: Простругивање централног отвора на пречник $\phi 20$

Захват 21: Обарање ивица $1 \times 45^\circ$

Захват 22: Обарање ивица $1 \times 45^\circ$

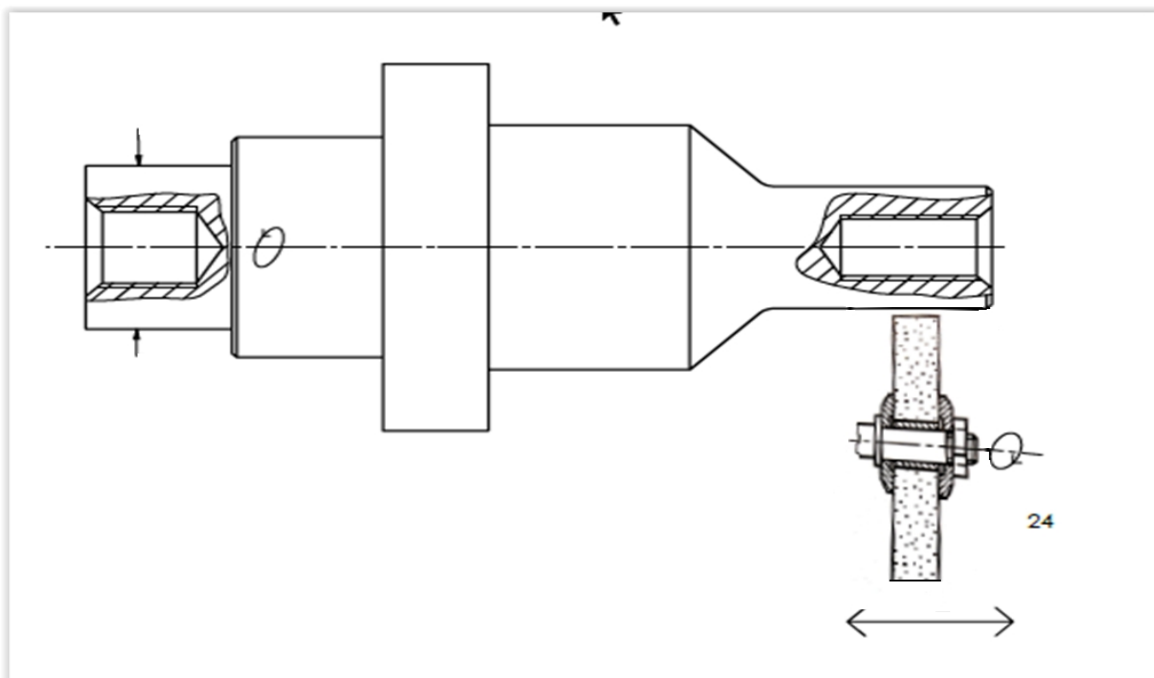
Захват 23: Урезивање навоја М16х1мм



Слика 3. Операција 3. Обрада на стругу, друго стезање

Операција 4:

Захват 24: Спољашње кружно брушење



Слика 4. Операција 4. Обрада на кружној брусилци

Табела 2. Додатци за обраду

Захват	Делта 1	Делта 2	Делта 3
Попречна чеона обрада $\phi 100$ (стезање 2)	2 mm	/	/

Забушивање M20			
Уздужна обрада fi90	4,5 mm	/	/
Уздужна обрада fi54	3,5 mm	1,6 mm	/
Уздужна обрада fi40	3,5 mm	/	/
Бушење fi16			
Простругивање на fi 20	2,4 mm	/	/
Урезивање навоја			
Попречна чеона обрада fi 100 (stezanje 3)	2 mm	/	/
Уздужна обрада fi 60	3,5 mm	/	/
Уздужна обрада fi 30	3 mm	1,3 mm	0,3 mm
Попречна чеона обрада fi 30 na fi 60			
Забушивање M16			
Бушење fi 14			
Простругивање на fi16	1,7 mm	/	/

Precnik obrade	Duzina obrade (mm)	Dubina rezanja a(mm)	Redni broj alata	Broj obrtaja n(o/min)	Broj prolaza	Korak s(mm/o)	Glavno vreme obrade Gt(min)
fi 100	50	5	1	280	1	0,355	0,503
fi 90	80	5	3	315	1	0,25	1,02
fi 55,6	59	8,6	3	600	2	0,355	0,665
fi 40	30	7,8	3	710	2	0,25	0,327
fi 54	29	0,8	3	900	2	0,141	0,476
fi 16	22	busenje	4	400		0,25	0,22
fi 20	22	2	5	1400	1	0,355	0,044
M20	22	Dubine:0.22,0.21, 0.15,0.13,0.11	6		6	urezivanje	0,314
fi 100	50	5	1	280	1	0,355	0,503
fi 60	30	10	3	500	2	0,25	0,640
fi 31,4	45	14,2	3	710	1	0,355	0,179
fi 30,3	45	0,65	3	1600	2	0,14	0,201
fi 14	30	busenje	4	450		0,224	0,298
fi 16	30	1	5	2240	1	0,355	0,038
M16	30	Dubine:0.22,0.21, 0.15,0.13,0.11	7		6	urezivanje	0,3

Табела 3. Режи́ми резања**Табела 4. Списак алата**

Redni broj alata	Naziv	Napadni ugao k	Pomocni napadni ugao	Poluprecnik vrha alata r	Dinamzija drske hxd
------------------	-------	----------------	----------------------	--------------------------	---------------------

			k1		
1.	Noz CSDP	45	45	0,8	20x20
2.	Zabusivac JUS K.D3.061	/	/	d1=1,25	/
3.	Noz CTGP	91	29	0,4	20x20
4.	Burgija fi16	/	/	/	L=120 morze konus
5.	Noz CTFP	91	29	0,8	25x23
6.	Noz S66U	Opseg: 1,5-3	/	/	23x25
7.	Burgija fi14	/	/	/	L=120 morze konus

Коришћене машине:

- Тестера
- NU струг: PH42-CNC POTISJE
- Брусилица: AFC LIVNICA KIKINDA

Коришћени материјал: Č. 1680, Rm=650-660, HB= 192-197

Важно је напоменути да су сви подаци за режиме обраде, додатке за обраду, одабир алата добијани коришћењем програмског пакета Резање направљеног од стране Машинског факултета. У наставку ћемо објаснити основно руковање програмом.

Софтвер Резање

Овај програм је настао са сврхом да убрза инжењерско машинско пројектовање плана обраде, у смислу поједностављивања

прикупљања података, које бисмо иначе морали тражити то разним табелама у приручнику.

На **Слици 5.** је дат главни мени програма Резање из ког се може приступити свим потребним опцијама програма.



Слика 5. Главни мени програма Резање

На почетку пројектовања поступка обраде потребно је прво да дефинишемо додатке за обраду. На **Слици 6.** је приказан интерфејс програма Резање у који улазимо из главног мениа.

Tip proizvodnje	Klasa tačnosti
Pojedinačna-maloserijska	Normalna

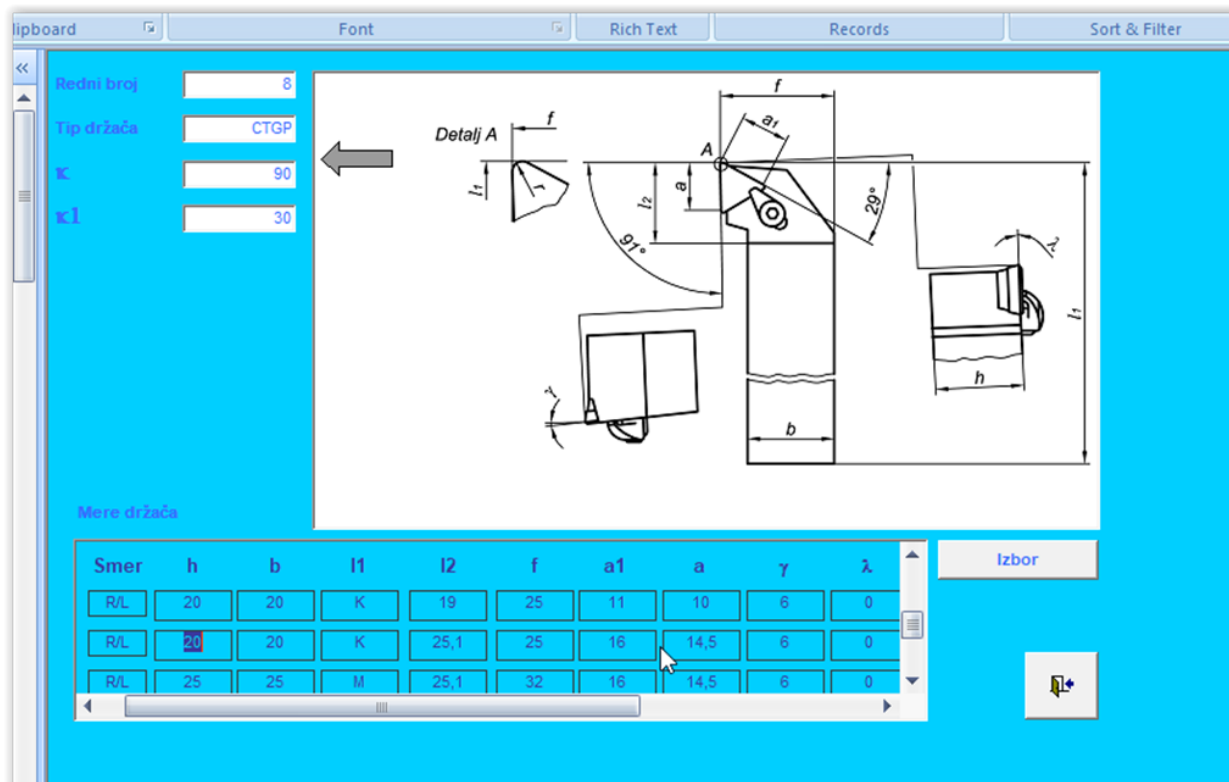
Vrsta obrade	Završna obrada	Ukupna dužina dela	Nazivni prečnik
uzdužna sp	brusenje	190	30

Max prečnik dela	Prečnik polufabrikata

δ1	δ2	δ3
3	1,3	0,3

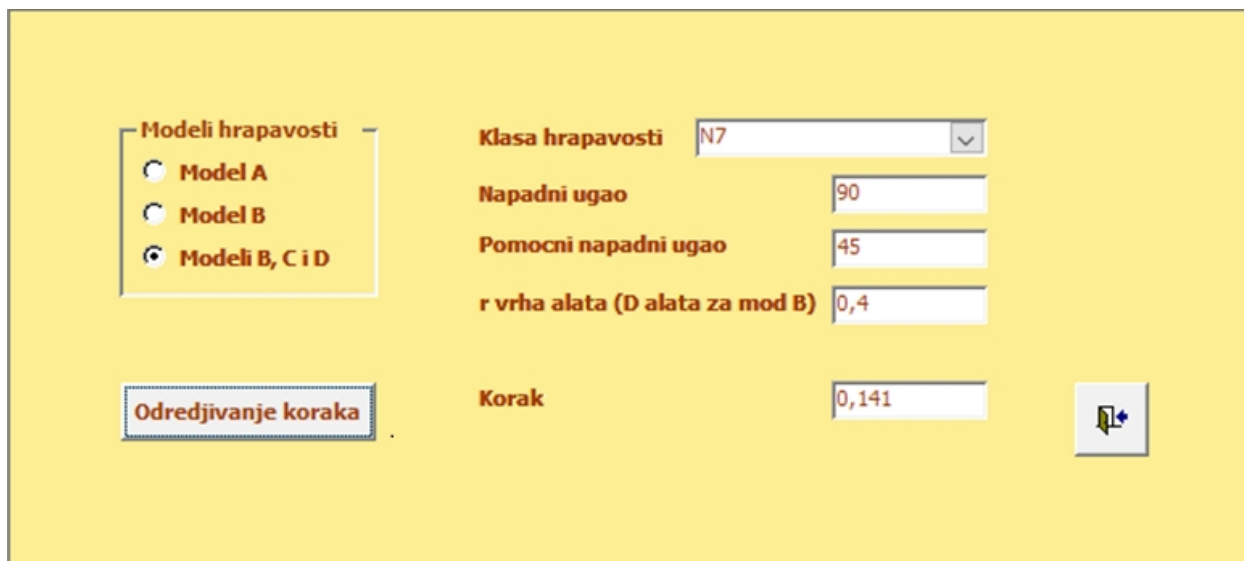
Слика 6. Прозор Резања за одређивање података за обраду

Следећа ставка је одабир радне машине који вршимо по нашој жељи, и одатле памтимо димензије држача алата према којима ћемо у подмениу Систем Алата (**Слика 7.**) моћи да избирамо одговарајући нож за захват који нам треба и машину на којој радимо.



Слика 7. Прозор Система алата

Када одредимо алат, онда по његовим угловима κ и κ_1 можемо одредити и потребни корак за сваки захват. (Слика 8.)



Слика 8. Одређивање корака

Након одређивања свих потребних параметара можемо прећи на одређивање режима обраде у одговарајућем подмениу приказаном на **Слици 9**. Одавде ћемо сазнати брзину резања, број обртаја, потребни корак и главно време обраде које ће нам бити потребно за другу тачку овог пројектног задатка.

Materijal	Č. 1680	Tvrdoća	175
Dubina rezanja	0,65	Materijal alata	TM
Brzina rezanja	160	Raspon koraka	0 - 0,2
Preporučeni materijal alata	P10	Tip obradnog sistema	CNC
Postojanost	30	Kt	1
Prečnik	30,3	Broj obrta	1681,70
Stand. za br obrta	1,12	Stand. broj obrta	1600,00
Usvojeni korak	0,14	Stand za korak	1,12
Stand. korak	0,14	Dužina obrade	45
Broj prolaza	1	Glavno vreme	0,201

Слика 9. Прозор Режим резања

Пројектовање технолошког система

Тачка 2.

У оквиру друге тачке овог пројекта потребно је да за одабрану фамилију пројектујемо технолошки систем и извршимо анализу његовог рада, а затим да у програму AnyLogic пројектујемо симулацију тог система. Флексибилни технолошки систем се састоји од 6 радне станице. Станица 1 је станица за улаз и излаз са једном опслужном машином. Станица 2 изводи операције отсецања са 1 опслужном машином. Станица 3 изводи операције стругања и састоји се од 3 опслужне машине. Станица 4 изводи операције брушења и састоји се од 1 опслужне машине. Станица 5 је станица за контролу са једном опслужном машином која изводи операцију контроле узорковањем. Флексибилни технолошки систем производи делове А, Б, Ц и Д

Табела 5. садржи податке о деловима у фамилији. Ти подаци су: учешће производње тог дела у укупној производњи те фамилије, списак операција које треба извршити за добијање тог дела, време потребно за извршавање сваке од операција и фреквенцију долазака делова на одређену радну станицу.

Табела 5. Распоред обраде делова у систему

Део	Проценат учешћа	Операција	s_i	Време обраде	Фреквенција
А-1	0.1	1.Улаз	1	4	1
		2.Олсечање	2	1	1
		3.Стругање	3	9	1
		4.Брушење	4	1	1
		5.Контрола	5	3	0.3
		6. Излаз	1	2	1
Б-2	0.3	1.Улаз	1	4	1
		2.Олсечање	2	1	1
		3.Стругање	3	9	1
		4.Брушење	4	1	1
		5.Контрола	5	3	0.3
		6.Излаз	1	2	1
Ц-3	0.4	1.Улаз	1	4	1
		2.Олсечање	2	1	1
		3.Стругање	3	8	1
		4.Брушење	4	1	1
		5.Контрола	5	3	0.3
		6.Излаз	1	2	1
Д-4	0.2	1.Улаз	1	4	1
		2.Олсечање	2	1	1
		3.Стругање	3	7	1
		4.Брушење	4	1	1
		5.Контрола	5	3	0.3
		6.Излаз	1	2	1

Узимајући податке из Табеле 5. извршићено анализу овог флексибилног технолошког система по одређеним параметрима методом уског грла.

1. А) Максимална производност ФТС

Да бисмо одредили максималну производност, неопходно је израчунати средње оптерећење за сваку радну станицу:

$$WL1=(4+2)*0.1*1+(4+2)*0.3*1+(4+2)*0.4*1+(4+2)*0.2*1=6$$

$$WL2=1*0.1*1+1*0.3*1+1*0.4*1+1*0.2*1=1$$

$$WL3=(5+4)*0.1*1+(4+4)*0.3*1+(5+3)*0.4*1+(4+3)*0.2*1=7.9$$

$$WL4=1*0.1*1+1*0.3*1+1*0.4*1+1*0.2*1=1$$

$$WL5=0.1*3*0.3+0.3*3*0.3+0.4*3*0.3+0.2*3*0.3=0.9$$

Затим оптерећење по опслужној машини:

$$WL1/s1 = 6/3 = 2 \text{ (имамо три машине за палетизацију и депалетизацију)}$$

$$WL2/s2 = 1/1 = 1$$

$$WL3/s3 = 7.9/3 = 2.633 \text{ (имамо три CNC струга)}$$

$$WL4/s4 = 1/1 = 1$$

$$WL5/s5 = 0.9/1 = 0.9$$

Па тако можемо добити максималну производност узимајући машину која нам претставља уско грло, тј. у овом случају стругове:

$$Rp=s^*/WL^* = 3/7.9 = 0.38 \text{ (Делова/мин)} = 23 \text{ (ДЕЛОВА/с)}$$

$$23*8*6*50 = 55\,200 \text{ делова/годишње}$$

Где су s^* и WL^* број опслужених машина и оптерећење за станицу која представља уско грло.

Б) Производност за сваки део

Ове предности добијамо множењем процента учесталости у производњи сваког од делова са максималном производности.

$$RpA = 0.1*23 = 2.3 \text{ (Делова/с)}$$

$$R_{pB} = 0.3 \cdot 23 = 6.9 \text{ (Делова/с)}$$

$$R_{pC} = 0.4 \cdot 23 = 9.2 \text{ (Делова/с)}$$

$$R_{pD} = 0.2 \cdot 23 = 4.6 \text{ (Делова/с)}$$

В) Просечна искоришћења радних станица

Средње искоришћење радне станице представља проценат времена у ком опслужне машине раде и не мирују.

$$U_1 = 6/3 \cdot 0.38 = 0.76$$

$$U_2 = 1/1 \cdot 0.38 = 0.38$$

$$U_3 = 7.9/3 \cdot 0.38 = 1$$

$$U_4 = 1/1 \cdot 0.38 = 0.38$$

$$U_5 = 0.9/1 \cdot 0.38 = 0.34$$

Пошто смо добили да је оптерећење на станици 3 једнако 100% морали бисмо да убацимо још једну машину.

Г) Укупно искоришћење флексибилног технолошког система

Укупно искоришћење показује ефикасност целокупног производног система.

$$U_s = (S_1 \cdot U_1 + S_2 \cdot U_2 + S_3 \cdot U_3 + S_4 \cdot U_4 + S_5 \cdot U_5) / (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5)$$

$$U_s = 6.38/9 = 0.709 = \mathbf{70.9\%}$$

2. Производност дела А који ће повећати искоришћење станице 3 на 100%

Станица 3 је уско грло, тако да је њено оптерећење већ 100%.

3. Анализа проширеног уског грла ако је број делова у систему једнак 70:

Претпоставимо да је N број делова у систему који је константан (због чињенице да када се један део изради, исконтролише и напусти систем, нови део који је потребно обрадити доспева у систем).

N^* се израчунава преко следећег обрасца:

$$N^* = R_p \cdot \left(\sum_{i=1}^n WL_i + WL_{n+1} \right) = R_p \cdot MLT_1$$

Добијамо да је: $N^* = 0.38 \cdot 21.8 = 8.284$ делова

Пошто је $N > N^*$ користимо други метод:

$$MLT_2 = N / R_p^* = 70 / 0.38 = 184.21$$

$$T_w = 184.21 - 21.8 = 162.4$$

4. А) Број опслужних машина потребних за сваку радну станицу како би се остварила годишња производња, ако исти ради 8 часова дневно, 6 дана у недељи, 50 седмица у години и ако је задата годишња производња од 100 000 делова

Потребна производност: $R_p^* = 100000 / (8 \cdot 6 \cdot 50) = 41.67$ делова/с

$$R_p^* = 0.7 \text{ делова/мин}$$

Потребан број опслужних машина по радној станици:

$$S1: R_p^* \cdot WL_1 = 0.7 \cdot 6 = 4.2 - 5 \text{ машина}$$

$$S2: R_p^* \cdot WL_2 = 0.7 \cdot 1 = 0.7 - 1 \text{ машина}$$

$$S3: R_p^* \cdot WL_3 = 0.7 \cdot 7.9 = 5.53 - 6 \text{ машина}$$

$$S4: R_p^* \cdot WL_4 = 0.7 \cdot 1 = 0.7 - 1 \text{ машина}$$

S5: $R_p * WL5 = 0.7 * 0.9 = 0.63$ -1 машина

Б) Искоришћеност сваке станице:

$$U1 = 6/5 * 0.7 = 0.84$$

$$U2 = 1/1 * 0.7 = 0.7$$

$$U3 = 7.9/6 * 0.7 = 0.92$$

$$U4 = 1/1 * 0.7 = 0.7$$

$$U5 = 0.9/1 * 0.7 = 0.63$$

5. Анализа је показала да се уско грло налази на радној станици 3, односно да бисмо морали да додамо 4-ти струг да машине не би морале да раде 100% предвиђеног времена. Такође је показала да ако желимо да годишње направимо 100 000 делова, морамо проширити и прву и трећу радну станицу да би прихватиле тај обим производње.

У наставку смо испројектовали план позиција и квадратура свих радних станица и направили симулацију у AnyLogic за овај већи обим производње.

Пројектовање диспозиционог плана

У оквиру овог корака, наш задатак је да формирамо функционални распоред машина, опреме, путања кретања обрадака и складиштење готових делова и материјала. То је најефикасније извршити применом троугаоне матрице, где у врсте уписујемо које секторе морамо имати, а затим једноставним попуњавањем табеле можемо доћи до најповољнијег распореда.

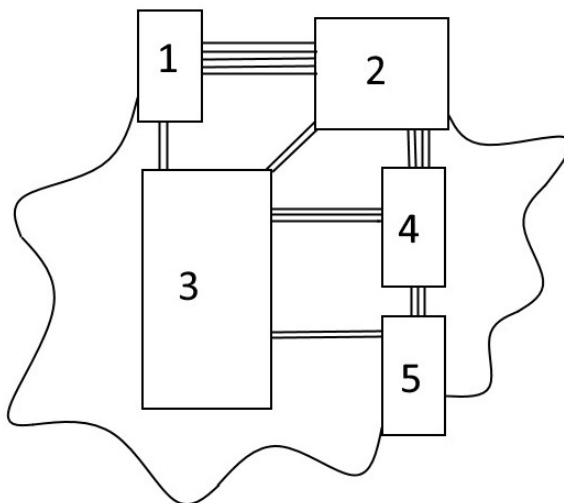
Наша троугаона матрица је дата на **Слици 10.** и са ње можемо видети да наше постројење мора имати 5 просторија, од којих је пожељно да обрада и складиштење буду близу, сечење и обрада буду обавезно једно до другог, а обрада и канцеларијски простор никако не буду близу. Овде уписујемо и квадратуре просторија узимајући у обзир број машина и величину њиховог радног простора.

200	1. Сечење	
400	2. Обрада	
1000	3. Складиштење и отпремање	
250	4. Контрола и тестирање	
250	5. Канцеларијски простор	

Слика 10. Троугаона матрица

Ову троугаону матрицу можемо превести у просторни дијаграм веза приказан на **Слици 11.** На **Слици 12.** је приказана легенда за

тумачење слова, а на **Слици 13.** бројева у троугаоној матрици као и типова веза у просторном дијаграму.



Слика 11. Просторни дијаграм веза

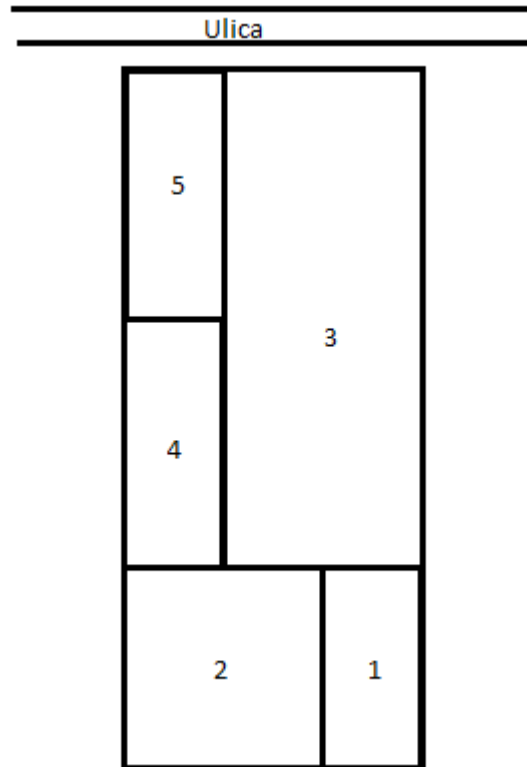


Слика 12. Легенда слова

Код	Разлог
1	Ток материјала
2	Надзор
3	Погодност
4	Управљ. произв.
5	Прашина и пара
6	Управ. матер.

Слика 13. Легенда бројева

На основу овога можемо направити просторни диспозициони план, претстављен на **Слици 14.**



Слика 14. Диспозициони план фабрике

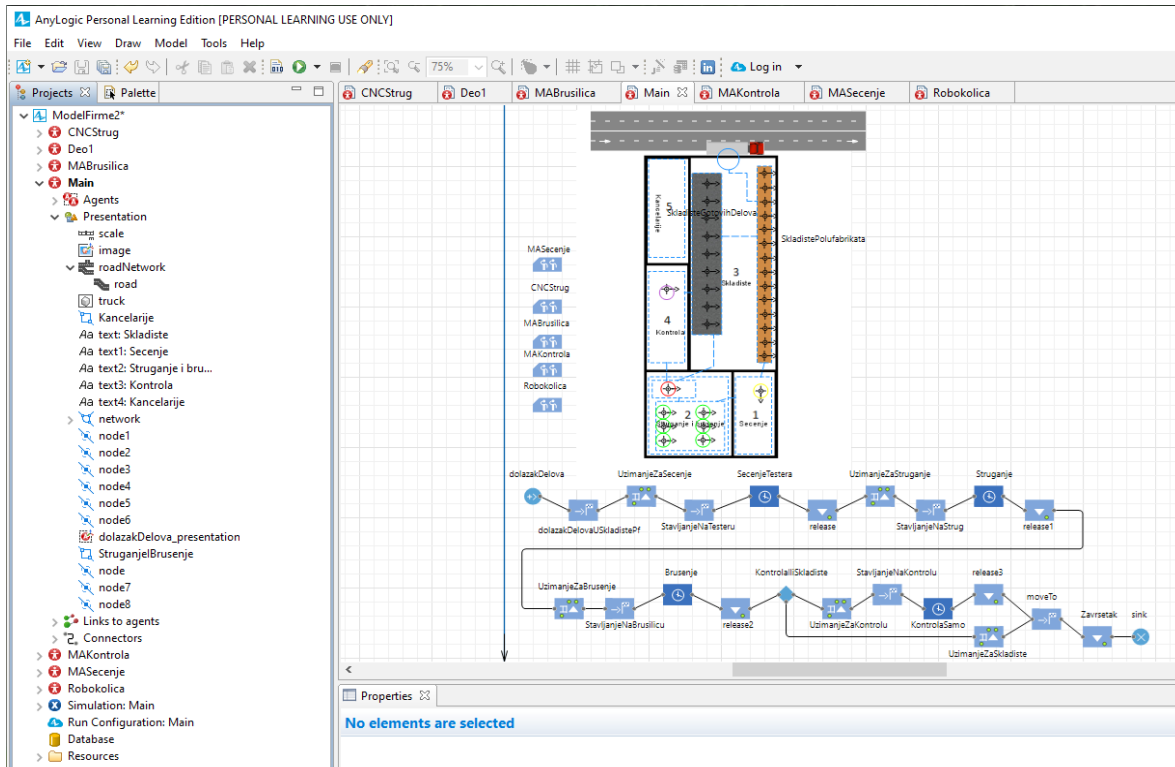
Све прикупљене податке до сада ћемо убацити у AnyLogic и извршити симулацију рада овако организоване фабрике.

Симулација у програму Any Logic

Последњи корак овог пројектног задатка је моделовање виртуелног модела фабрике у софтверском пакету AnyLogic који омогућава симулацију рада система у реалном времену.

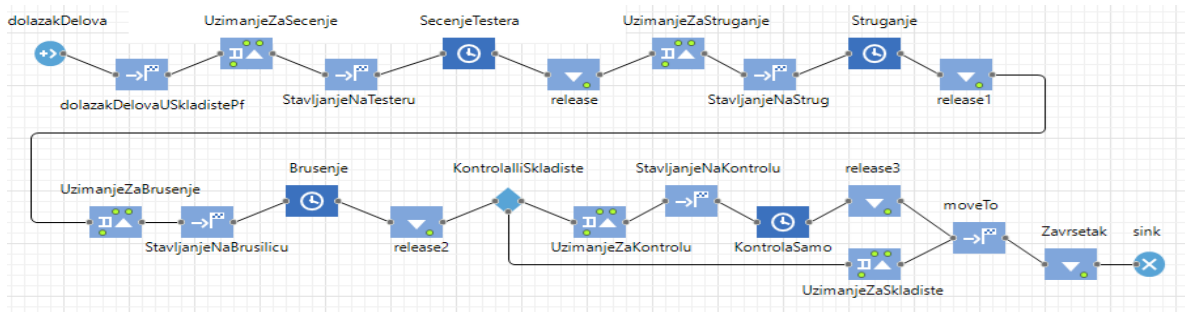
Овде ћемо објаснити само симулирање процеса за трећи део, јер се он од остала 3 разликује само по времену потребним за обраду на стругу.

Прво морамо убацити нашу диспозицију фабрике и то ћемо урадити убацавањем слике као позадину радног простора. Затим ћемо све просторије именовати ради лакше навигације. Радни простор је приказан на **Слици 15**.



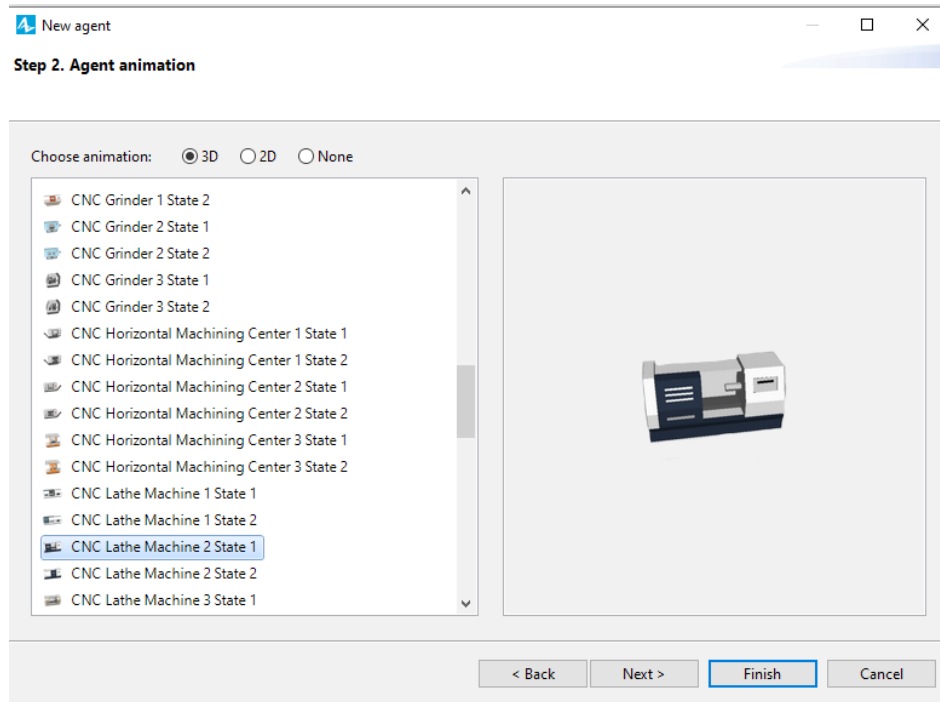
Слика 15. Радно окружење програма

Затим ћемо из палете са алатима почети узимати функције потребне за креирање производног „дрвета“, чија је финална верзија приказана на **Слици 16**.



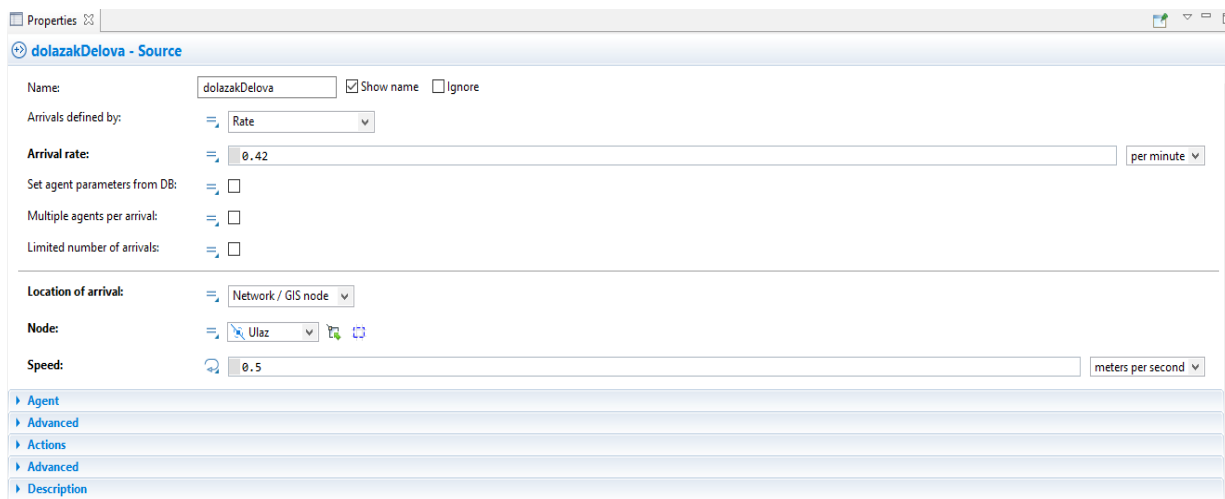
Слика 16. Производно дрво

Прва функција коју морамо поставити је Agent Type. Њоме ћемо креирати производ слику производа који производимо, али ћемо је користити и код дефинисања свих радних машина. (Слика 17.)



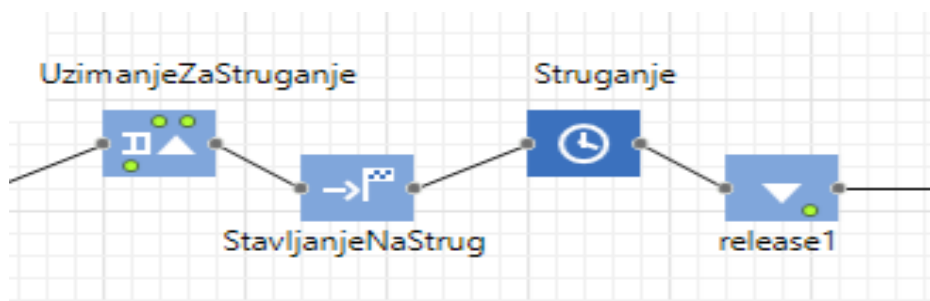
Слика 17. Креирање агента (ресурса)

Затим ћемо креирати улаз и подесити му фреквенцију користећи функцију Source и подешавајући параметар Arrival Rate (Слика 18.)



Слика 18. Параметри улаза

Потом следе блокови састављени од четири наредбе за сваку машину у систему. (Слика 19.)



Слика 19. Блок наредби за стругање

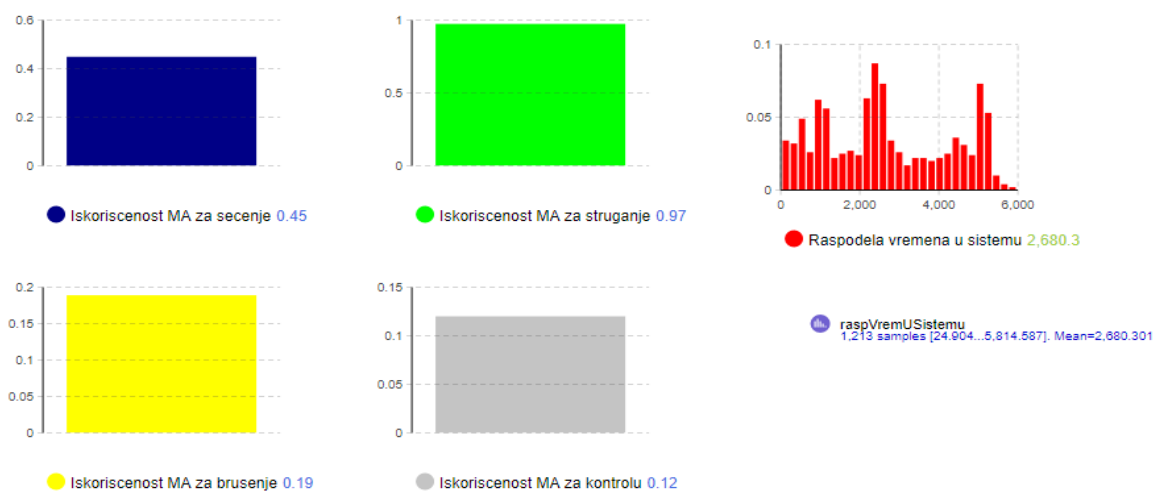
Сваки блок на почетку има функцију Seize којом се везују ресурси, тј. заузима се место на једним робоколицима и једно место на машини на коју део треба да оде. Потом следи наредба MoveTo која обезбеђује да се део пренесе до машине. Након доношења на машину, обраду претстављамо функцијом Delay у којој постављамо предвиђено време за извршење те операције. Да би могли да ослободимо место на машини након извршене обраде морамо користити наредбу Release.

Када поставимо и повежемо све потребне функције можемо покренути симулацију да би се уверили да све функционише како је и планирано. Прозор симулације је дат на **Слици 20.**

Након што смо се уверили да наша производња тече без проблема, можемо додати функције које ће пратити и исцртавати графике просечног оптерећења сваке машине као и просечно време које део проведе у производној линије од његовог уласка као полуфабрикат то изласка као готов део. Примери таквих графика дати су на **Слици 21.**



Слика 20. Прозор симулације



Слика 21. Пример графика

Закључак

Након завршеног пројекта можемо закључити да је могуће, са овим бројем машина, заиста остварити годишњи обим производње од 100 000 комада за ову фамилију делова.

Радећи овај пројекат, искусили смо доста изазова са којима се савремени машински инжењер може сусрести при пројектовању флексибилног технолошког система од нуле. Увидели смо неоспорну потребу за развој софтвера за планирање и симулирање реалних система, јер олакшавају и многоструко убрзавају процес пројектовања, самим тим снижавајући трошкове и повећавајући продуктивност тако да компаније могу бити још ефикасније.

Прилог:

Уз овај документ прилажем и 5 техничких цртежа који чине фамилију за коју је рађен пројектни задатак.