

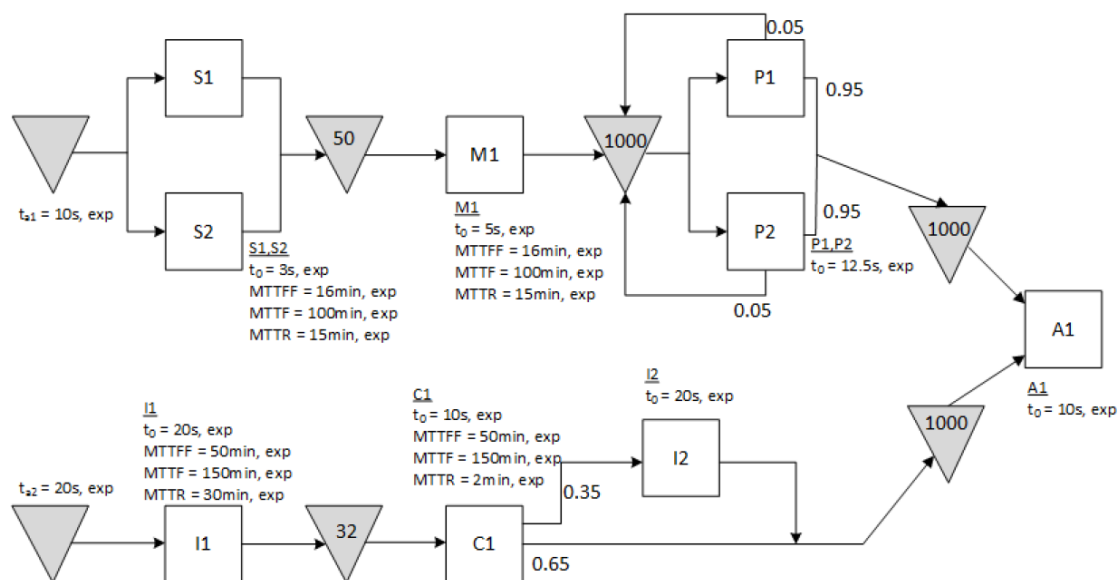
saRmica gunner AUTOMATIKA 0	FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA SVEUČILIŠTE U ZAGREBU Zavod za automatiku i računalno inženjerstvo	30.1.2017
	<b>Projektiranje proizvodnih sustava</b>	
	Seminarski zadatak	

## Uvod

Tvornica za proizvodnju plastičnih čaša za kavu zatražila je od vas analizu svojeg proizvodnog procesa. Na temelju vašeg izvješća donijet će se odluke o budućim investicijama. Trenutna razina proizvodnje i vrijeme isporuke nezadovoljavaju su, posebno u periodima velike potražnje. Razlog leži najvjerojatnije u loše dimenzioniranom sustavu i starim strojevima. Budući da se predviđa povećanje potražnje u narednom periodu potrebno je optimizirati sustav.

## Opis sustava

Proizvodni sustav sastoji se od dvije linije; u prvoj liniji proizvode se papirnate čaše i omoti čaša, a u drugoj liniji plastični poklopci. Na odvojenoj stanici za spajanje gotove se čaše i poklopci pakiraju za isporuku. Shema sustava zajedno s osnovnim podacima o strojevima prikazana je na slici 1.



**Slika 1:** Shema sustava

Na ulazu u **prvu liniju**, u kojoj se proizvode čaše i omoti, nalaze gotovi kartoni čijim se savijanjem dobiva tijelo čaše. Za savijanje koriste dva paralelna stroja (S1 i S2). Na izlazu iz strojeva je spremnik kapaciteta 50 čaša. Kad je spremnik pun, zaustavlja se daljnja proizvodnja čaša na S1 i S2. Idući stroj u nizu (M1) služi za dodavanje dna na svaku čašu i nakon njega se nalazi spremnik gotovih čaša kapaciteta 1000. Pun spremnik blokira daljnju proizvodnju na stroju M1.

Nakon spremnika nalaze se dva paralelna stroja (P1, P2) na kojima se tiska omot čaše, spaja tijelo čaše s isprintanim omotima te se nakon toga provodi inspekcija. 5 % čaša vraća se u prethodni korak proizvodnje zbog oštećenog omota. Ostale se čaše odlažu u spremnik kapaciteta 1000 pa potom idu u stanicu za spajanje (A1). U drugoj liniji proizvode se poklopci. Na prvom stroju (I1) utiskuje se poklopac i na svakom otisnutom poklopcu buši rupa za žlicu. Na idućem stroju (C1) poklopac se izrezuje. Između strojeva I1 i C1 nalazi se spremnik u koji stanu 32 poklopca. 65 % gotovih poklopaca direktno se prosljeđuje u spremnik kapaciteta 1000, a na 35 % poklopaca utiskuju se dodatni utori (I2). Nakon toga odlaze u spremnik kapaciteta 1000 pa potom idu u stanicu za spajanje (A1). U stanici za spajanje (A1) spaja se jedna čaša i jedan poklopac.

## Cilj vježbe

Cilj je je maksimalno unaprijediti kvalitetu sustava u okviru zadanog budžeta od približno 5000 \$ (dozvoljeno je prekoračenje ako za to postoje dobri razlozi). U obzir treba uzeti propusnost sustava (TH) i vrijeme isporuke (CT). U idućoj tablici prikazane su moguće izmjene:

<b>Spremnici</b>	
dodatni spremnik od 25 mjesta	250\$
smanjivanje broja mjesta u spremniku	0\$
<b>Strojevi</b>	
dodatni stroj	1000\$
smanjenje $t_0$ (za svakih 25%)	500\$
povećanje $t_0$	500\$
smanjenje $c_0$ (za svakih 25%)	500\$
povećanji MTTF (za svakih 50%)	500\$
smanjenje MTTF (za svakih 50%)	100\$
smanjenje MTTR (za svakih 25%)	200\$
smanjiti stopu povrata na P1/P2 (za 1%)	200\$
<b>Stanica za sklapanje</b>	
smanjenje vremena procesiranja za 50%	1000\$
nova stanica	1000\$
<b>Ulaz</b>	
povećanje ulazne stope (za svakih 10%)	100\$

## Zadatak

1. Provedite iterativni postupak analize i unaprijeđenja sustava. U svakoj iteraciji identificirajte dijelove koji narušavaju kvalitetu sustava, predložite i obrazložite potencijalna poboljšanja te ih potkrijepite podacima iz simulacije.
2. Modificirajte osnovni sustav, bez poboljšanja, tako da broj objekata u svakoj liniji zasebno bude konstantan (CONWIP linija). Radi jednostavnije implementacije ne trebate uzimati u obzir broj predmeta na stanici A1. Usporedite ovaj sustav sa unaprijeđenim sustavom iz prethodnog zadatka.

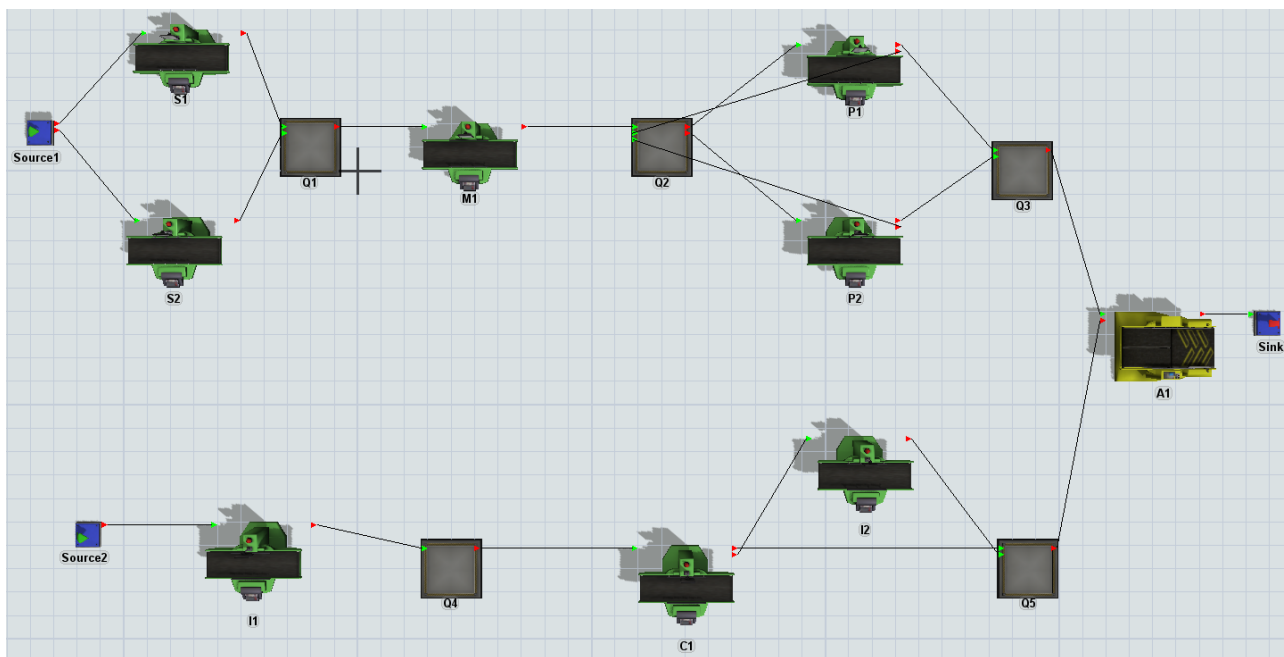
## Naputci za upotrebu simulatora

- Stanicu za spajanje implementirati kao Combiner. Koristiti opciju Combiner->Join.
- Rečenica iz teksta vježbe "kad je spremnik pun, zaustavlja se daljnja proizvodnja", podrazumijeva da se u simulatoru: 1) povežu objekti procesor i red te 2) postavi maksimalan dozvoljen broj predmeta u redu. Nije potrebno implementirati dodatno vlastito upravljanje radom procesora.
- Za postavljanje karakteristika strojeva definirati MTBF/MTTR objekt unutar izbornika Toolbox te stroju pridružiti odgovarajući MTBF/MTTR objekt. Oznaka MTTF na Slici 1 označava "Mean Time To First Failure".
- Za analizu stanja sustava preporučuje se koristiti Dashboard sa sljedećim prozorima: Work In Progress vs Time, Time In System vs Time, Output per Hour i State Bar za sve strojeve.
- Simulacije treba analizirati za duži vremenski period (~24h).

## RJEŠENJE

### 1. zadatak

Sustav realiziran u programu FlexSim prikazan je na slici 2.



Slika 2: Shema sustava u FlexSim-u

Sustav simuliramo u periodu jednog dana (86400 s). Rezultati simulacije početnog sustava prikazani su u tablici 1.

**Tablica 1:** Početni sustav

Predmet promatranja	Processing (%)	Generating (%)	Collecting (%)	Idle (%)	Blocked (%)	Breakdown (%)
$S_1$	7,3			20,1	62,7	9,9
$S_2$	3,1			21,8	52,6	22,6
$M_1$	16,7			15,2	60,9	7,1
$P_1$	17,4			5,1	77,5	
$P_2$	11,8			6,5	81,8	
$I_1$	55,5			27,1	0	17,4
$C_1$	26,8			67,3	4,4	1,5
$I_2$	18,8			81,2	0	
$A_1$	21,9		61,9	16,2		
$Source_1$		33,7			66,3	
$Source_2$		54,3			45,7	

Iz tablice 1 vidimo kako su nam strojevi  $S_1$  i  $S_2$  blokirani više od 50% vremena. To se događa jer oba stroja imaju vrlo malo vrijeme obrade (3 s), a ispred njih je relativno mali spremnik za 50 predmeta. Ispred tog spremnika nalazi se stroj  $M_1$  koji je također blokirani više od 60% vremena. On je blokirani zato jer kada dođe do zastoja na stroju za sastavljanje  $A_1$  puni se red koji se nalazi neposredno prije njega ( $Q_3$ ) te kada se taj red napuni blokirani su strojevi  $P_1$  i  $P_2$  pa se puni red nakon stroja  $M_1$  ( $Q_2$ ).

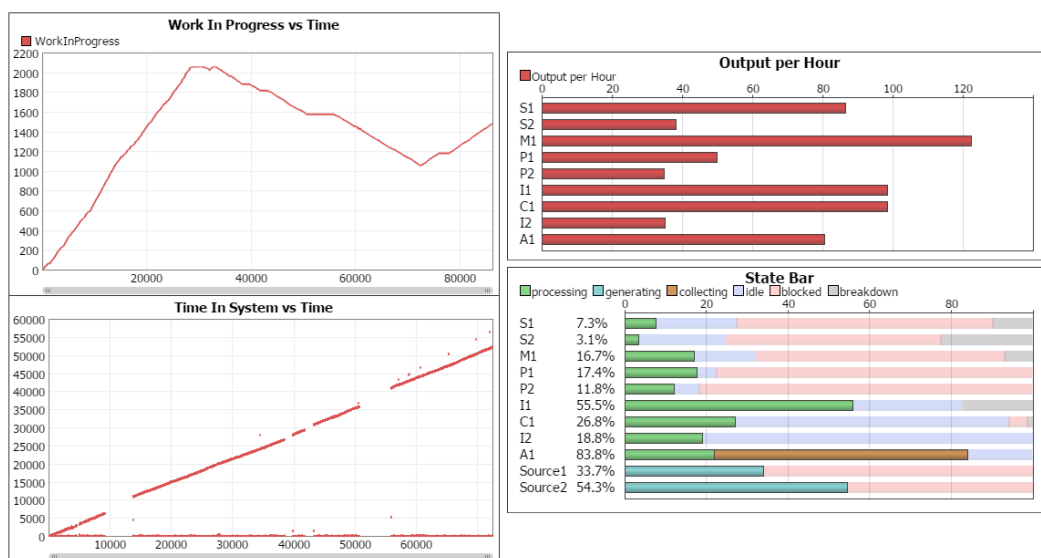
Stupac "Collecting" u tablici nam govori koliko stroj za sastavljanje  $A_1$  čeka na dio. Pogledom u karakteristike strojeva u donjoj liniji vidimo da je ona puno sporija. To je razlog zašto stroj za sastavljanje  $A_1$  više od 60% vremena provede čekajući na dio iz donje (kasnije iz gornje) linije.

**Slika 3:** Stanja spremnika

Na slici 3 promatramo stanja spremnika koji su nam od interesa:  $Q_2$ ,  $Q_3$  i  $Q_5$ . Kritičan nam je spremnik  $Q_2$  iz sljedećeg razloga: strojevi  $P_1$  i  $P_2$  imaju stopu povrata 5 % u spremnik  $Q_2$  ukoliko printanje na čašu nije zadovoljavajuće. Ako je spremnik  $Q_2$  pun i dogodi se da u jednom trenutku oba stroja  $P_1$  i  $P_2$  žele vratiti čaše

u spremnik na ponovno printanje, to se ne može dogoditi i cijeli sustav se zaglavljuje. Tu situaciju možemo vidjeti na slici 3 u trenutku ~33000 s. Također, to je dio razloga zašto su ti strojevi blokirani gotovo 80% vremena (tablica 1).

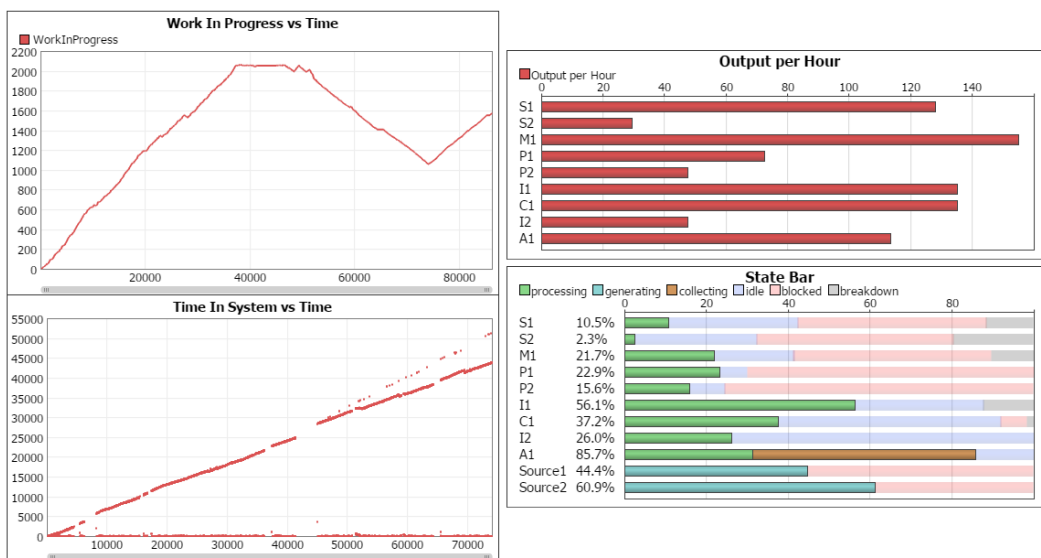
Iz uočenih problema možemo predložiti neka poboljšanja.



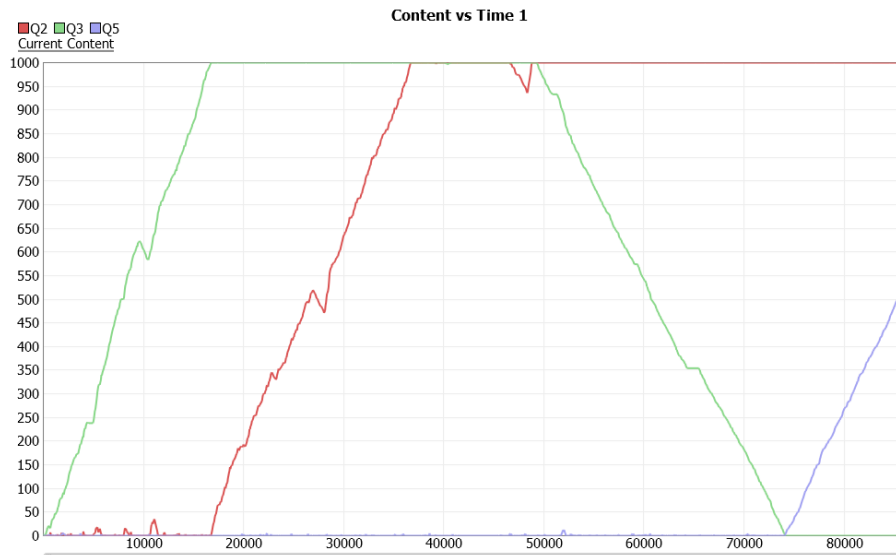
Slika 4: Dashboard početnog sustava

## 1. iteracija

Raspolažemo budžetom od 5000\$. Kako smo već primjetili, donja linija je puno sporija od gornje. Stoga se odlučujemo kako ćemo smanjiti vrijeme procesiranja stroja  $I_1$  za 25%, tj. smanjujemo  $t_0$  s 20s na 15s. Uz to, odlučujemo se povećati ulaznu stopu na  $Source_2$  za 20%. Rezultati simulacije takvog sustava dani su na slikama 5 i 6 i u tablici 2.



Slika 5: Dashboard - iteracija 1



Slika 6: Stanja spremnika - iteracija 1

Tablica 2: 1. iteracija

Predmet promatranja	Processing (%)	Generating (%)	Collecting (%)	Idle (%)	Blocked (%)	Breakdown (%)
$S_1$	10,5			31,9	46	11,6
$S_2$	2,3			30	48	19,7
$M_1$	21,7			19,6	48,3	10,5
$P_1$	22,9			7	70,1	
$P_2$	15,6			8,9	75,6	
$I_1$	56,1			31,4	0	12,5
$C_1$	37,2			54,8	6,3	1,7
$I_2$	26			74	0	
$A_1$	31,5		54,3	14,3		
$Source_1$		44,4			55,6	
$Source_2$		60,9			39,1	

Tablica 3: 1. iteracija - troškovi

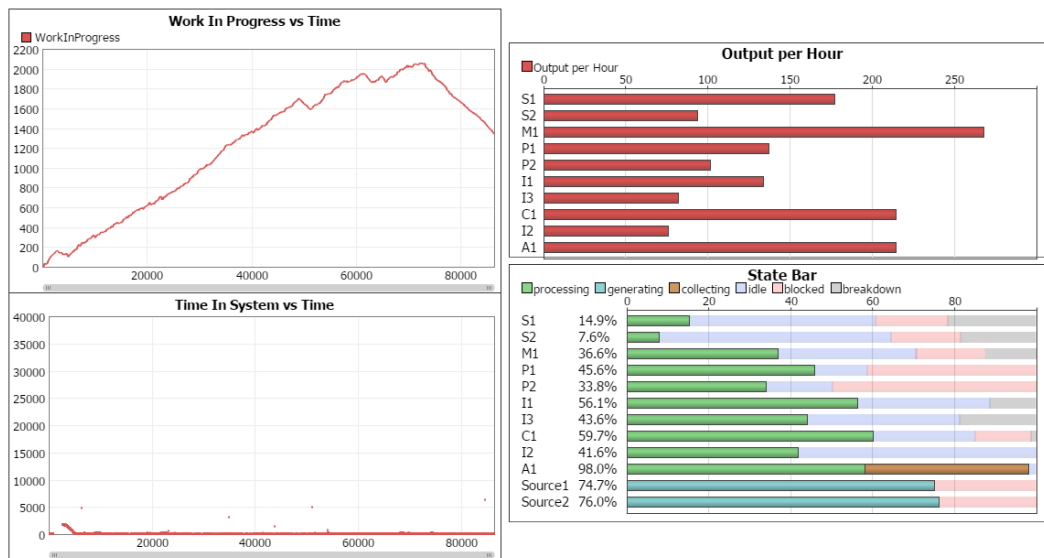
Unaprijeđenje	Cijena
Smanjenje $t_0$ na $I_1$ za 25%	500\$
Povećanje ulazne stope na $Source_2$ za 20%	200\$
<b>Preostali budžet</b>	<b>4300\$</b>

Iz rezultata simulacije vidimo kako smo ovim unaprijeđenjima povećali protok predmeta po satu na stroju  $A_1$ , što nam je zapravo i cilj unaprijeđenja proizvodne linije. Međutim, iz slike 6 vidimo kako nam i dalje dolazi do zaglavljenja na spremniku  $Q_2$ . Idemo u iduću iteraciju poboljšanja.

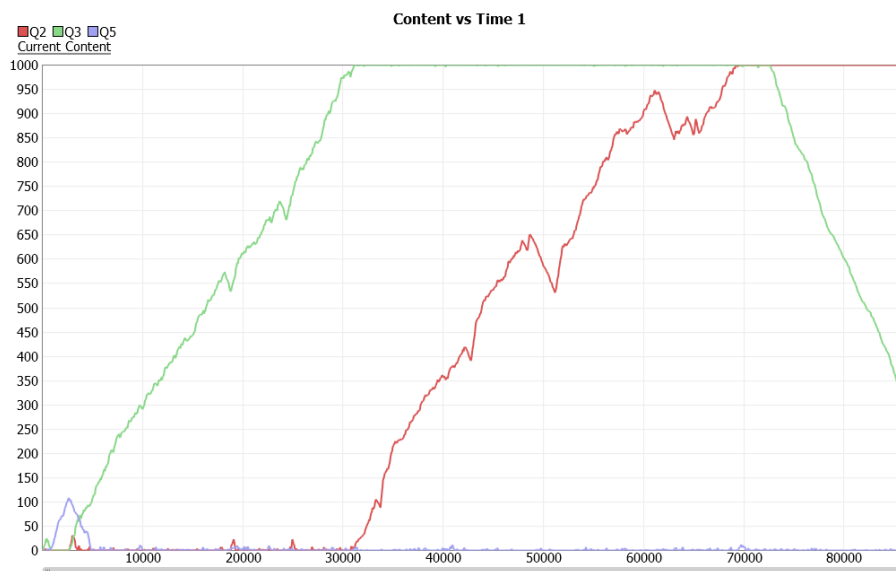
## 2. iteracija

Iz tablice 2 vidimo kako i dalje stroj za sastavljanje  $A_1$  54.3% vremena čeka na dio iz druge linije. Stoga se odlučujemo još povećati ulaznu stopu  $Source_2$  za 20%. Također, vidimo da je  $Source_2$  blokiran 39.1% vremena, a ako mu povećamo stopu ulaza za očekivati je kako će se taj postotak još povećati. Zato dodajemo

još jedan stroj u paralelu sa strojem  $I_1$  i nazivamo ga  $I_3$ . Taj stroj ima karakteristike stroja  $I_1$  **prije poboljšanja** u 1. iteraciji. Ovim poboljšanjem vidimo da smo još povećali protok  $A_1$  na ~200 predmeta po satu. Također,



Slika 7: Dashboard - iteracija 2



Slika 8: Stanja spremnika - iteracija 2

iz slike 8 vidimo da i dalje dolazi do zaglavljenja, ali ono se događa puno kasnije.

**Tablica 4:** 2. iteracija

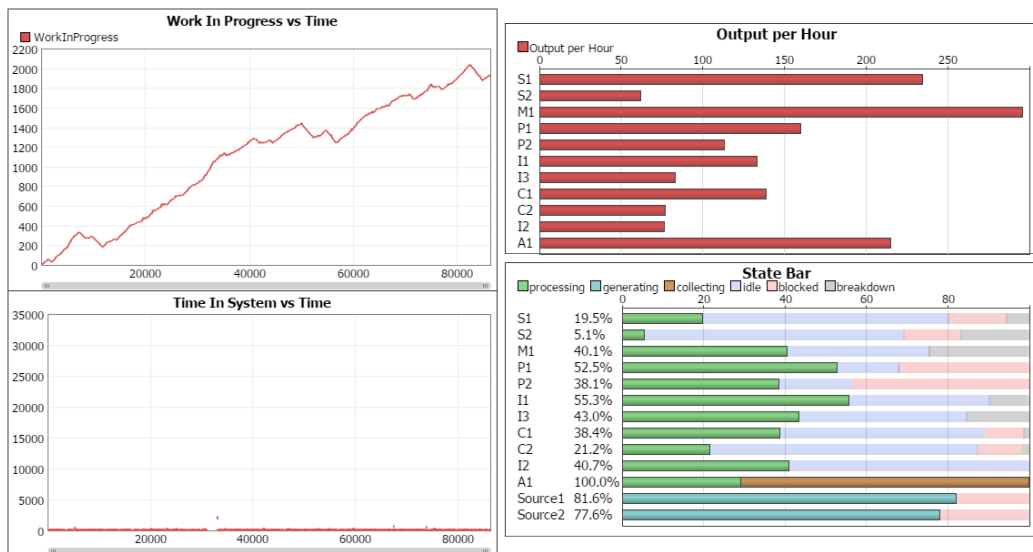
Predmet promatranja	Processing (%)	Generating (%)	Collecting (%)	Idle (%)	Blocked (%)	Breakdown (%)
$S_1$	14,9			45,8	17,6	21,7
$S_2$	7,6			56,9	16,9	18,6
$M_1$	36,6			33,9	16,8	12,7
$P_1$	45,6			13	41,4	
$P_2$	33,8			16,3	49,9	
$I_1$	56,1			32,4	0	11,5
$I_3$	43,6			37,6	0	18,8
$C_1$	59,7			25,2	13,6	1,5
$I_2$	41,6			58,4	0	
$A_1$	58,1		39,8	2		
$Source_1$		74,7			25,3	
$Source_2$		76			24	

**Tablica 5:** 2. iteracija - troškovi

Unaprijeđenje	Cijena
Dodatni stroj $I_3$	1000\$
Povećanje ulazne stope na $Source_2$ za 20%	200\$
<b>Preostali budžet</b>	<b>3100\$</b>

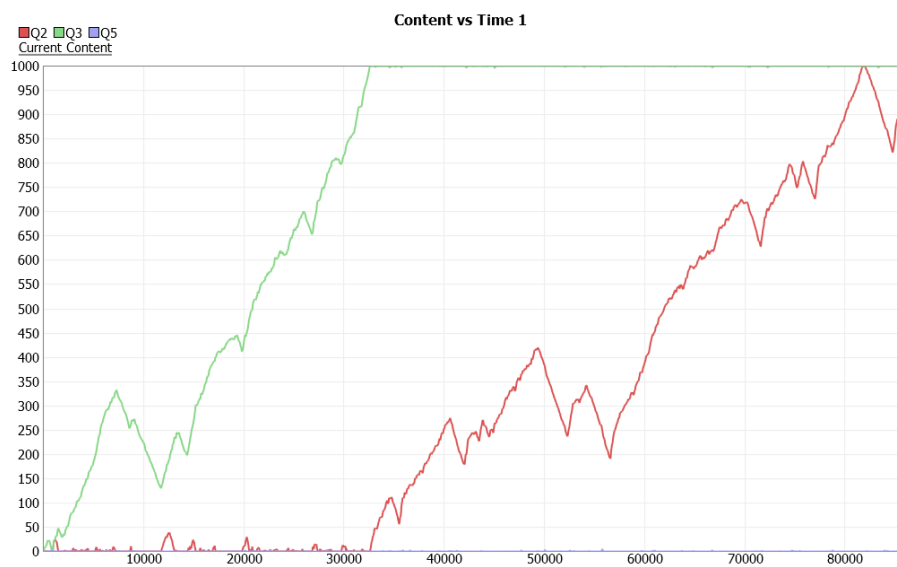
### 3. iteracija

U 3. iteraciji odlučili smo se uvesti novi stroj u paralelu sa strojem  $C_1$  kojeg nazivamo  $C_2$ . Oba stroja su istih karakteristika. Također, kada uvedemo ovaj stroj eksperimentom je utvrđeno kako nam se nagomilavaju predmeti u spremnicima  $Q_3$  i  $Q_5$  te smo stoga odlučili poboljšati stroj za sastavljanje  $A_1$ . Iz slike 10 vidimo

**Slika 9:** Dashboard - iteracija 3

kako sada nemamo zaglavljenja u sustavu, ali svejedno spremnik  $Q_2$  ima tendenciju rasta prema maksimalnoj zapremini.





Slika 10: Stanja spremnika - iteracija 3

Tablica 6: 3. iteracija

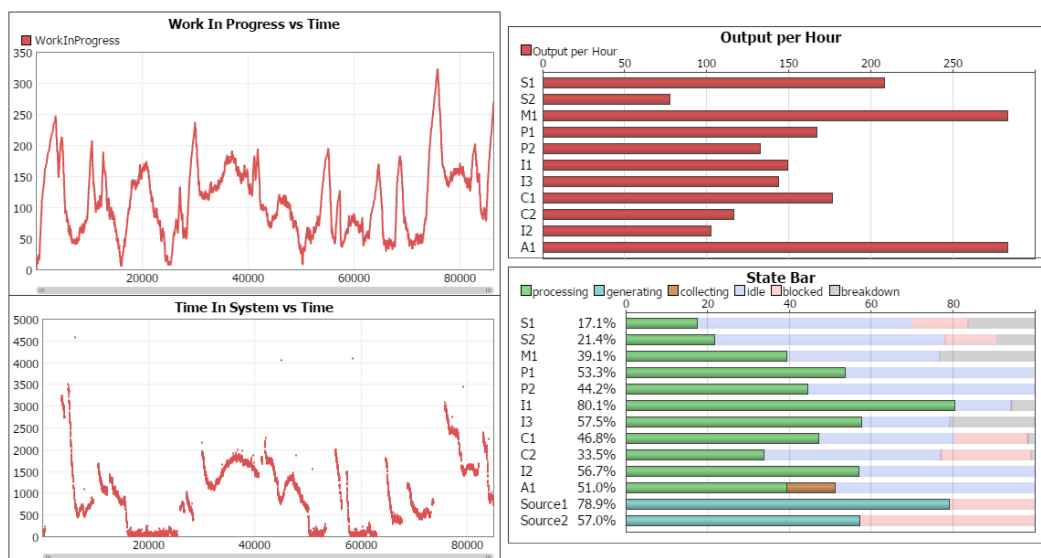
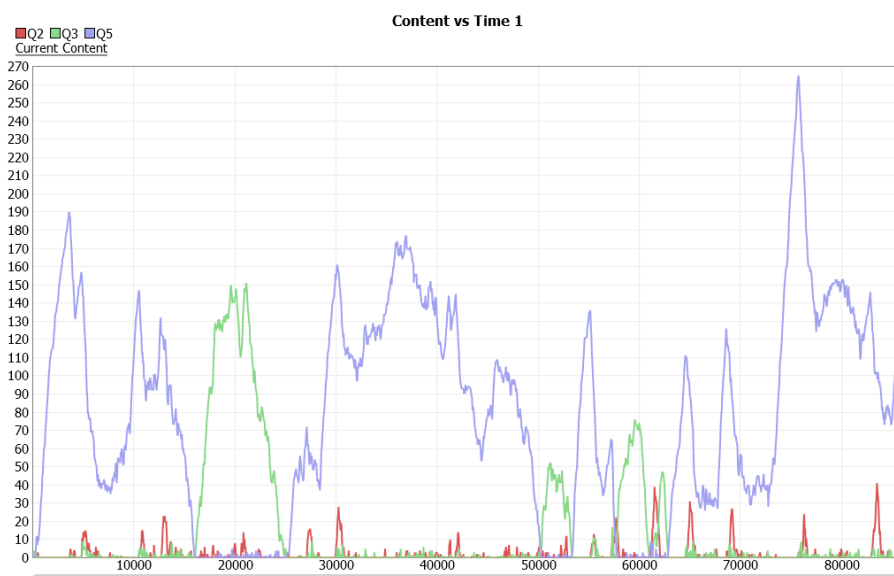
Predmet promatranja	Processing (%)	Generating (%)	Collecting (%)	Idle (%)	Blocked (%)	Breakdown (%)
$S_1$	19,5			60,5	14,3	5,7
$S_2$	5,1			64,1	14	16,8
$M_1$	40,1			35,2	0	24,7
$P_1$	52,5			15,4	32,2	
$P_2$	38,1			18,2	43,7	
$I_1$	55,3			34,8	0	9,9
$I_3$	43			41,4	0	15,6
$C_1$	38,4			50,8	9,4	1,5
$C_2$	21,2			66,1	10,8	2
$I_2$	40,7			59,3	0	
$A_1$	29,1		70,8	0		
$Source_1$		81,6			18,4	
$Source_2$		77,6			22,4	

**Tablica 7:** 3. iteracija - troškovi

Unaprijeđenje	Cijena
Dodatni stroj $C_2$	1000\$
Smanjenje vremena procesiranja $A_1$ za 50%	1000\$
<b>Preostali budžet</b>	<b>1100\$</b>

#### 4. iteracija

U posljednjoj iteraciji odlučujemo se povećati vrijeme procesiranja jednog od strojeva  $S_1$  ili  $S_2$ . To radimo zato što vidimo da bez obzira na poboljšanja u donjoj liniji spremnik  $Q_3$  se vrlo brzo puni i stvara zastoje u sustavu. Usporenjem jednog od ovih strojeva usporiti ćemo to nagomilavanje. Nakon tog poboljšanja ostaje nam 600\$ u budžetu pa ćemo to iskoristiti za povećanje ulazne stope na  $Source_2$  za 6 puta po 10%. Iz slike 12 vidimo

**Slika 11:** Dashboard - iteracija 4**Slika 12:** Stanja spremnika - iteracija 4

da niti jedan spremnik ne dolazi blizu svoje maksimalne zapreminine te smo time izbjegli moguće zaglavljenje

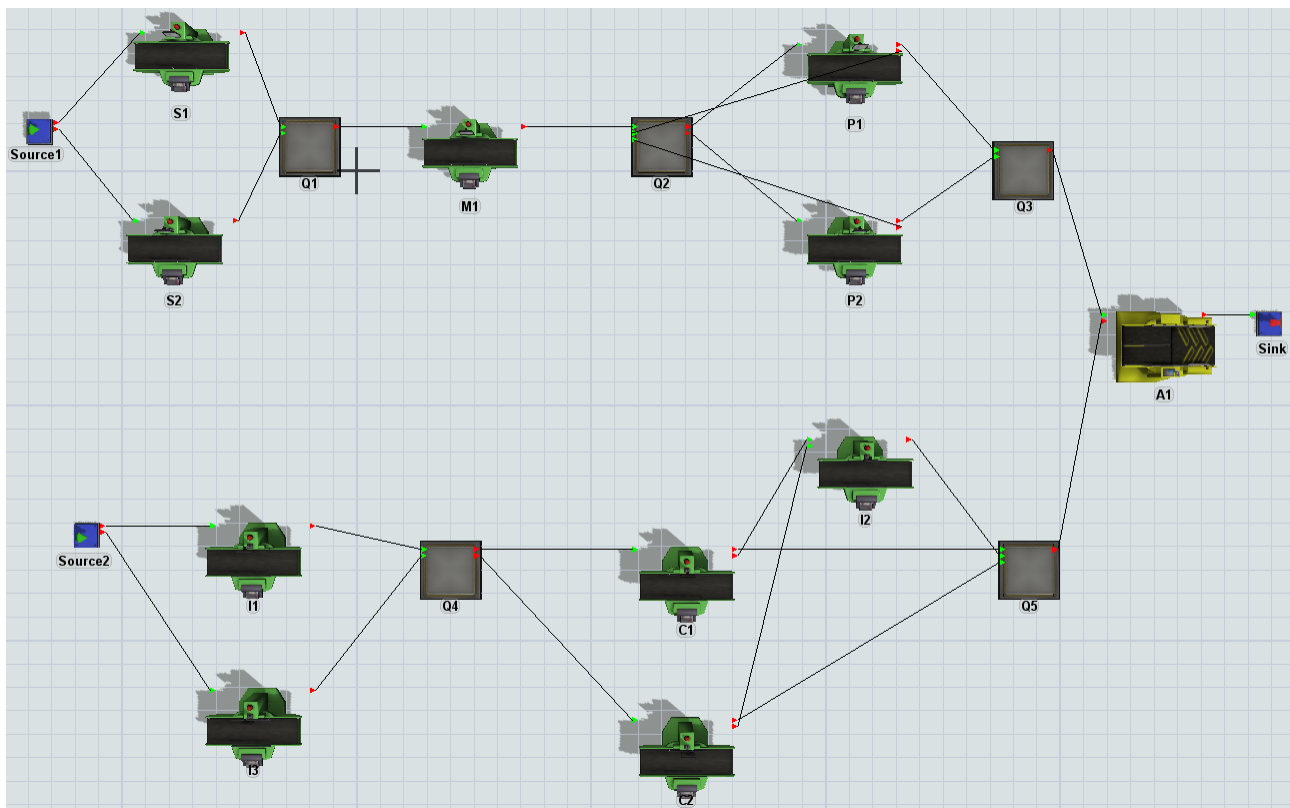
**Tablica 8:** 4. iteracija

Predmet promatranja	Processing (%)	Generating (%)	Collecting (%)	Idle (%)	Blocked (%)	Breakdown (%)
$S_1$	17,1			52,8	13,7	16,4
$S_2$	21,4			56,7	12,3	9,6
$M_1$	39,1			37,5	0	23,4
$P_1$	53,3			46,7	0	
$P_2$	44,2			55,8	0	
$I_1$	80,1			14	0	5,9
$I_3$	57,5			21,6	0	21
$C_1$	46,8			33,3	18	1,9
$C_2$	33,5			43,5	22,1	0,9
$I_2$	56,7			43,3	0	
$A_1$	39,4		11,6	49		
$Source_1$		78,9			21,1	
$Source_2$		57			43	

**Tablica 9:** 4. iteracija - troškovi

Unaprijeđenje	Cijena
Povećanje vremena procesiranja $S_2$ na 10s	500\$
Povećanje ulazne stope na $Source_2$ za 6 x 10%	600\$
<b>Preostali budžet</b>	0\$

sustava. Ovim poboljšanjima smo stopu izlaza iz stroja  $A_1$  doveli na 282.5 predmeta po satu, što je poboljšanje od 351% u odnosu na početni sustav. Na slici 13 prikazan je izgled konačnog sustava.



Slika 13: Konačni sustav

## 2. zadatak

U ovom zadatku cilj je bio početni sustav (bez poboljšanja) realizirati kao CONWIP sustav zanemarujući predmet koji se nalazi na stroju za sklapanje.

Kako bismo to napravili spojili smo oba *source*-a centralnom vezom s njihovim spremnicima  $Q_3$  i  $Q_5$  jer je zadatak donji i gornji dio linije zasebno realizirati kao CONWIP liniju.

Eksperimentalno je utvrđeno kako najveću propusnost stroja za sklapanje dobijamo kada  $WIP_{max}$  gornje linije postavimo na  $WIP_{max, up} = 70$  predmeta.

$WIP_{max}$  donje linije postavimo na  $WIP_{max, down} = 50$  predmeta.

Na slikama 14, 15 i tablici 10 prikazani su rezultati simulacije s ovakvim parametrima.

Realizaciju CONWIP sustava radimo na sljedeći način (pazeći koju globalnu tablicu referenciramo - WIP1 ili WIP2):

1. Kreriramo globalne tablice naziva 'WIP1' i 'WIP2'.

2. U oba *source*-a, kartica 'Triggers', u polje 'On Exit' dodajemo sljedeći odsječak koda:

```

1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 int port = param(2);
4
5 Table tab1 = reftable("WIP1");
6 int wip1 = tab1[1][1];
7 tab1[1][1]=wip1+1;
8 int wipmax = 70;
9 if (wip1 >= wipmax-1)
10   closeoutput(current);

```

3. Također, u oba *source*-a u polje 'On Reset' dodajemo:

```
1 treenode current = ownerobject(c);
2
3 Table tab1 = reftable("WIP1");
4 int wip1 = tab1[1][1];
5 tab1[1][1]=0;
```

4. Zatim, u spremnike  $Q_3$  i  $Q_5$ , u polje 'On Exit' dodajemo:

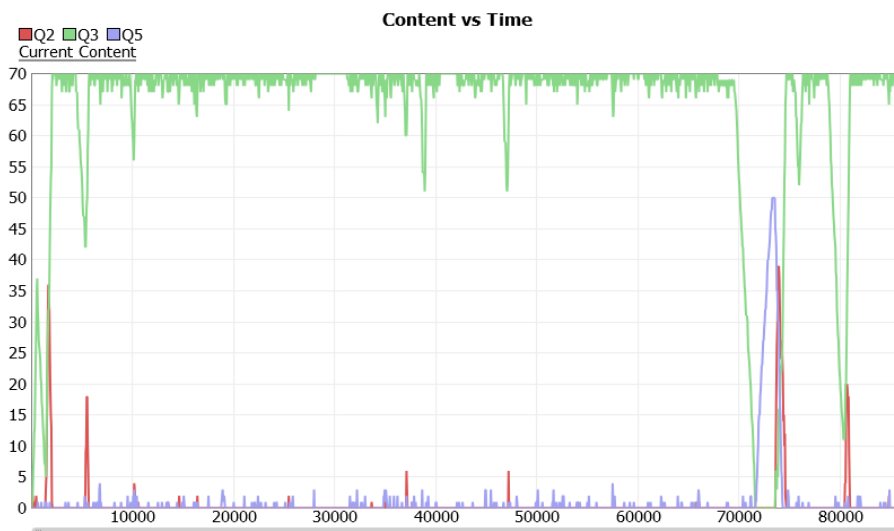
```
1 Object item = param(1);
2 Object current = ownerobject(c);
3 int port = param(2);
4
5 Object ulaz1 = centerobject(current,1);
6 Table tab3 = reftable("WIP1");
7 int wip3 = tab3[1][1];
8 tab3[1][1]=wip3-1;
9 openoutput(ulaz1);
```

Time su gornja i donja linija realizirane kao CONWIP sustav. Usporedimo li ovaj sustav s unaprijedom



Slika 14: Dashboard - 2. zadatak

iz prvog zadatka, vidimo da je i dalje sustav iz 1. zadatka u prednosti u smislu superiorne stope izlaza stroja za sklapanje. Međutim, realizacija CONWIP sustava ne košta ništa pa je u tom smislu u prednosti taj sustav. Također, postavljanjem ograničenja predmeta u prvoj liniji na vrijednost manju od zapremnine spremnika  $Q_2$  automatski smo spriječili moguće zaglavljenje opisano u 1. zadatku.



Slika 15: Stanja spremnika - 2. zadatak

Tablica 10: 2. zadatak

Predmet promatranja	Processing (%)	Generating (%)	Collecting (%)	Idle (%)	Blocked (%)	Breakdown (%)
$S_1$	7,6			75,3	2,7	14,5
$S_2$	1,9			82,4	3,5	12,1
$M_1$	15,8			72,4	0	11,8
$P_1$	28,5			71,5	0	
$P_2$	13,1			86,9	0	
$I_1$	62,1			31,2	0	6,6
$C_1$	31,4			63	4	1,6
$I_2$	21,2			78,8	0	
$A_1$	30,9		66,9	2,3		
$Source_1$		31,7			68,3	
$Source_2$		61,4			38,6	

## Zaključak

Analiziranjem tvornice za proizvodnju plastičnih čaša za kavu uočeno je loše dimenzioniranje parametara sustava. U cilju postizanja kvalitetnijeg sustava u okviru zadanog budžeta od približno 5000 \$ provedeno je poboljšanje i unaprijeđenje sustava. U svakoj od četiri opisane iteracije poboljšanja identificirani su kritični dijelovi, odnosno oni dijelovi koji narušavaju kvalitetu sustava. Potom su predložene promjene u sustavu kako bi se poboljšao navedeni kritični dio i postiglo zadovoljavajuće vrijeme isporuke proizvoda. Nakon provedenog i simuliranog poboljšanja na početnom zadanom procesu proizvodnje čaša za kavu, razina proizvodnje se drastično povećala, a time se vrijeme isporuke smanjilo. Postignuti rezultati su od velikog značaja za tvornicu, osobito u periodima povećane potražnje. Razina proizvodnje se povećala 351% u odnosu na početni sustav. Također, uz ova poboljšanja treba uzeti u obzir koliko je velika potražnja, ograničenost budžeta, ograničenost podataka te da li se isplati ulagati u unaprijeđenje navedenog sustava. Stoga, potrebno je istražiti i dodatne stvari glede zarade, isplativosti i ulaganja. Obzirom da se predviđa povećanje potražnje u narednom periodu, sigurni smo da bi opisana poboljšanja sustava uveliko zadovoljila predviđenu povišenu potražnju u dugom periodu, budući da je navedeni sustav simuliran samo za jedan dan.