



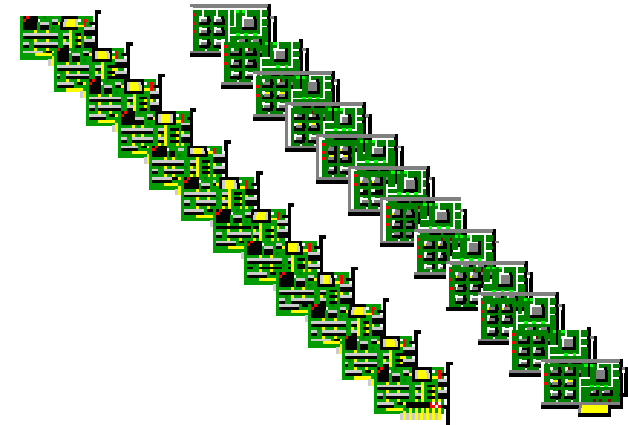
KVANTITATIVNA ANALIZA PROIZVODNIH PROCESA

Samopoređenje proizvodnih sistema

Uticaj varijacija na performanse

Kompanija HAL

- Linija za panele: proizvodi prazne štampane ploče
- Radi 24 h/dan (od toga je 19.5 h produktivno vreme)
- Nedavno izmerene performanse:
 - Ritam = 1400 ploča dnevno (71.8 ploča/h)
 - WIP = 47600 ploča
 - T_c = 34 dana (663 h pri 19.5 h/dan)
 - Nivo usluge = 75% isporuke na vreme



Da li je HAL lin?

Šta nam od podataka treba kako bi odlučili?

HAL – Prosesi na liniji za panele

Laminacija (Jezgra): utiskivanje bakra u prazno jezgro

Mašinska obrada: sečenje jezgara na veličinu

Interno povezivanje: urezivanje veza u bakar u jezgru

Optička provera i popravka (Interno): optička provera defekata

Laminacija (Kompoziti): utiskivanje jezgra u višeslojne ploče

Eksterno povezivanje: urezivanje veza na spoljašnjost kompozita

Optička provera i popravka (Eksterno): optička provera defekata

Bušenje: rupe koje obezbeđuju vezu između slojeva

Nanošenje bakra: nanošenje bakra u rupe kako bi se obezbedila veza

Zaštita: nanošenje sloja plastike za zaštitu ploče

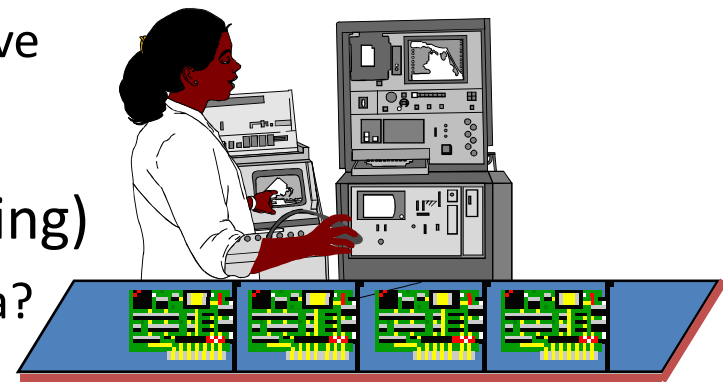
Sečenje: razdvajanje panela na ploče

Završno testiranje: električni test na kraju linije



Kompanija HAL - nauka?

- Eksterno poređenje (benčmarking)
 - Druge kompanije možda nisu uporedive
- Samopoređenje (interni benčmarking)
 - Podaci o kapacitetu: stepen korišćenja?
 - Ignoriše uticaj WIP



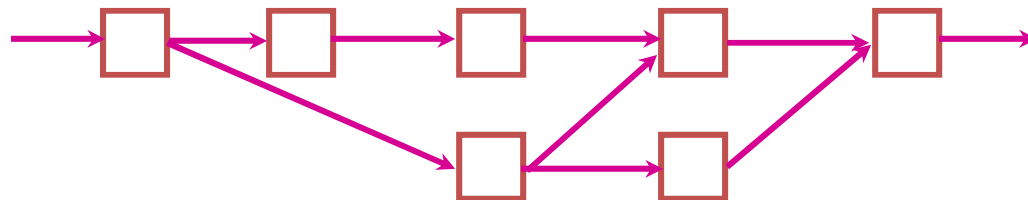
Potreban je odnos između WIP, ritma, Tc i nivoa usluge!

Osnovni termini

- **Ritam/protok (R):** prosečan broj delova proizveden u jedinici vremena (brzina kojom jedinice toka izlaze).
- **Zalihe nedovršene proizvodnje (WIP):** zalihe između početka i kraja proizvodne linije (broj jedinica toka u procesu).
- **Zalihe sirovog materijala (RMI):** materijal skladišten na početku linije.
- **Zalihe gotovih proizvoda (FGI):** materijal koji se skladišti na kraju linije (pre nego što ode kod korisnika).
- **Vreme ciklusa / protočno vreme (Tc):** vreme koje jedinica toka provede u procesu (od ulaska u proces do izlaska iz procesa).
- **Posao:** količina proizvoda koja prolazi kroz liniju (*transfer batch*)

Definicije

- **Definicija:** Proizvodni sistem je *ciljno orijentisana mreža procesa* kroz koju *protiču delovi*.
- **Struktura:** Fabrika je sastavljena od ruta (linija), koje se sastoje iz procesa.
- **Fokus:** Zanimaju nas *mreže i tokovi na nivou rute (linije)*.



Parametri linije

Parametri linije:



- 1) Ritam na uskom grlu (r_b): ritam na resursu koji ima dugoročno najveći stepen korišćenja kapaciteta.
 - 2) Sirovo vreme obrade (T_0): suma dugoročnog proseka vremena obrade na svakom procesu u liniji.
 - 3) Koeficijent zagušenja (α): mera zagušenja (nema jedinicu).
 - Bez varijacija, $\alpha = 0$.
 - Praktični najgori slučaj, $\alpha = 1$.
 - Najgori slučaj, $\alpha = W_0$.
- Napomena:** nećemo ga izražavati kvantitativno, samo ukazuje da se linije sa istim r_b i T_0 mogu ponašati drugačije.*

Parametri linije

Relacija:

Kritični nivo $WIP (W_0)$: nivo WIP kod kojeg će linija bez zagušenja ostvariti maksimalni ritam (r_b) uz minimalno vreme protočno vreme (T_0).

$$W_0 = r_b T_0$$

Fabrika novčića

- Karakteristike:
 - Četiri identična radna mesta u nizu.
 - Svakom treba 2 sata po komadu (novčiću).
 - Nema varijacija.
 - Novi novčić može da uđe u liniju tek kada iz nje izađe gotov (CONWIP).

- Parametri:

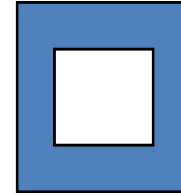
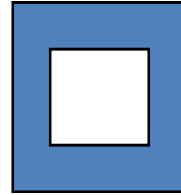
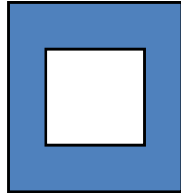
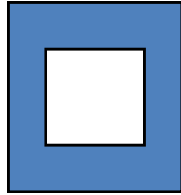
$$r_b = 0.5 \text{ novčića/h}$$

$$T_0 = 8 \text{ h}$$

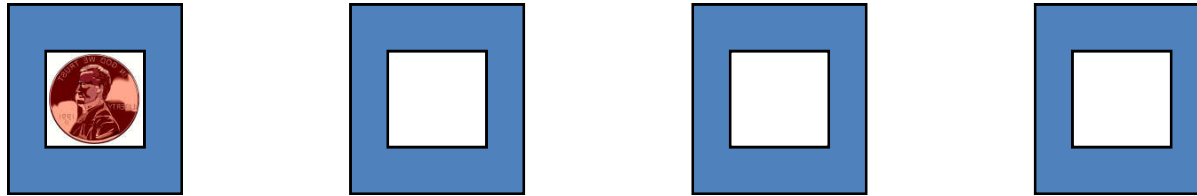
$$W_0 = 0.5 \times 8 = 4 \text{ novčića}$$

$$\alpha = 0 \text{ (nema varijacija, najbolji mogući uslovi)}$$

Fabrika novčica

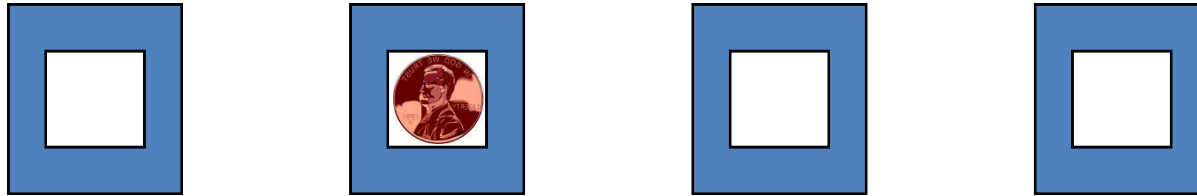


Fabrika novčića (WIP=1)



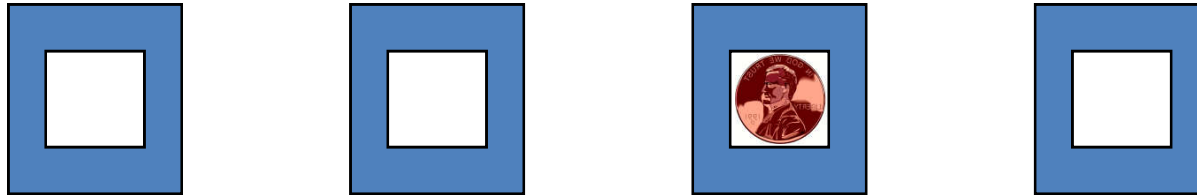
Vreme = 0 h

Fabrika novčića (WIP=1)



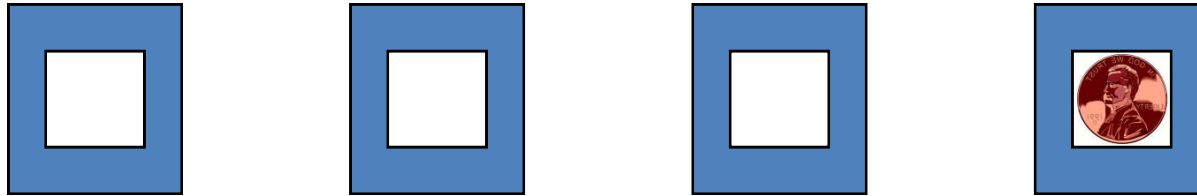
Vreme = 2 h

Fabrika novčića (WIP=1)



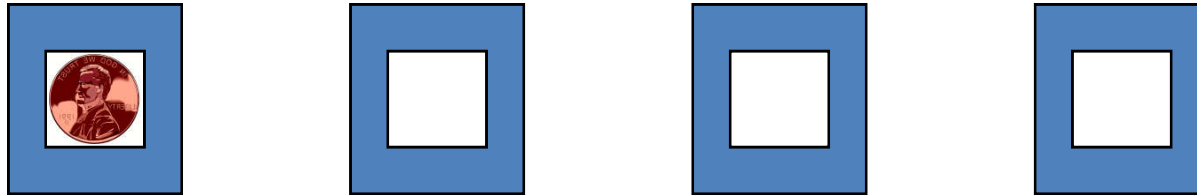
Vreme = 4 h

Fabrika novčića (WIP=1)



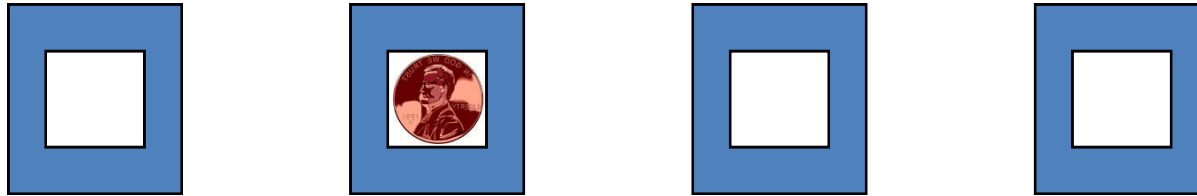
Vreme = 6 h

Fabrika novčića (WIP=1)



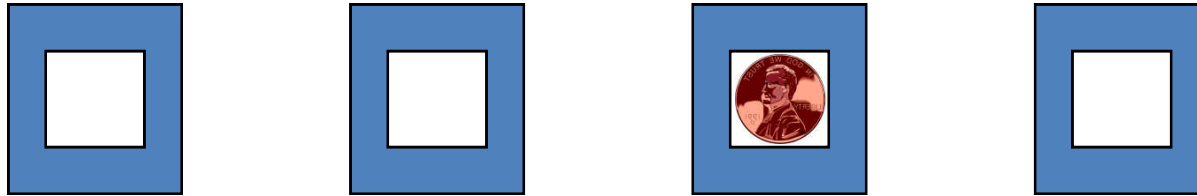
Vreme = 8 h

Fabrika novčića (WIP=1)



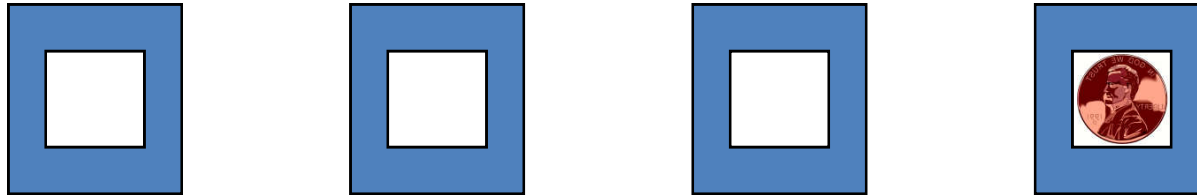
Vreme = 10 h

Fabrika novčića (WIP=1)



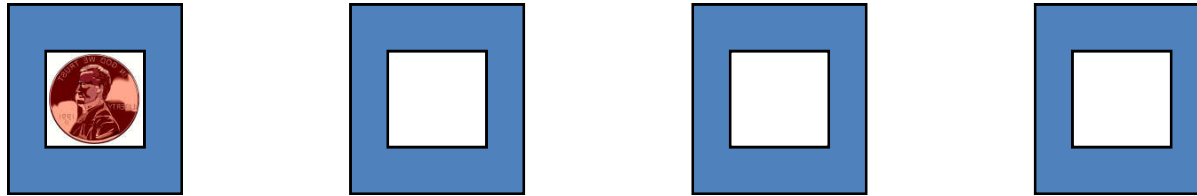
Vreme = 12 h

Fabrika novčića (WIP=1)



Vreme = 14 h

Fabrika novčića (WIP=1)

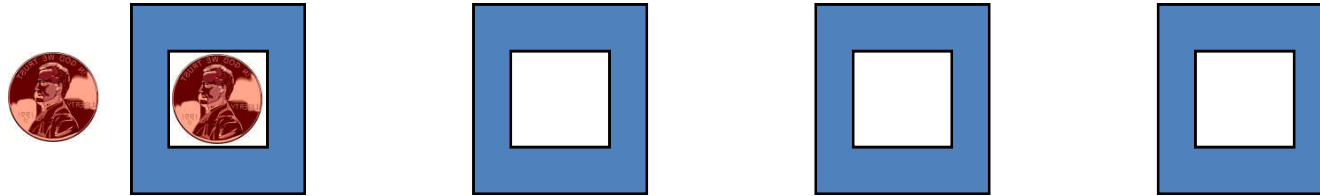


Vreme = 16 h

Učinak fabrike novčića

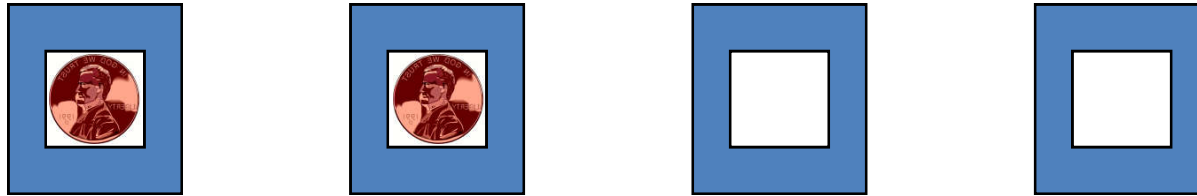
WIP	R	Tc	$R \times Tc$
1	0.125	8	1
2			
3			
4			
5			
6			

Fabrika novčića (WIP=2)



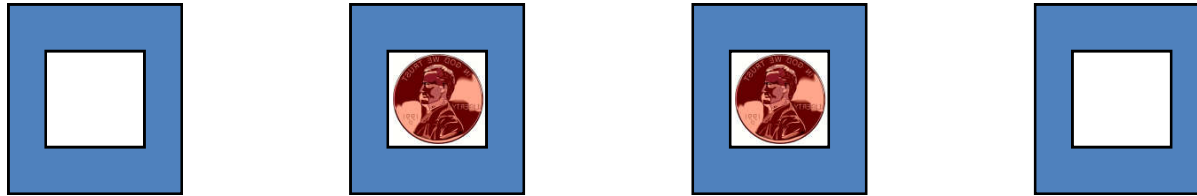
Vreme = 0 h

Fabrika novčića (WIP=2)



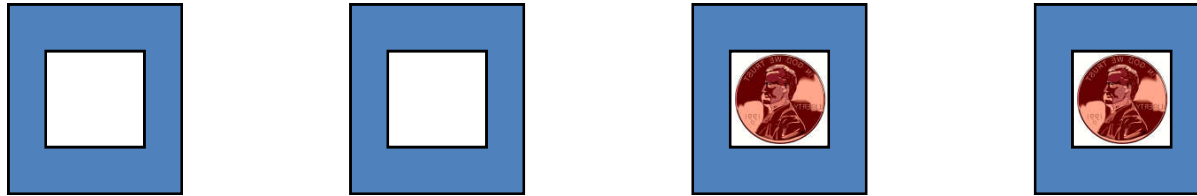
Vreme = 2 h

Fabrika novčića (WIP=2)



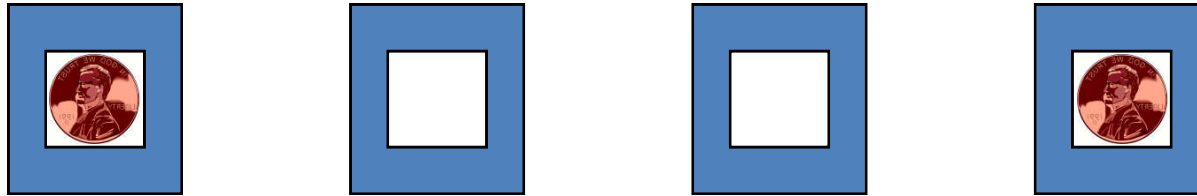
Vreme = 4 h

Fabrika novčića (WIP=2)



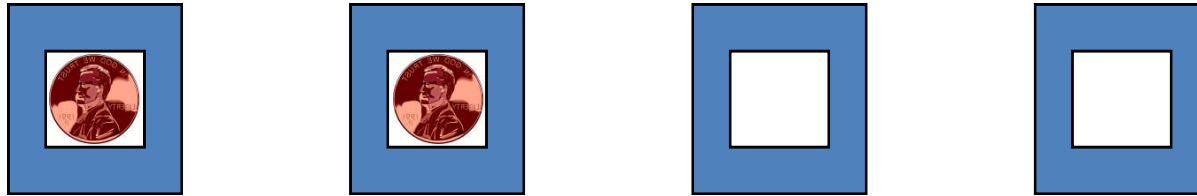
Vreme = 6 h

Fabrika novčića (WIP=2)



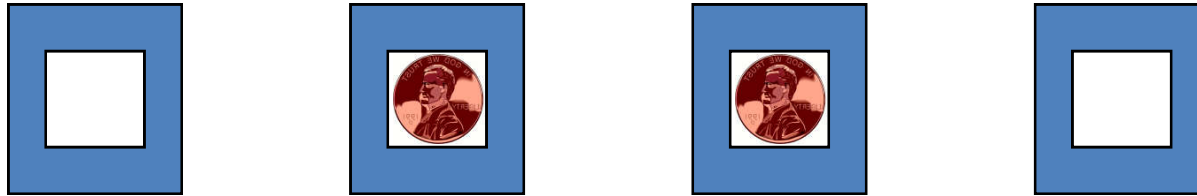
Vreme = 8 h

Fabrika novčića (WIP=2)



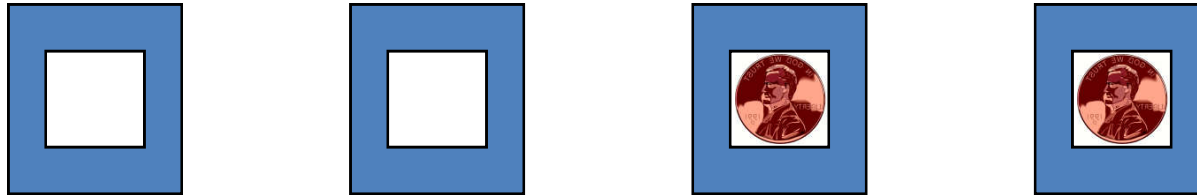
Vreme = 10 h

Fabrika novčića (WIP=2)



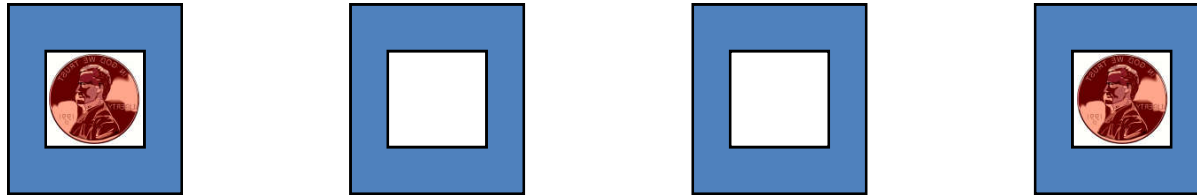
Vreme = 12 h

Fabrika novčića (WIP=2)



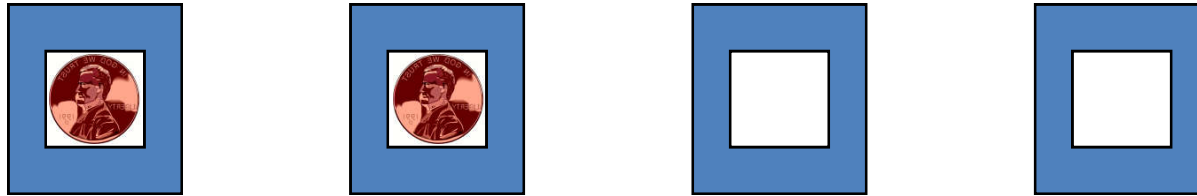
Vreme = 14 h

Fabrika novčića (WIP=2)



Vreme = 16 h

Fabrika novčića (WIP=2)

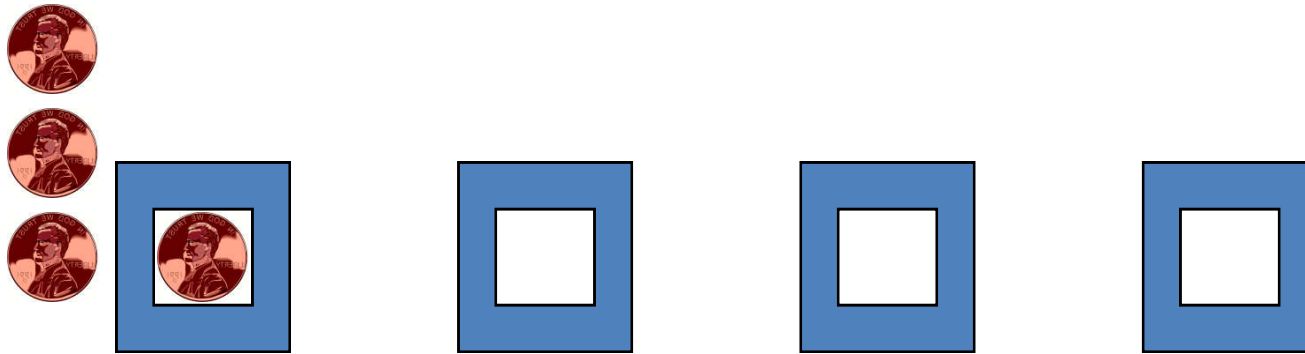


Vreme = 18 h

Učinak fabrike novčića

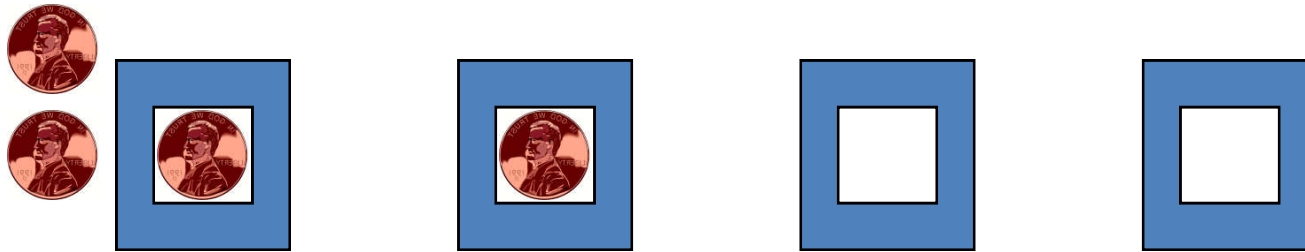
WIP	R	T _c	R×T _c
1	0.125	8	1
2	0.250	8	2
3			
4			
5			
6			

Fabrika novčića (WIP=4)



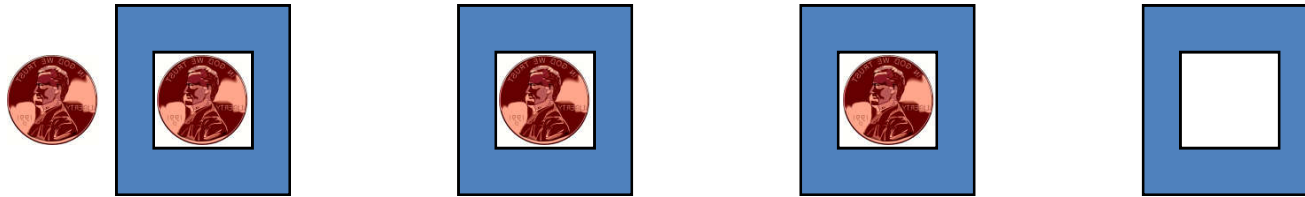
Vreme = 0 h

Fabrika novčića (WIP=4)



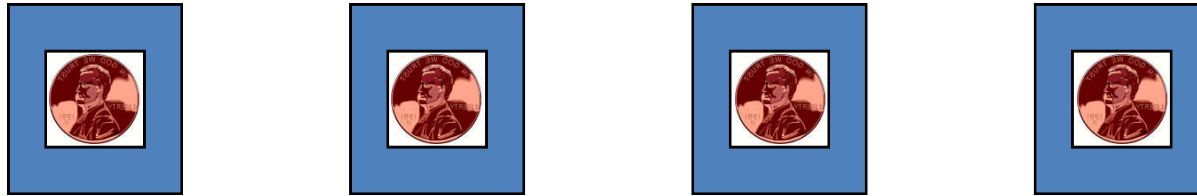
Vreme = 2 h

Fabrika novčića (WIP=4)



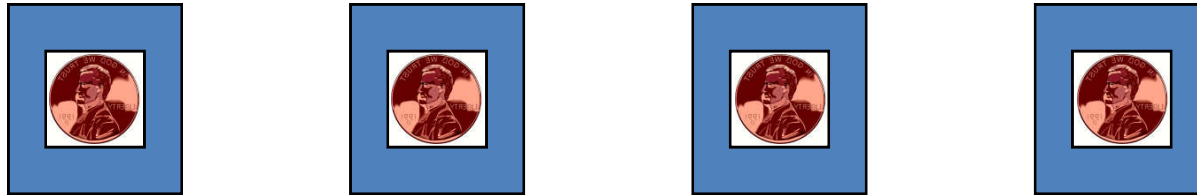
Vreme = 4 h

Fabrika novčića (WIP=4)



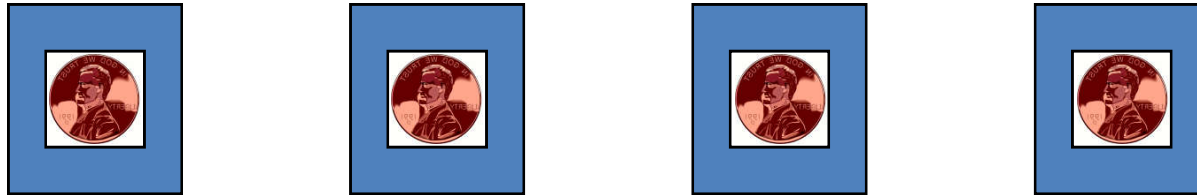
Vreme = 6 h

Fabrika novčića (WIP=4)



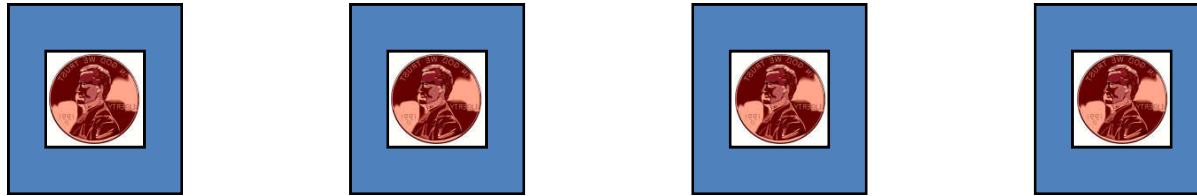
Vreme = 8 h

Fabrika novčića (WIP=4)



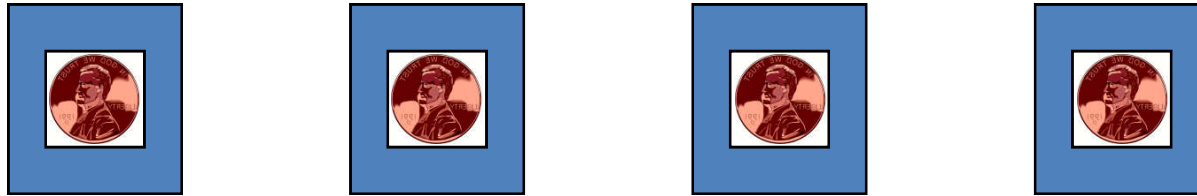
Vreme = 10 h

Fabrika novčića (WIP=4)



Vreme = 12 h

Fabrika novčića (WIP=4)

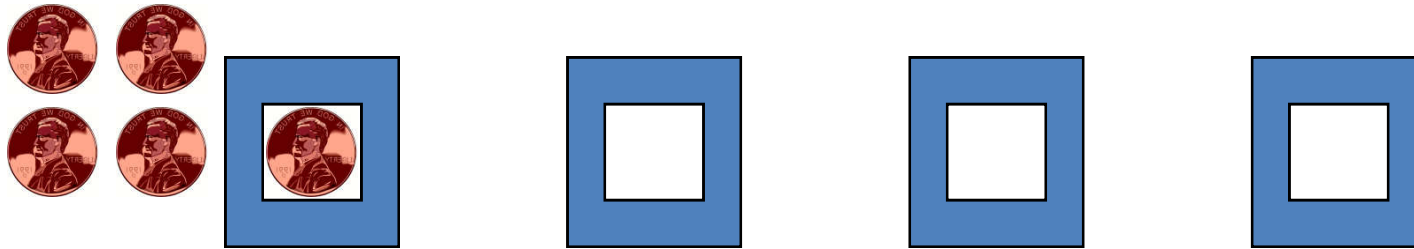


Vreme = 14 h

Učinak fabrike novčića

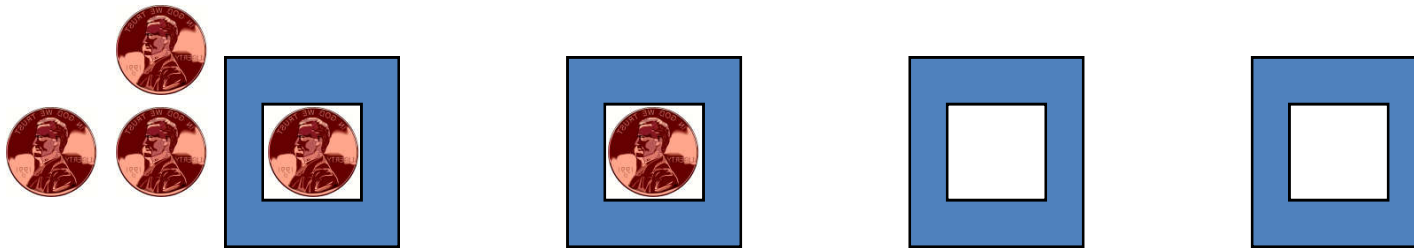
WIP	R	T _c	R×T _c
1	0.125	8	1
2	0.250	8	2
3	0.375	8	3
4	0.500	8	4
5			
6			

Fabrika novčića (WIP=5)



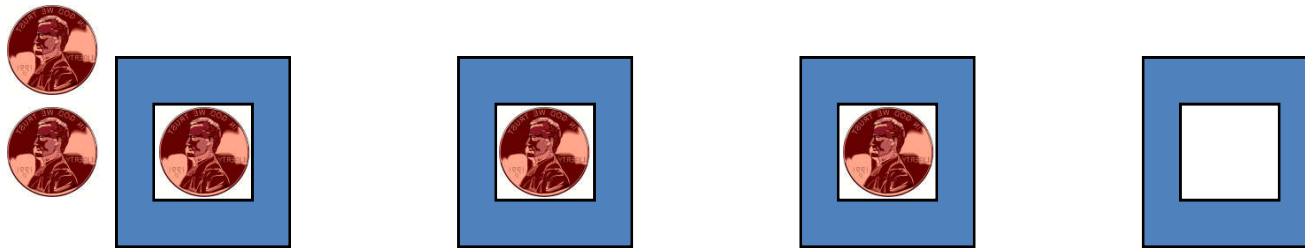
Vreme = 0 h

Fabrika novčića (WIP=5)



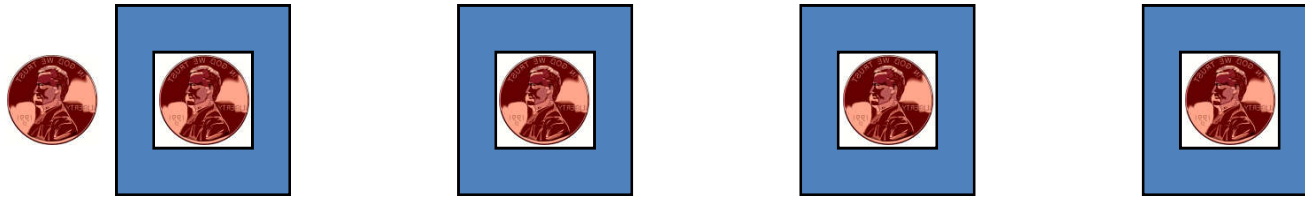
Vreme = 2 h

Fabrika novčića (WIP=5)



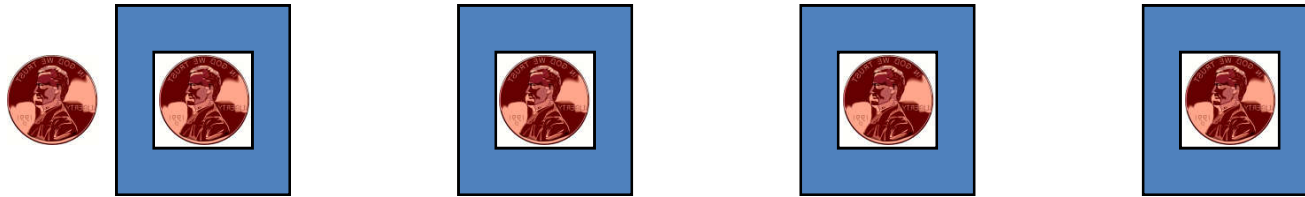
Vreme = 4 h

Fabrika novčića (WIP=5)



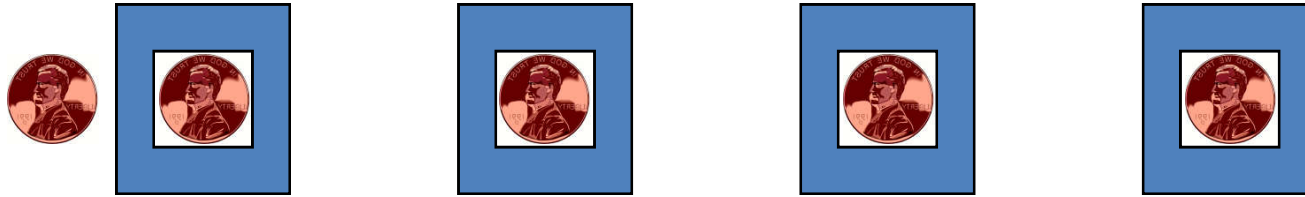
Vreme = 6 h

Fabrika novčića (WIP=5)



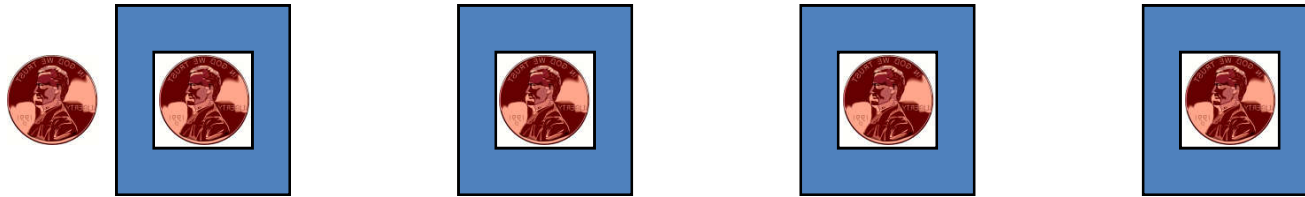
Vreme = 8 h

Fabrika novčića (WIP=5)



Vreme = 10 h

Fabrika novčića (WIP=5)

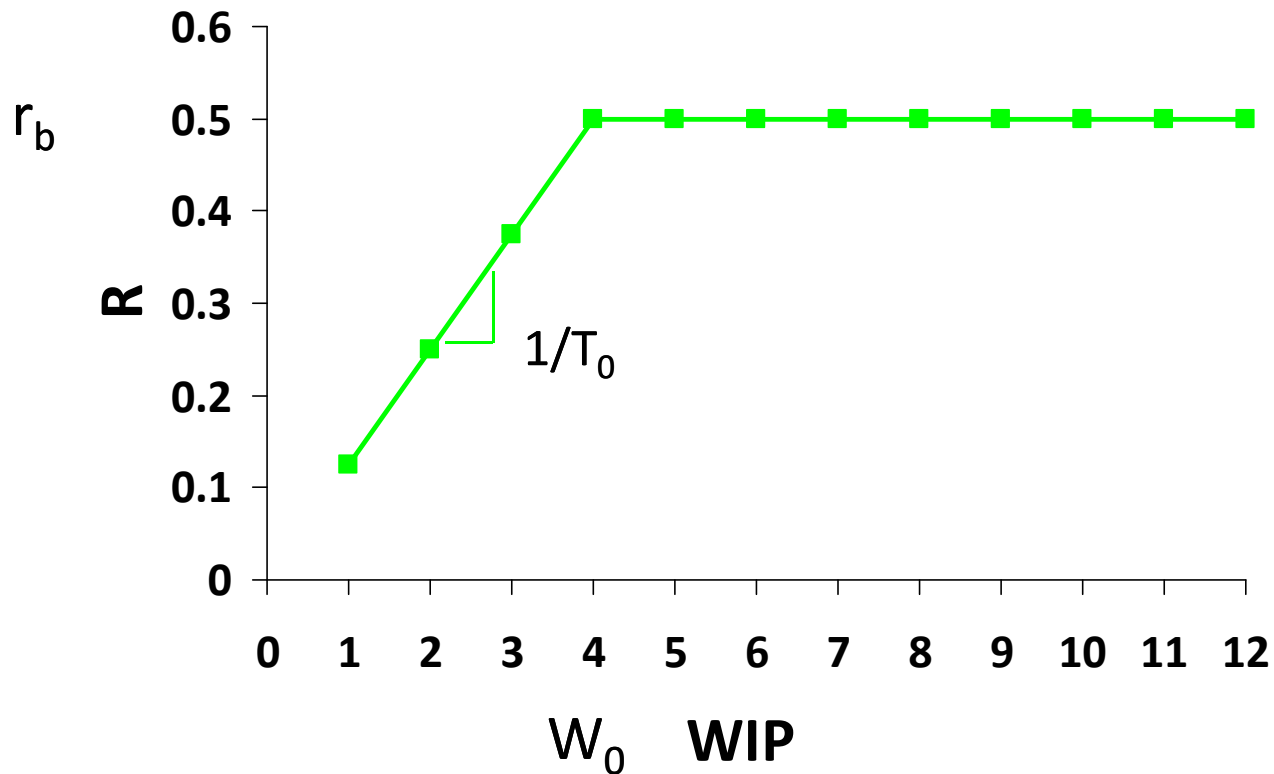


Vreme = 12 h

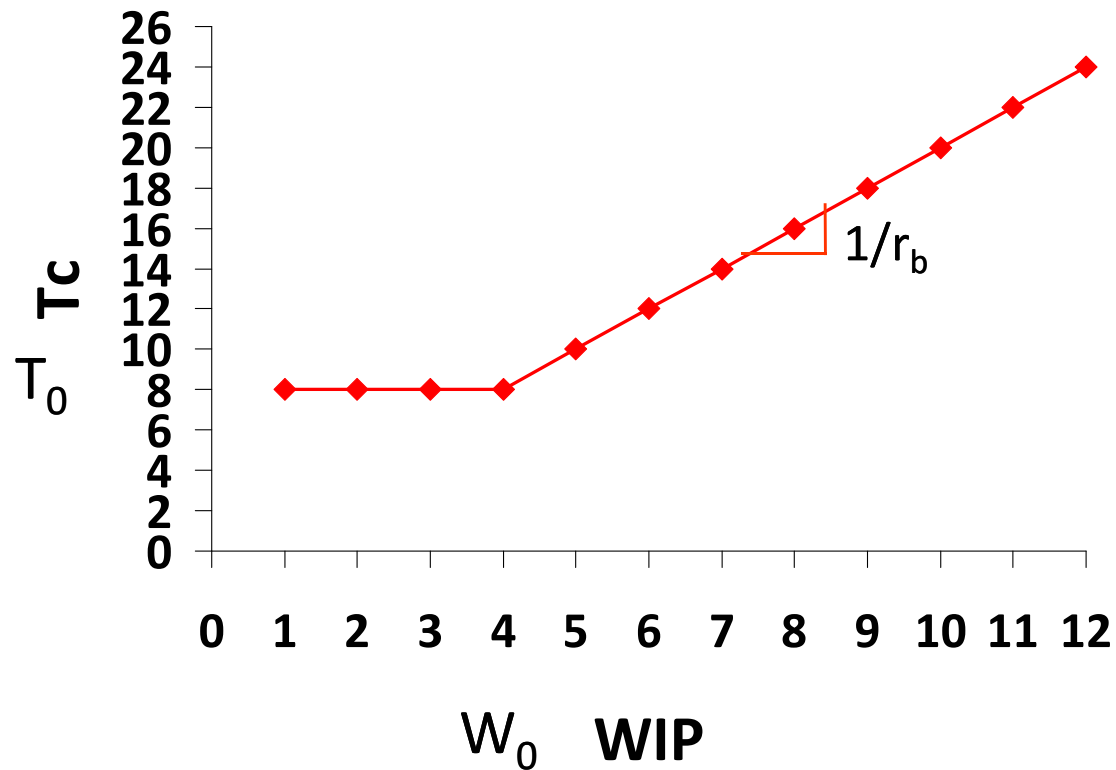
Učinak fabrike novčića

WIP	R	T _c	R×T _c
1	0.125	8	1
2	0.250	8	2
3	0.375	8	3
4	0.500	8	4
5	0.500	10	5
6	0.500	12	6

R vs. WIP: Najbolji slučaj



Tc vs. WIP: Najbolji slučaj



Učinak u najboljem slučaju

Zakon najboljeg slučaja: Minimalno protočno vreme ($T_{c_{najbolje}}$) za dati nivo zaliha (w) nedovršene proizvodnje WIP, je

$$T_{c_{najbolje}} = \begin{cases} T_0, & \text{ako je } w \leq W_0 \\ w/r_b, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

Maksimalni ritam ($R_{najbolji}$) za dati nivo zaliha (w) nedovršene proizvodnje WIP, je

$$R_{najbolji} = \begin{cases} w/T_0, & \text{ako je } w \leq W_0 \\ r_b, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$



Učinak u najboljem slučaju

- Primer: za Fabriku novčića, $r_b = 0.5$ i $T_0 = 8$, pa je $W_0 = 0.5 \times 8 = 4$,

$$TC_{\text{najbolje}} = \begin{cases} 8, & \text{ako je } w \leq 4 \\ 2w, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

$$R_{\text{najbolji}} = \begin{cases} w/8, & \text{ako je } w \leq 4 \\ 0.5, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

Što su krive koje su nacrtane na prethodnim graphicima.

Zakon proizvodnje

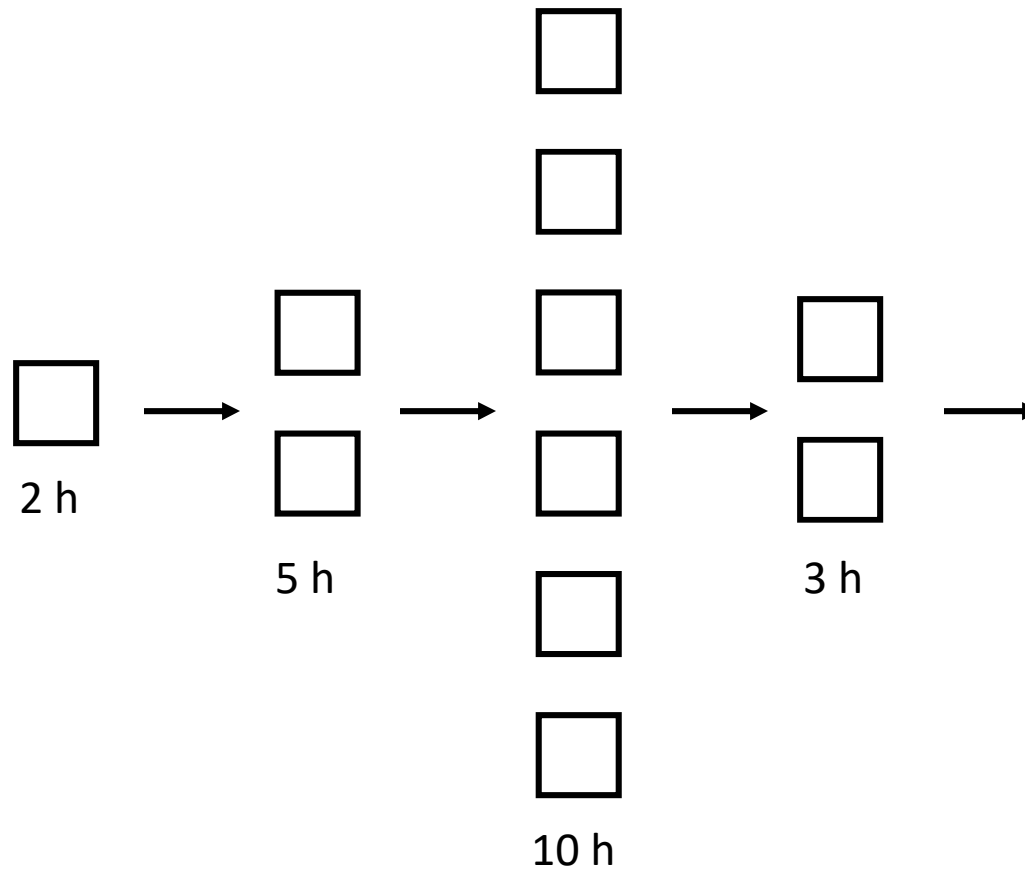
- Litlov zakon: *Fundamentalna veza između WIP, Tc i R u dugom vremenskom periodu je:*

$$WIP = R \times T_c$$

$$komada = \frac{komada}{h} \times h$$

- Značaj:
 - Fundamentalna veza
 - Jednostavna provera kroz jedinice
 - Definiše vreme ciklusa ($T_c = WIP/R$)

Fabrika novčića 2

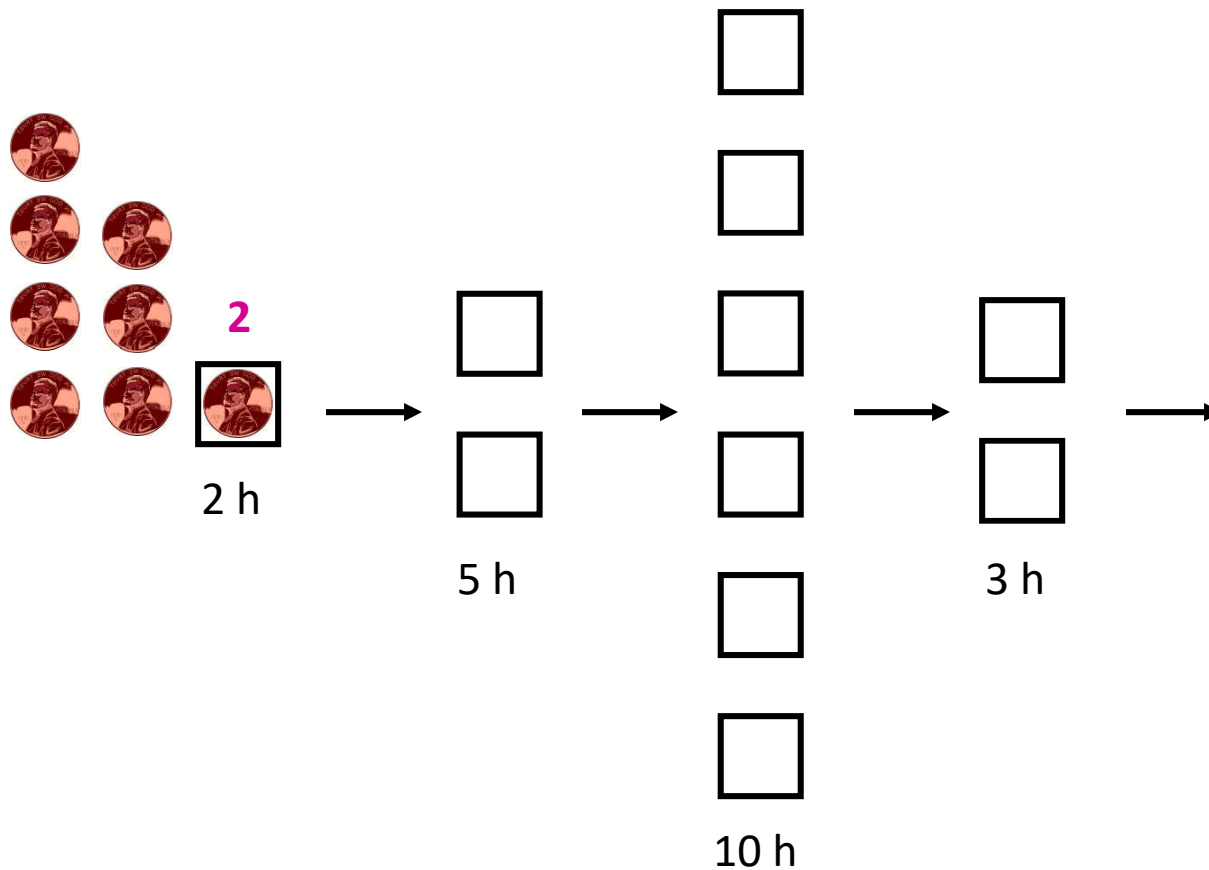


Fabrika novčića 2

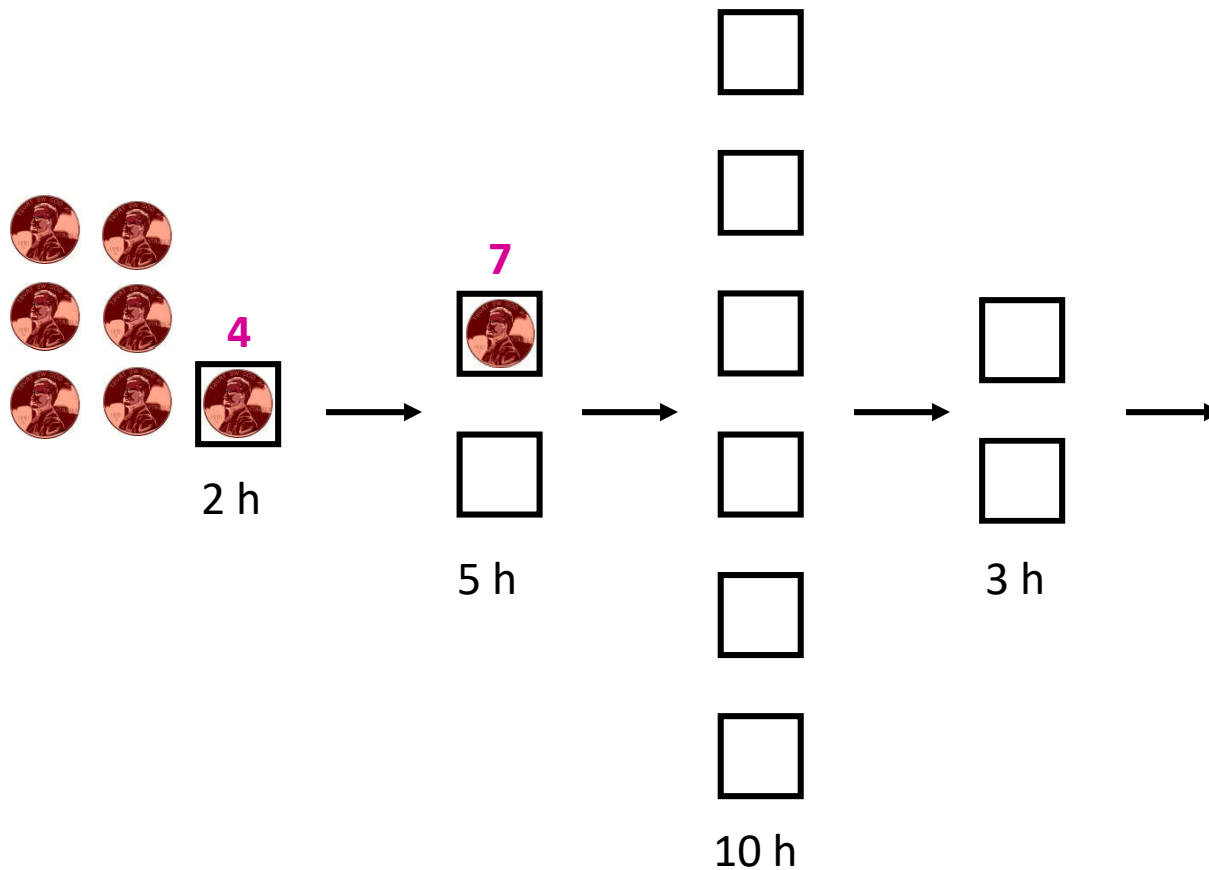
RM	Broj mašina	Vreme operacije	Ritam na RM
1	1	2 h	0.5 n/h
2	2	5 h	0.4 n/h
3	6	10 h	0.6 n/h
4	2	3 h	0.67 n/h

$$r_b = \underline{\mathbf{0.4 \text{ n/h}}} \quad T_0 = \underline{\mathbf{20 \text{ h}}} \quad W_0 = \underline{\mathbf{8 \text{ novčića}}}$$

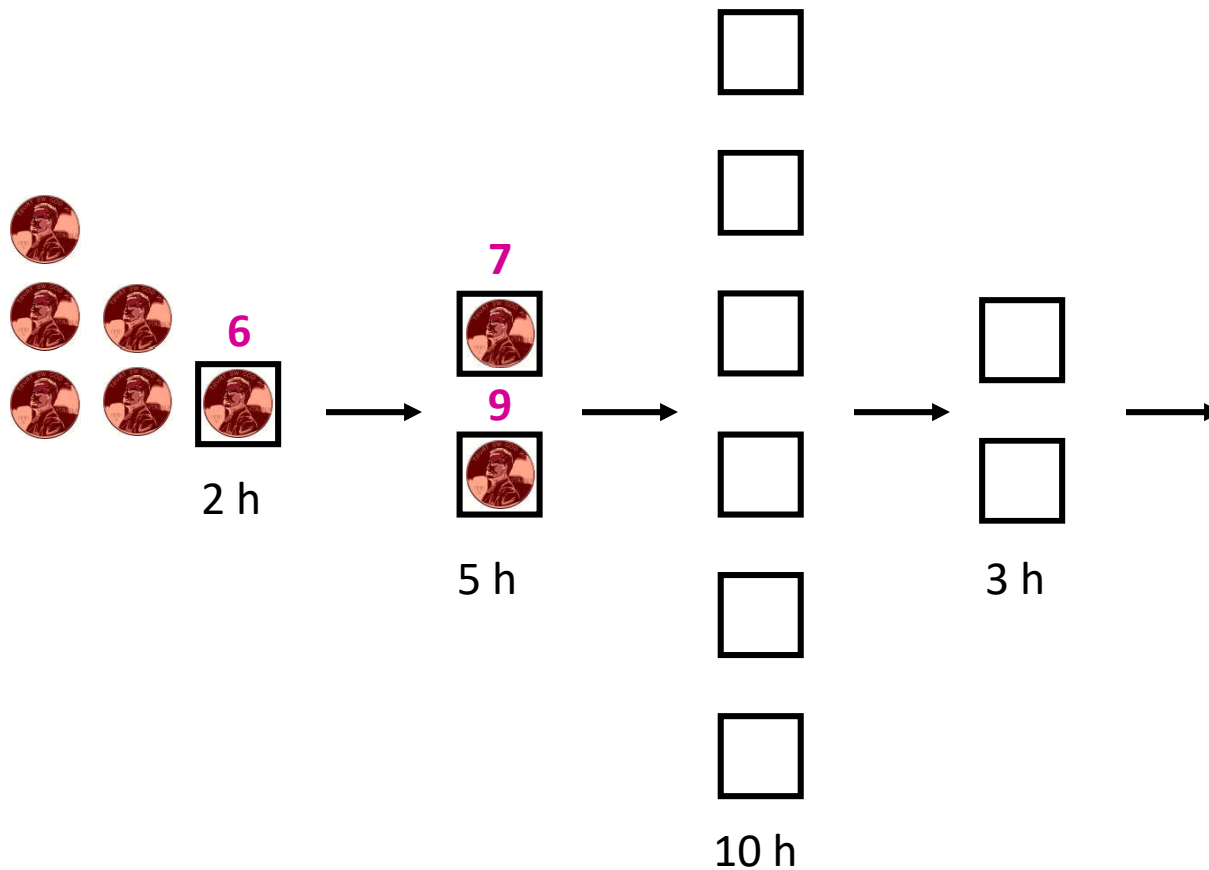
Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 0)



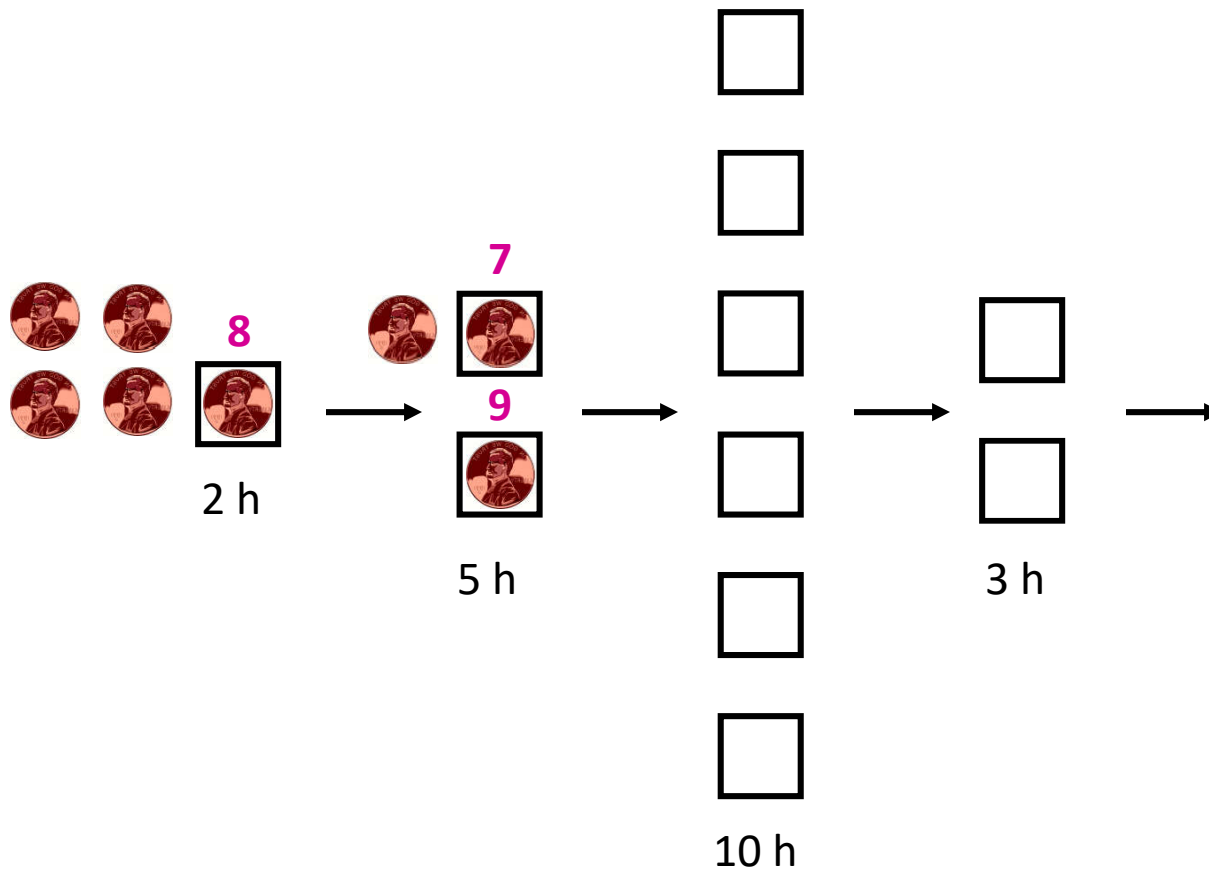
Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 2)



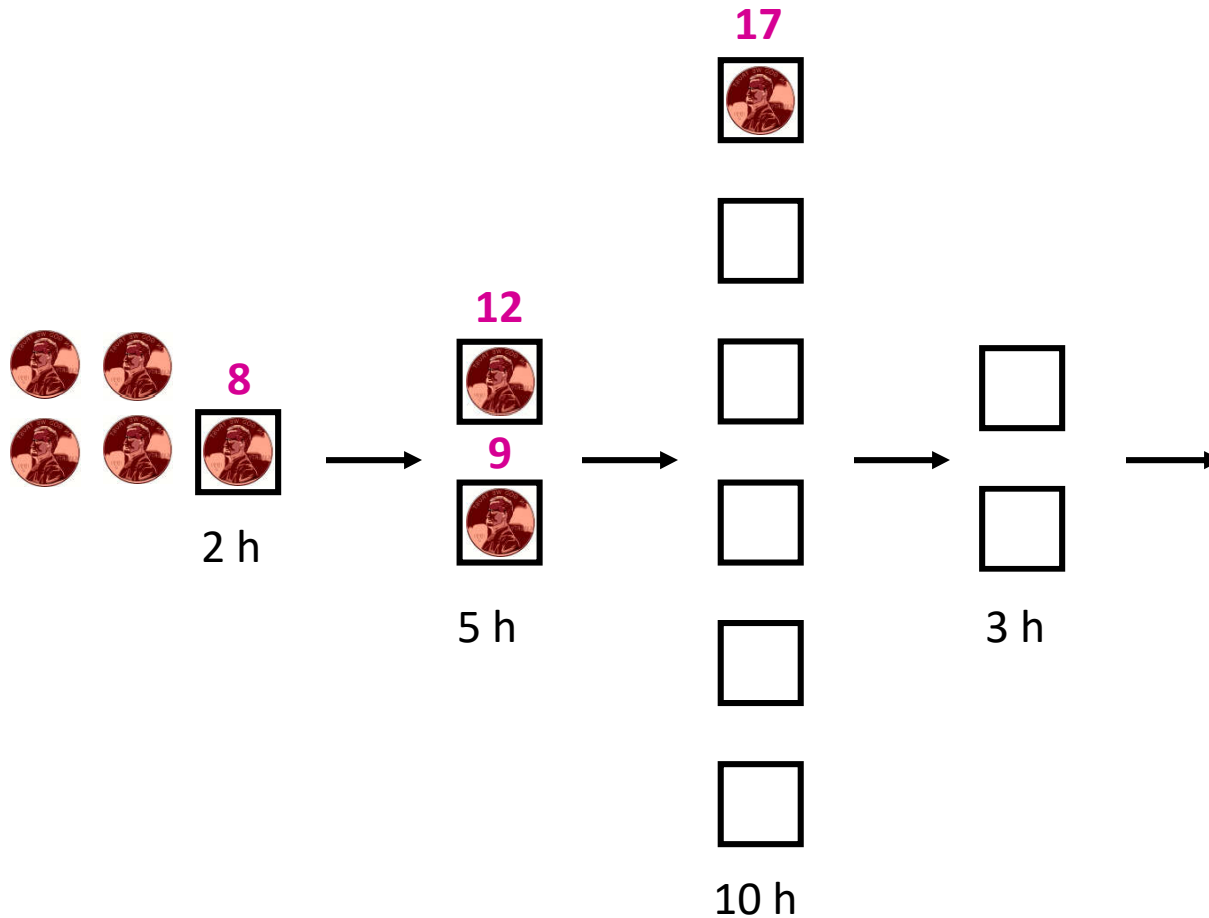
Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 4)



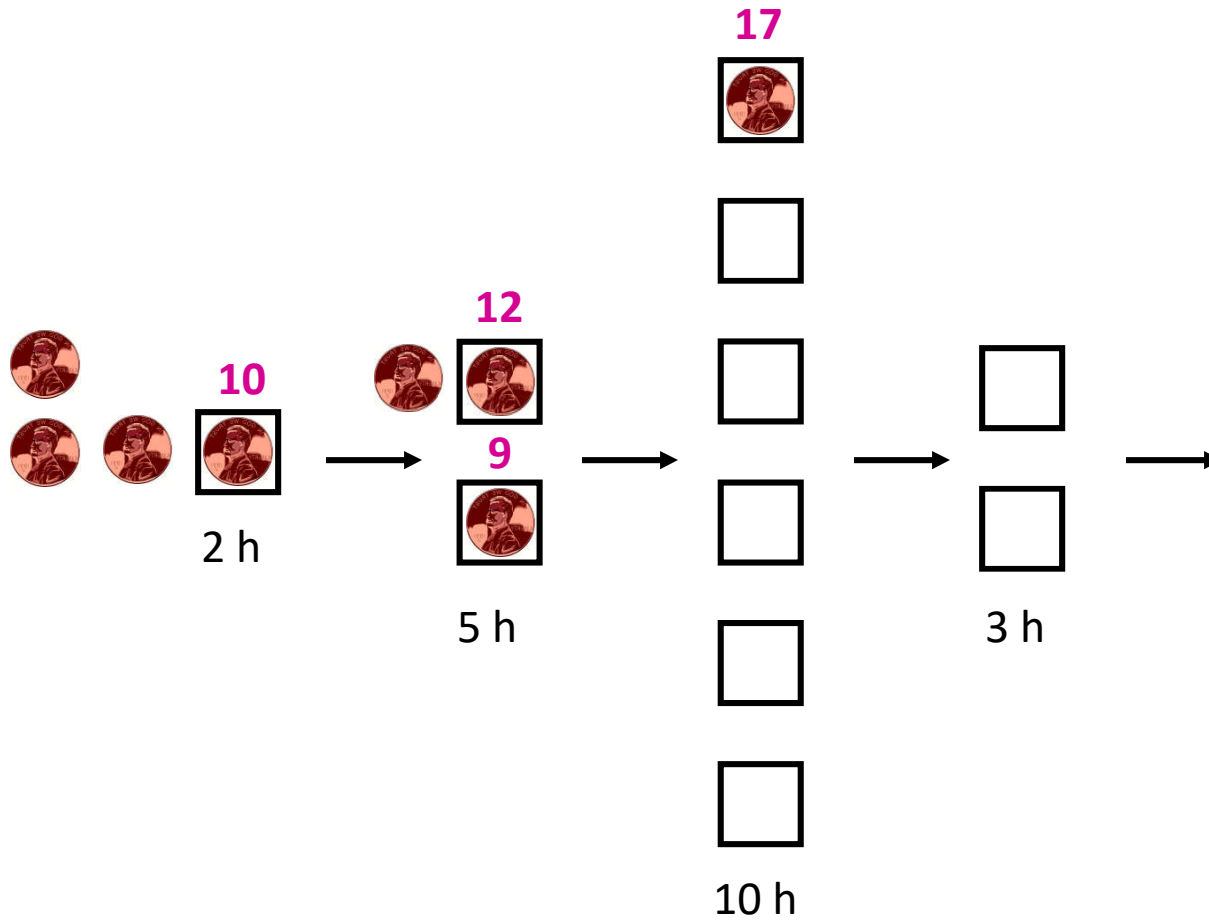
Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 6)



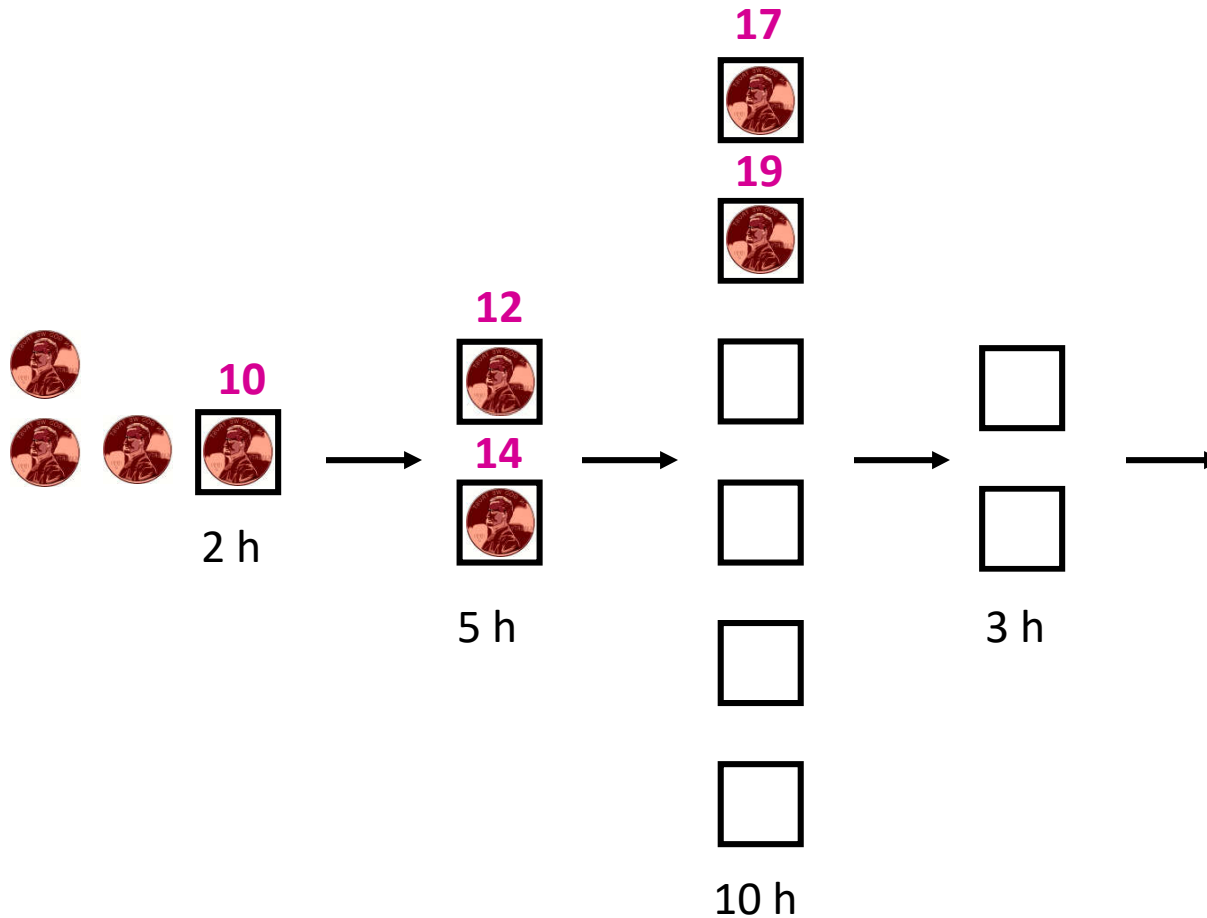
Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 7)



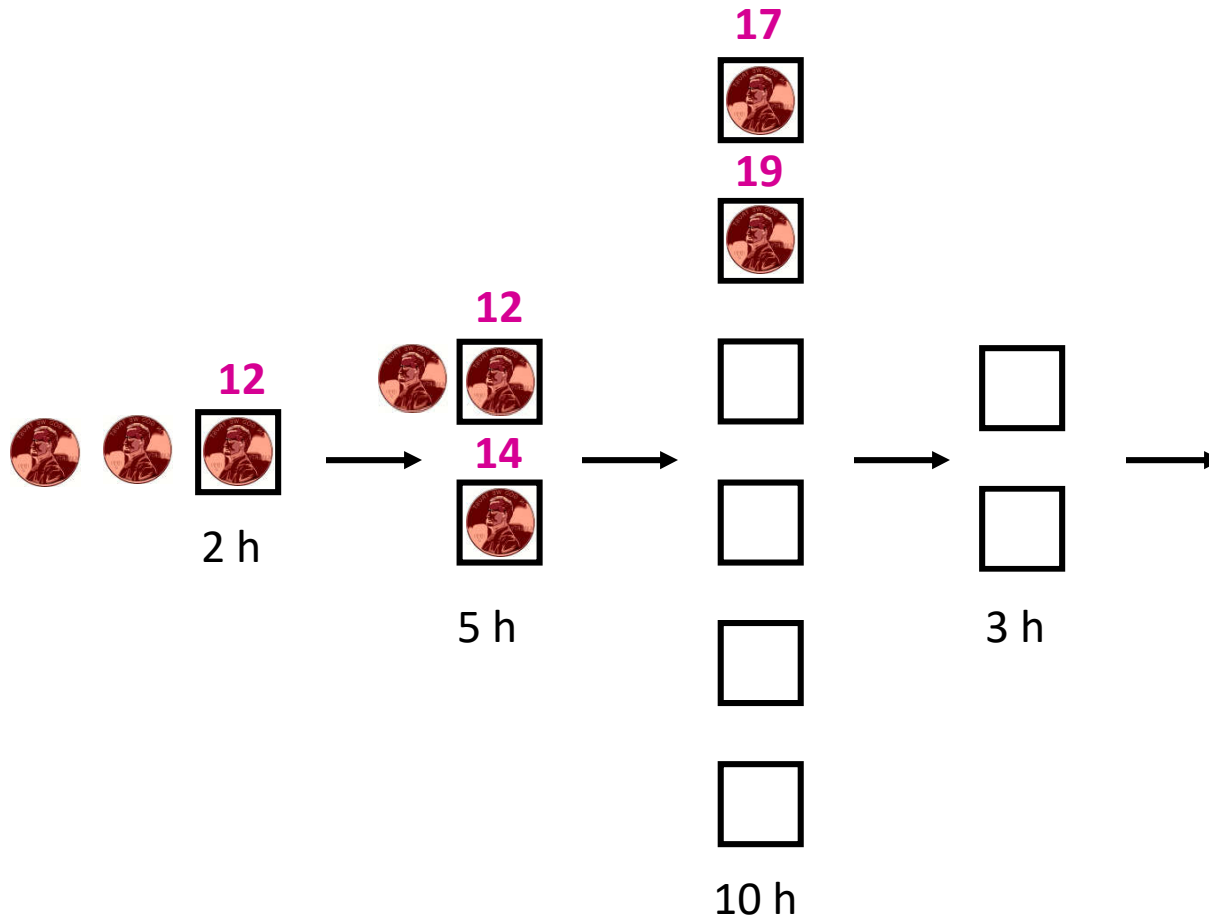
Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 8)



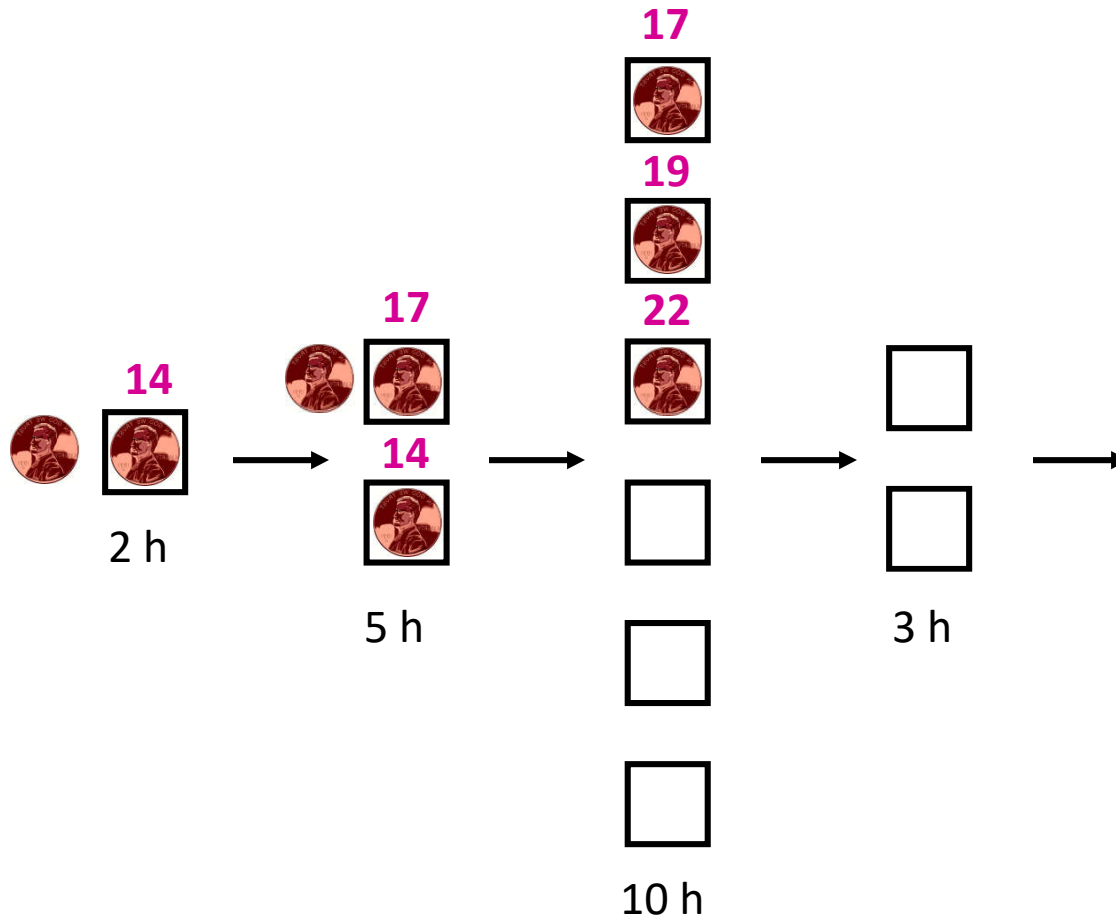
Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 9)



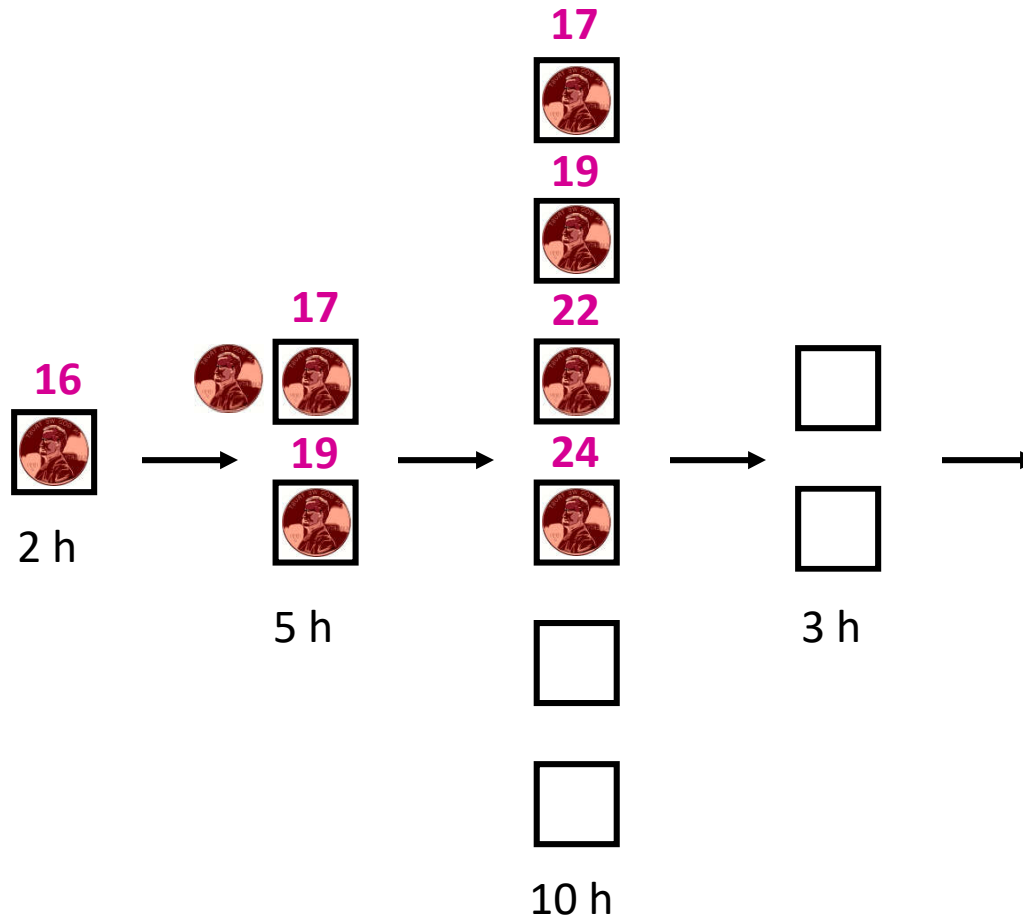
Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 10)



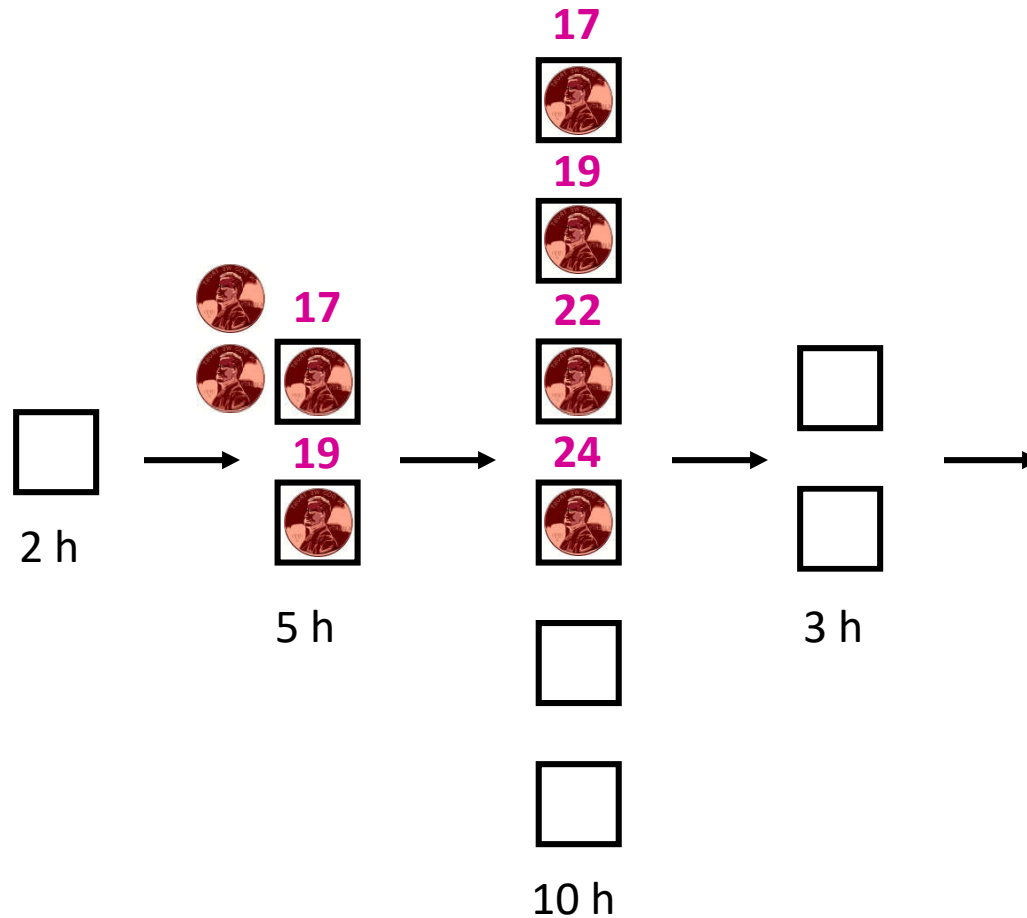
Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 12)



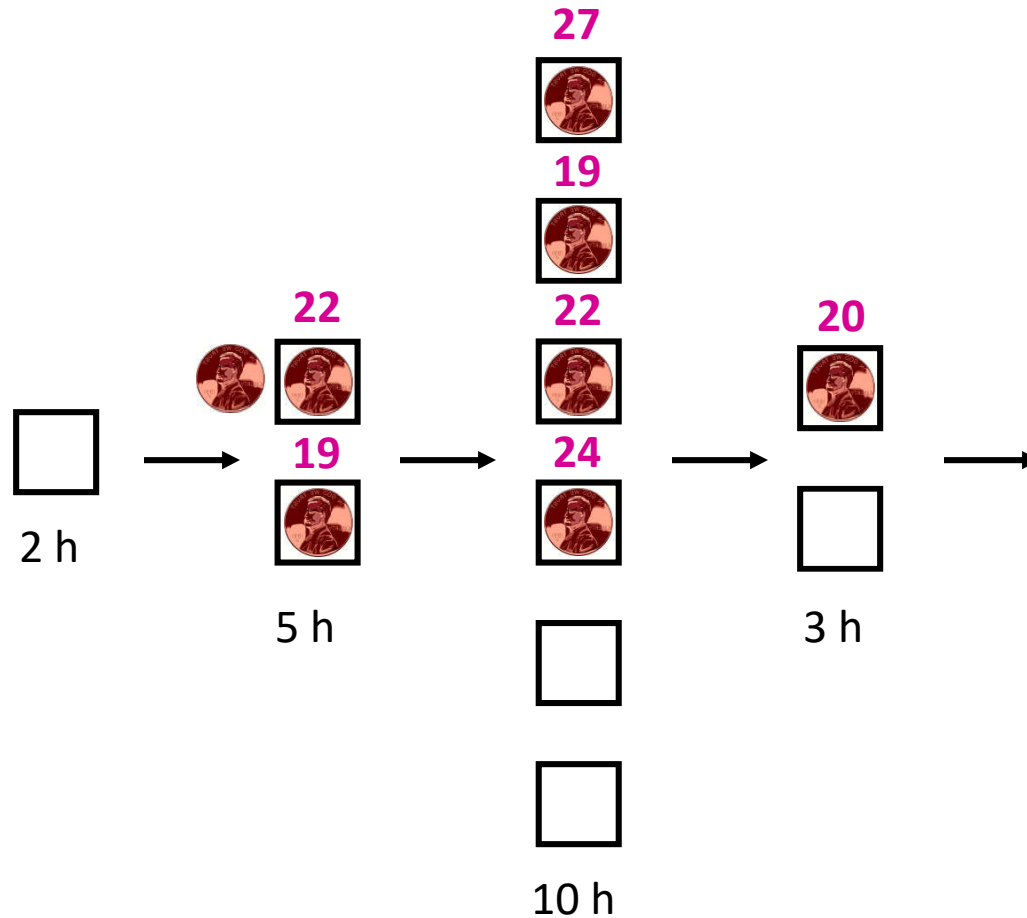
Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 14)



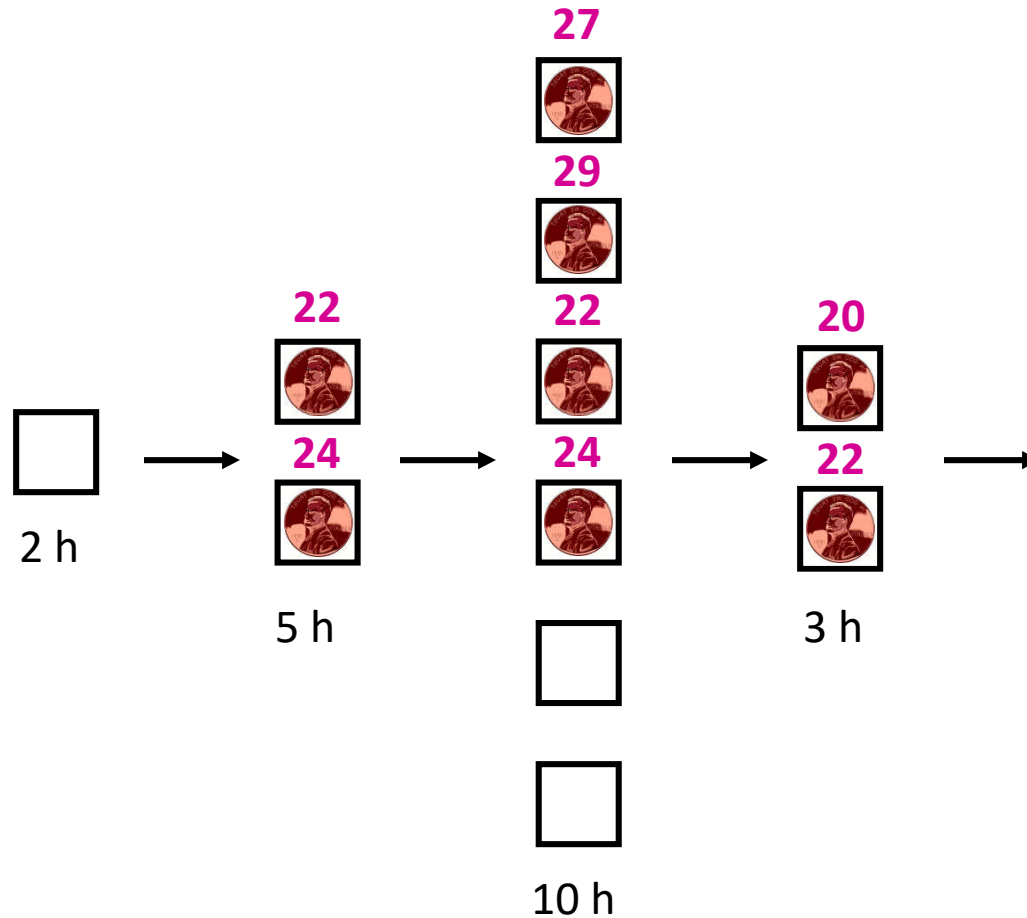
Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 16)



Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 17)

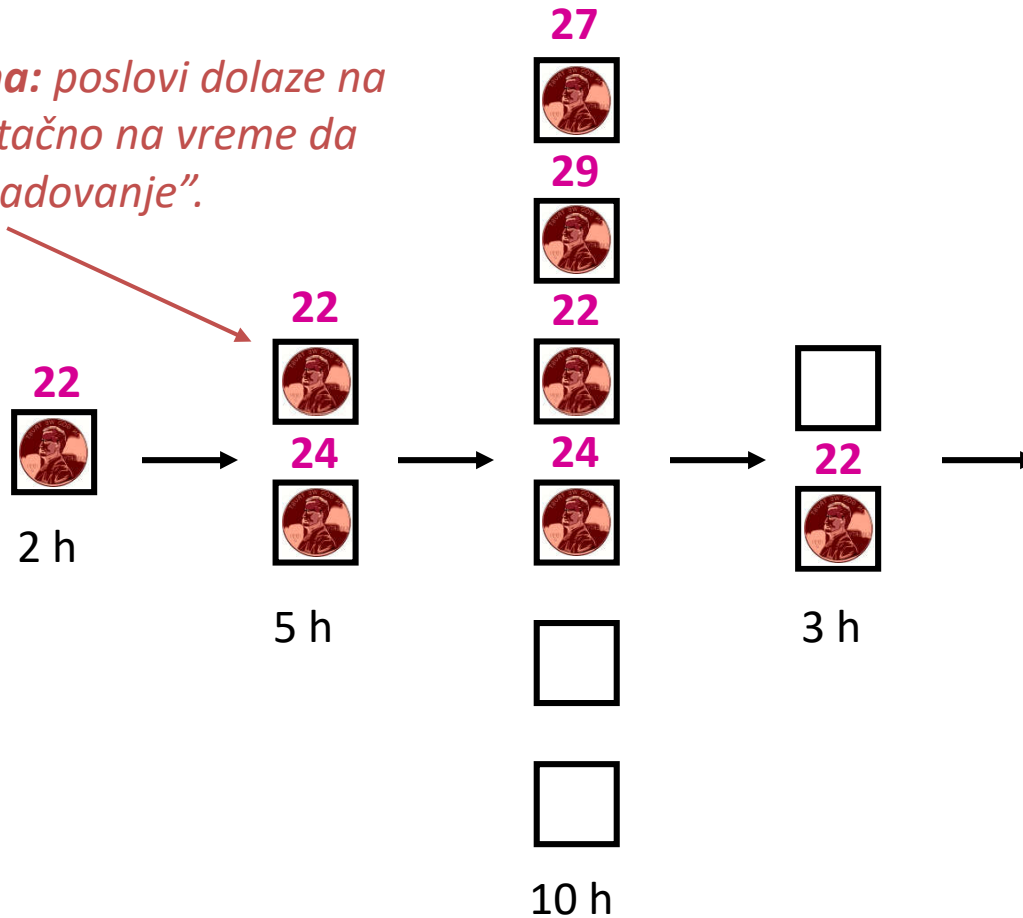


Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 19)

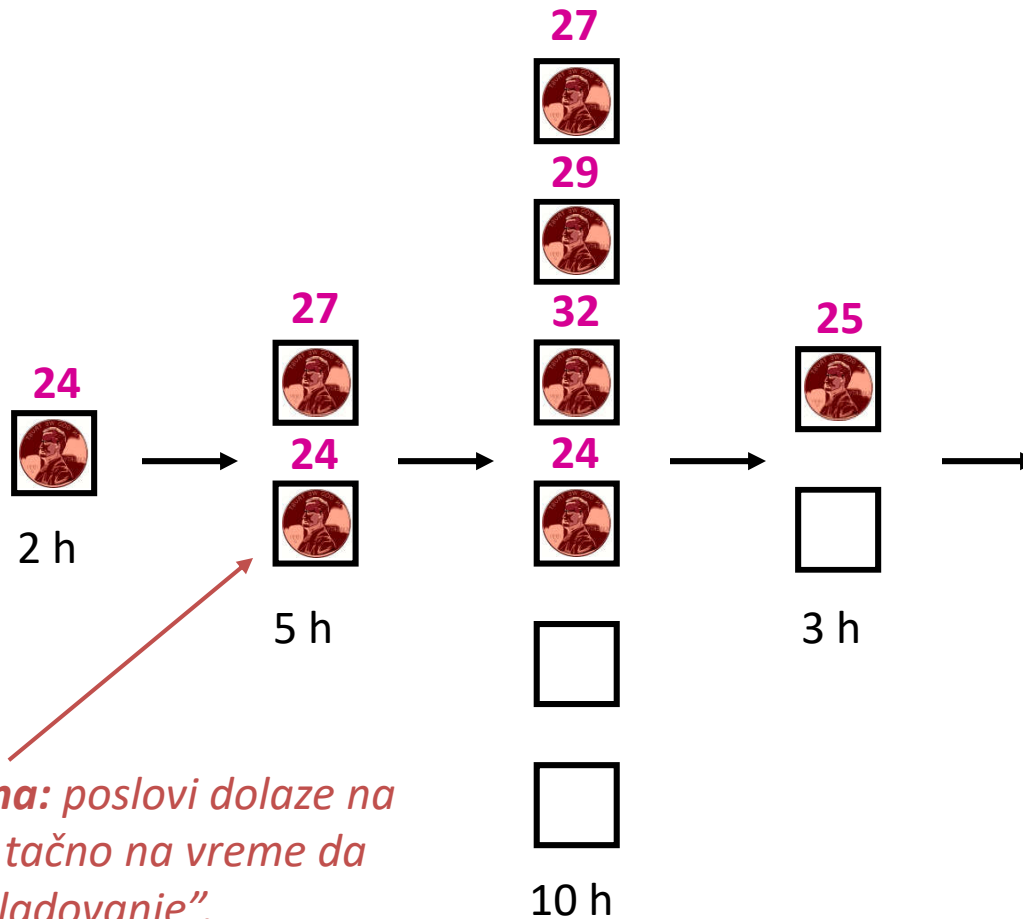


Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 20)

Napomena: poslovi dolaze na usko grlo tačno na vreme da spreče "gladovanje".

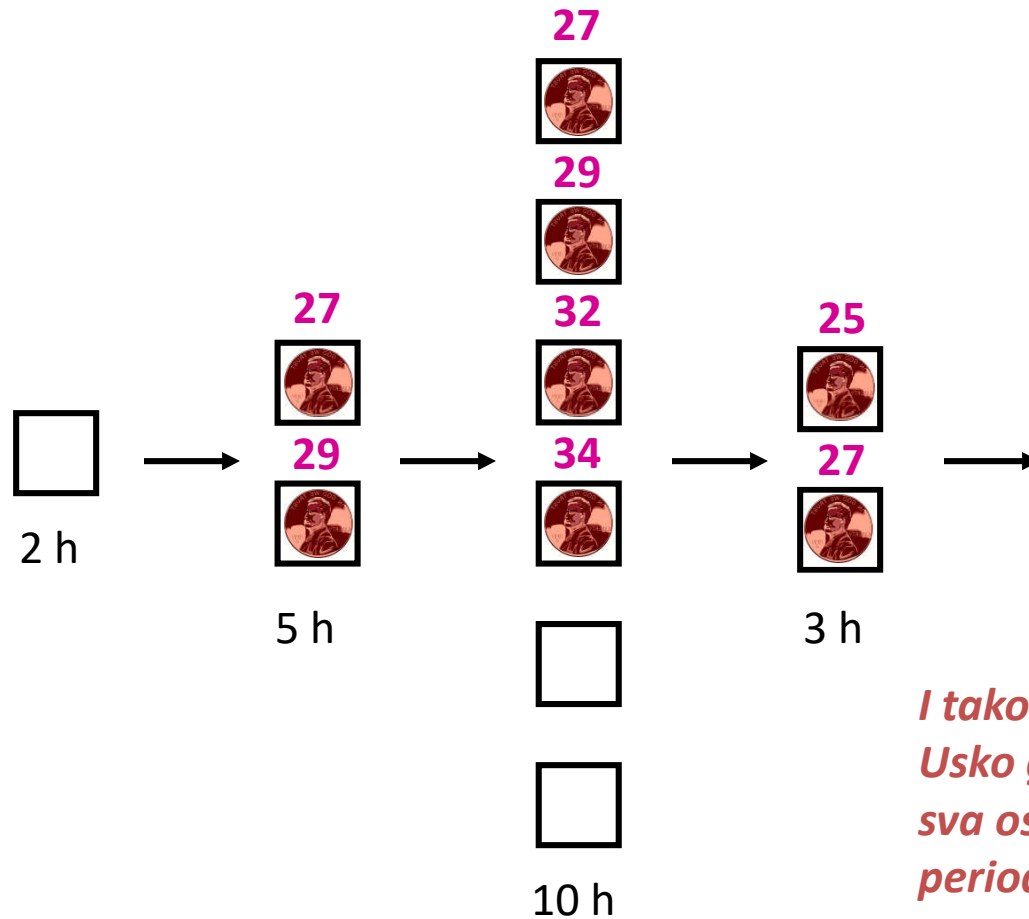


Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 22)



***Napomena:** poslovi dolaze na usko grlo tačno na vreme da spreče "gladovanje".*

Simulacija Fabrike novčića 2 (Vreme = 24)



*I tako dalje....
Usko grlo je uvek zauzeto;
sva ostala radna mesta
periodično "gladuju".*

Najgori slučaj

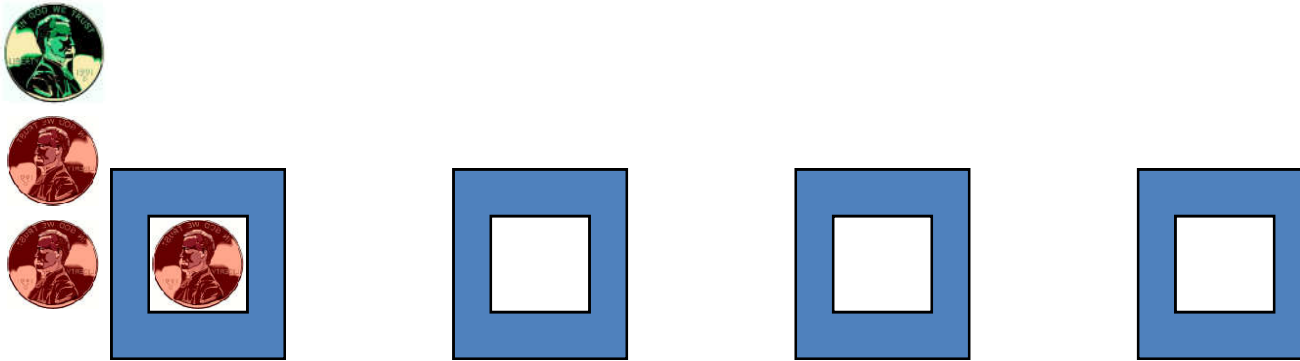
Opservacija: Najbolji slučaj obezbeđuje minimalno protočno vreme i maksimalni ritam za svaki nivo WIP.

Pitanje: Koji uslovi bi doveli do *maksimalnog* protočnog vremena i *minimalnog* ritma?

Eksperiment:

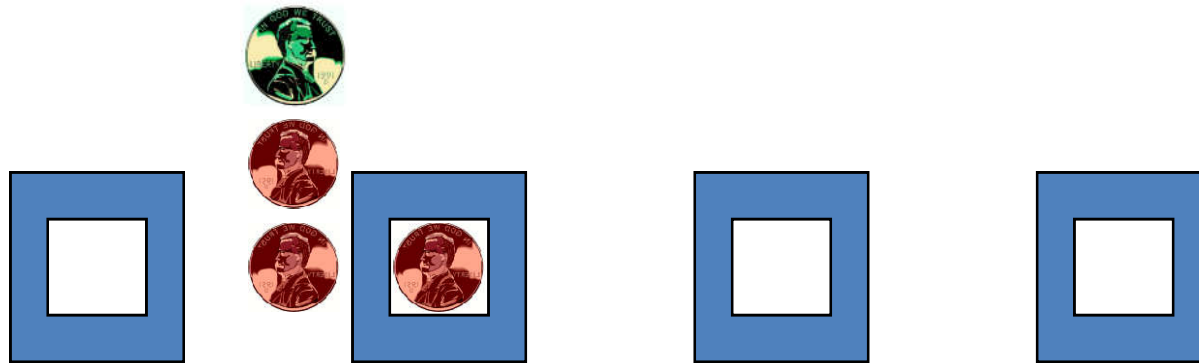
- Vremena operacija ista kao i u najboljem slučaju (tako da r_b i T_0 ostanu nepromenjeni)
- Označeni posao se prati kroz sistem
- Pretpostaviti da označeni posao ima maksimalno *čekanje*

Najgori slučaj za fabriku novčića



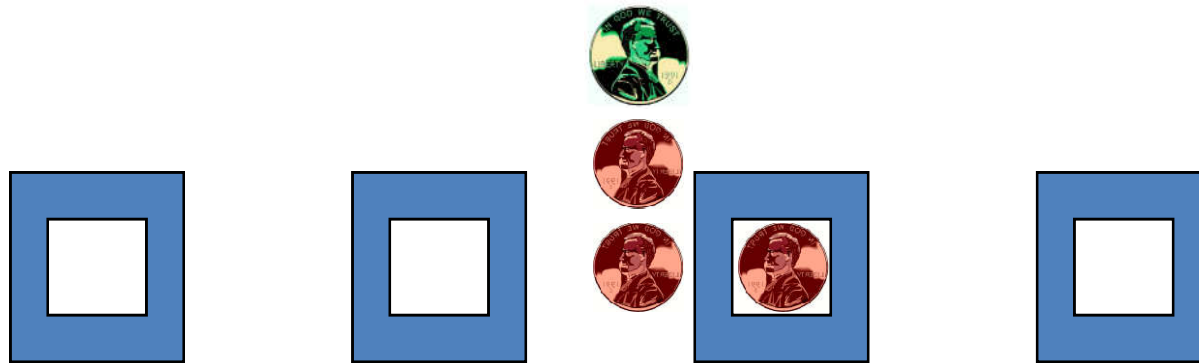
Vreme = 0 h

Najgori slučaj za fabriku novčića



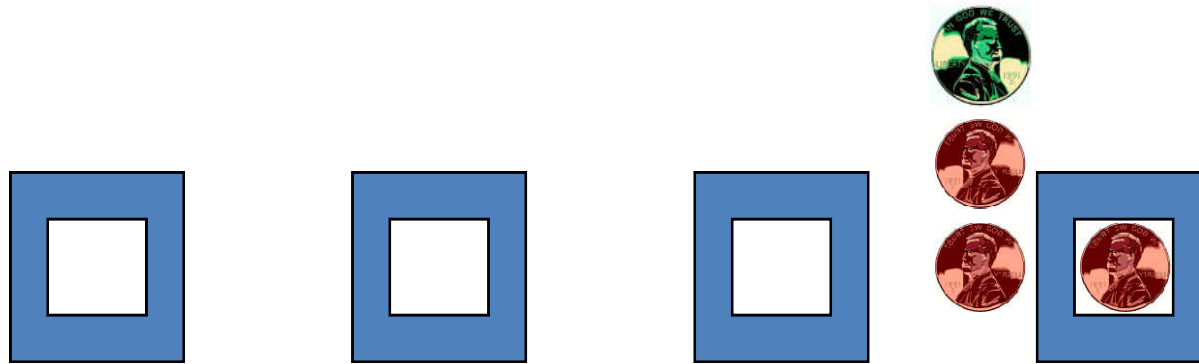
Vreme = 8 h

Najgori slučaj za fabriku novčića



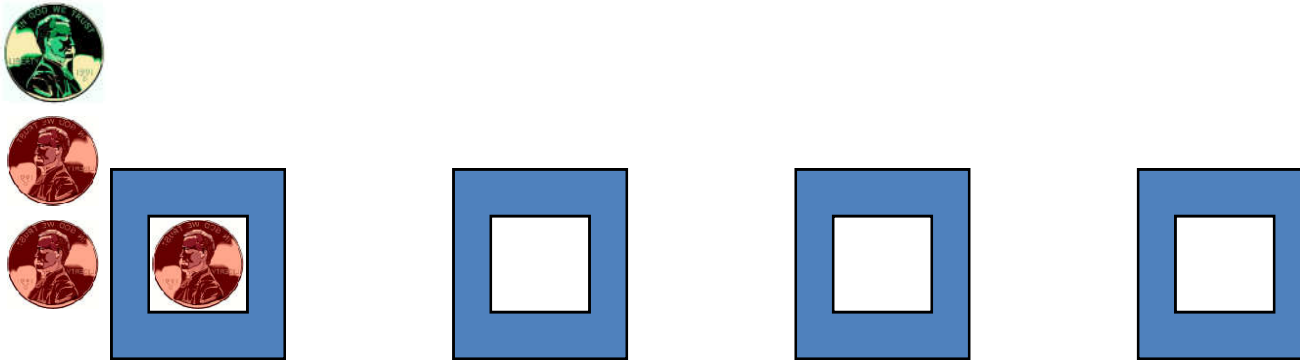
Vreme = 16 h

Najgori slučaj za fabriku novčića



Vreme = 24 h

Najgori slučaj za fabriku novčiča



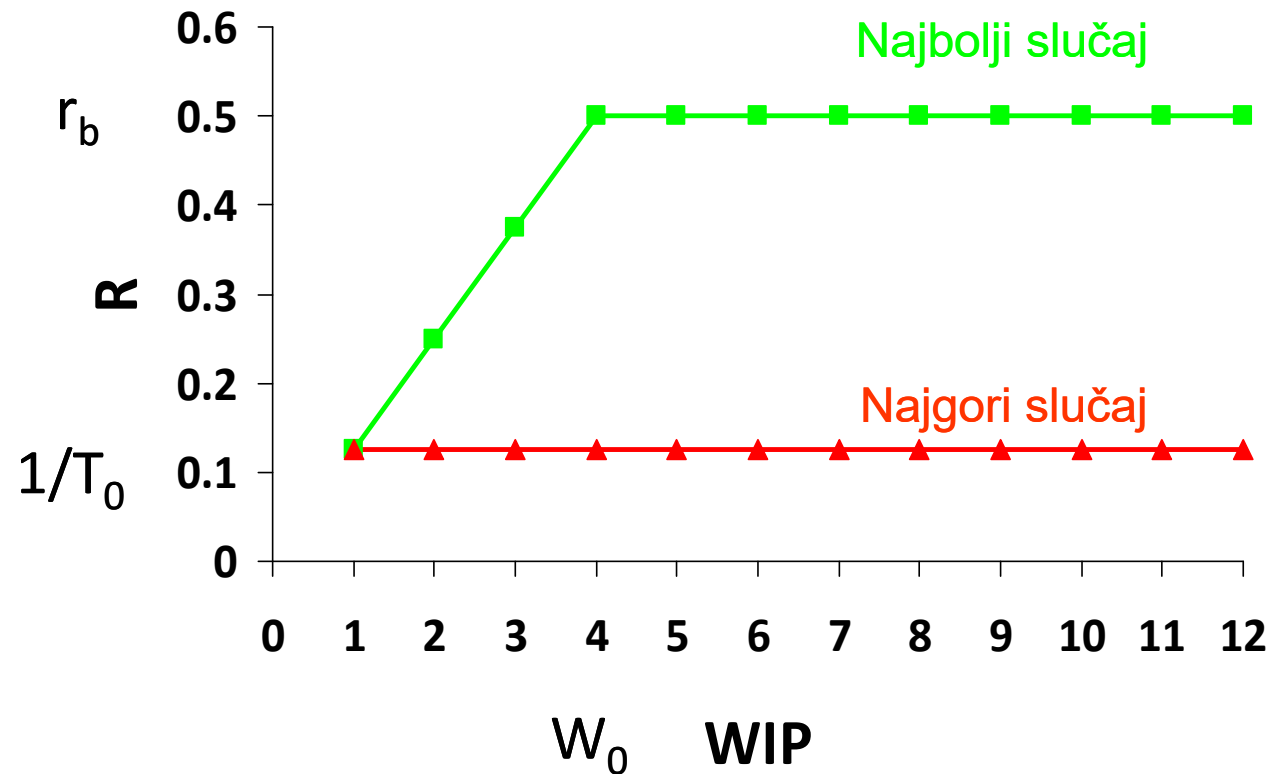
Vreme = 32 h

Napomena:

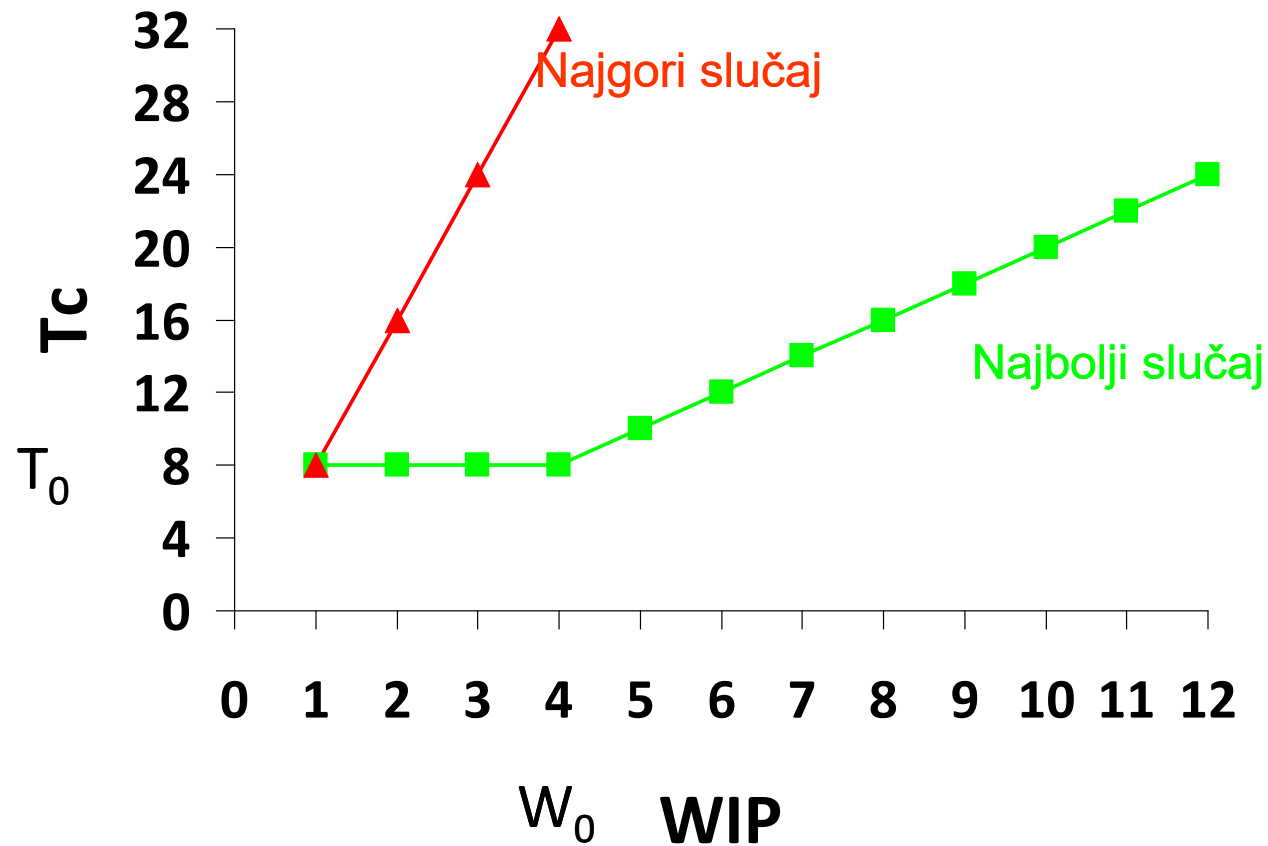
$$\begin{aligned} T_c &= 32 \text{ h} \\ &= 4 \times 8 = wT_0 \end{aligned}$$

$$R = 4/32 = 1/8 = 1/T_0$$

R vs. WIP: Najgori slučaj



T_c vs. WIP : Najgori slučaj



Učinak u najgorem slučaju

Zakon najgoreg slučaja: *Najgore protočno vreme za dati nivo zaliha (w) nedovršene proizvodnje WIP , je*

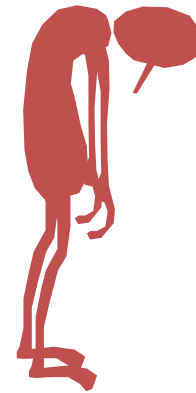
$$T_{C_{najgore}} = w T_0$$

Najgori ritam za dati nivo zaliha (w) nedovršene proizvodnje WIP , je

$$R_{najgori} = 1 / T_0$$

Slučajnosti u sistemu?

Nema – savršeno predvidljivo, ali loše!



Praktični najgori slučaj

Opservacija: Postoji **VELIKI PROSTOR** između najboljeg i najgoreg slučaja.

Pitanje: Možemo li pronaći središnji slučaj koji:

- Pravi podelu između “dobrog” and “lošeg” slučaja, i
- Može se izračunati?

Eksperiment: razmotriri liniju sa datim r_b i T_0 i:

- Radna mesta sa jednim resursom (mašinom/radnikom)
- Uravnotežena linija
- Takve varijacije koje obezbeđuju da su sve konfiguracije WIP (stanja) jednako verovatne (eksponencijalna raspodela, $CV = 1$)

PNS primeri – 3 posla, 4 RM

Zbijena stanja

Stanje	Vektor	Stanje	Vektor
1	(3,0,0,0)	11	(1,0,2,0)
2	(0,3,0,0)	12	(0,1,2,0)
3	(0,0,3,0)	13	(0,0,2,1)
4	(0,0,0,3)	14	(1,0,0,2)
5	(2,1,0,0)	15	(0,1,0,2)
6	(2,0,1,0)	16	(0,0,1,2)
7	(2,0,0,1)	17	(1,1,1,0)
8	(1,2,0,0)	18	(1,1,0,1)
9	(0,2,1,0)	19	(1,0,1,1)
10	(0,2,0,1)	20	(0,1,1,1)

Razuđena stanja

Napomena: prosečan WIP na svakom RM je $15/20 = 0.75$, tako da su poslovi raspoređeni jednako po radnim mestima.

Praktičan najgori slučaj

Neka je w = broj poslova u sistemu, N = broj radnih mesta u liniji, i t = vreme operacija na radnim mestima:

$$T_0 = Nt; r_b = 1/t$$

$$T_c(RM) = (1 + (w-1)/N) t$$

$$\begin{aligned} T_c(\text{linija}) &= N [1 + (w-1)/N] t \\ &= Nt + (w-1)t \\ &= T_0 + (w-1)/r_b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= WIP/T_c \\ &= w/(T_0 + (w-1)/r_b) \\ &= w/((W_0/r_b) + (w-1)/r_b) \\ &= [w/(w+W_0-1)]r_b \end{aligned}$$

Litlov zakon

Učinak u praktičnom najgorem slučaju

Definicija praktičnog najgoreg slučaja: *Protočno vreme za praktični najgori slučaj (PNS) za dati nivo zaliha (w) nedovršene proizvodnje WIP, je*

$$T_{C_{PNS}} = T_0 + \frac{w - 1}{r_b}$$

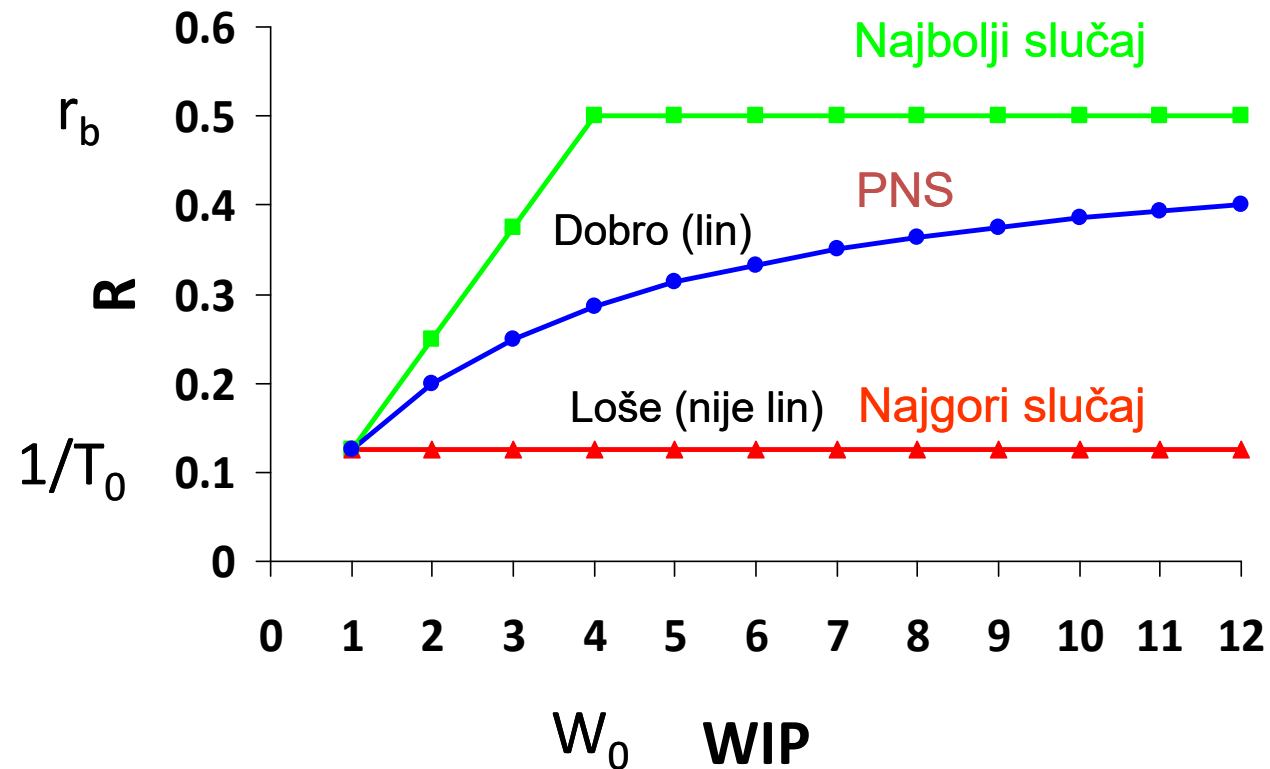
Ritam za PNS za dati nivo zaliha (w) nedovršene proizvodnje WIP, je

$$R_{PNS} = \frac{w}{W_0 + w - 1} r_b,$$

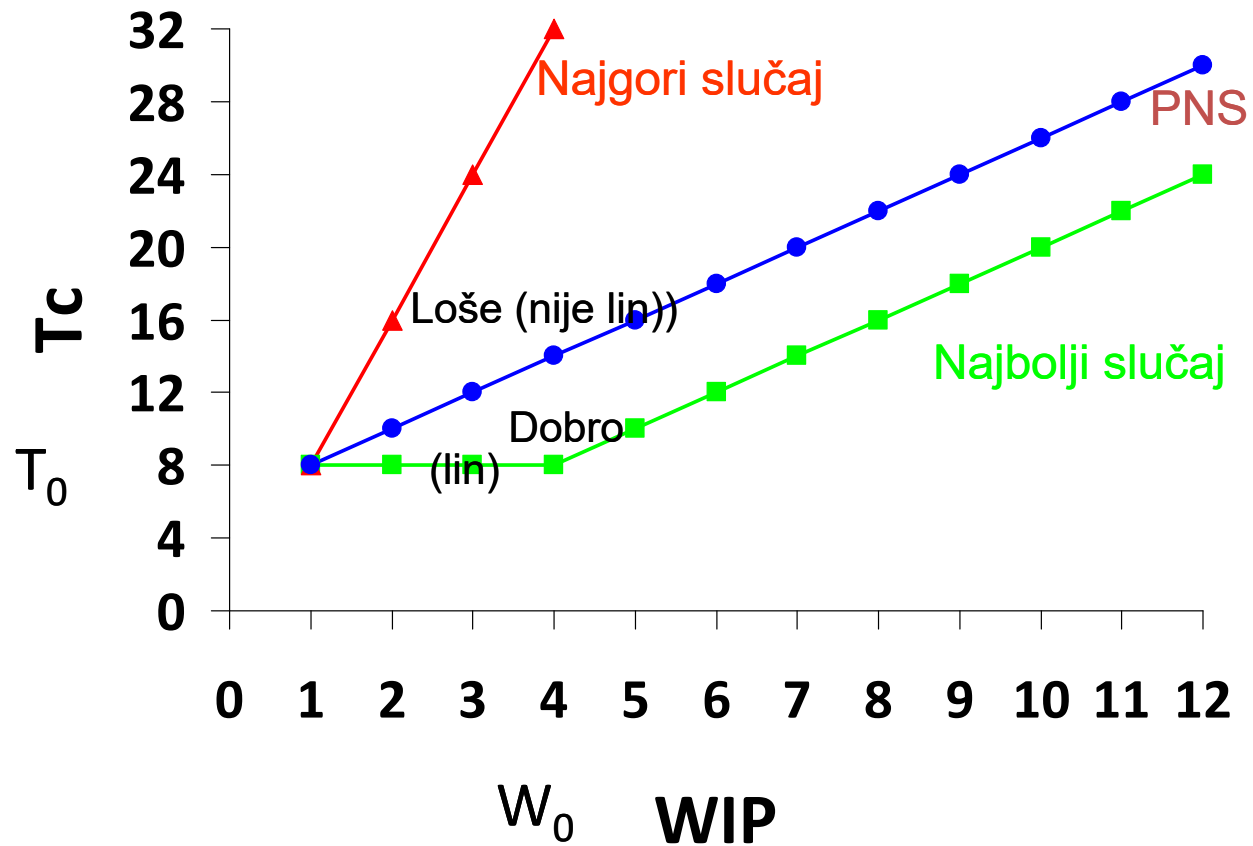
gde je W_0 kritičan nivo WIP.



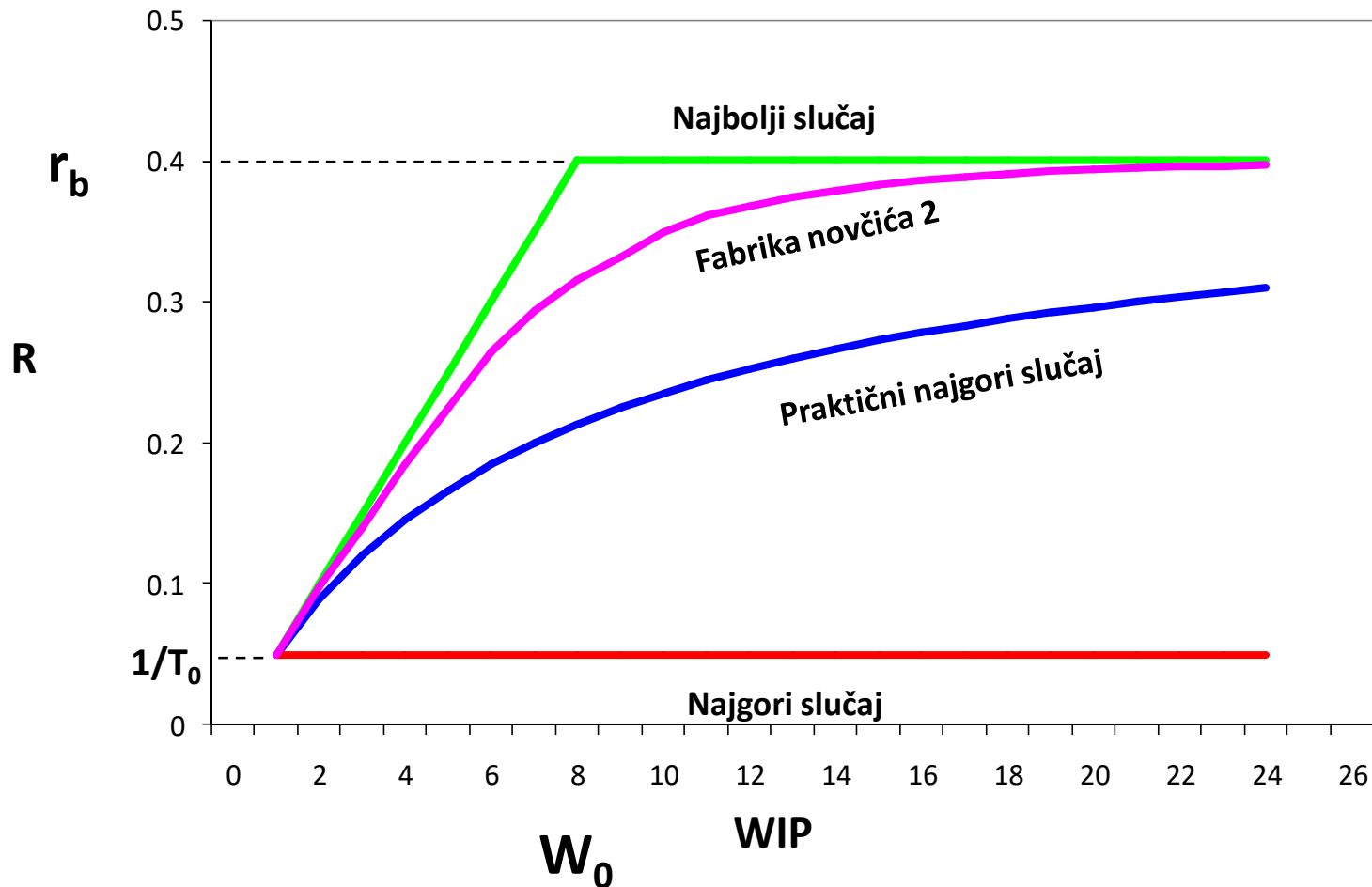
R vs. WIP: PNS



Tc vs. WIP: PNS



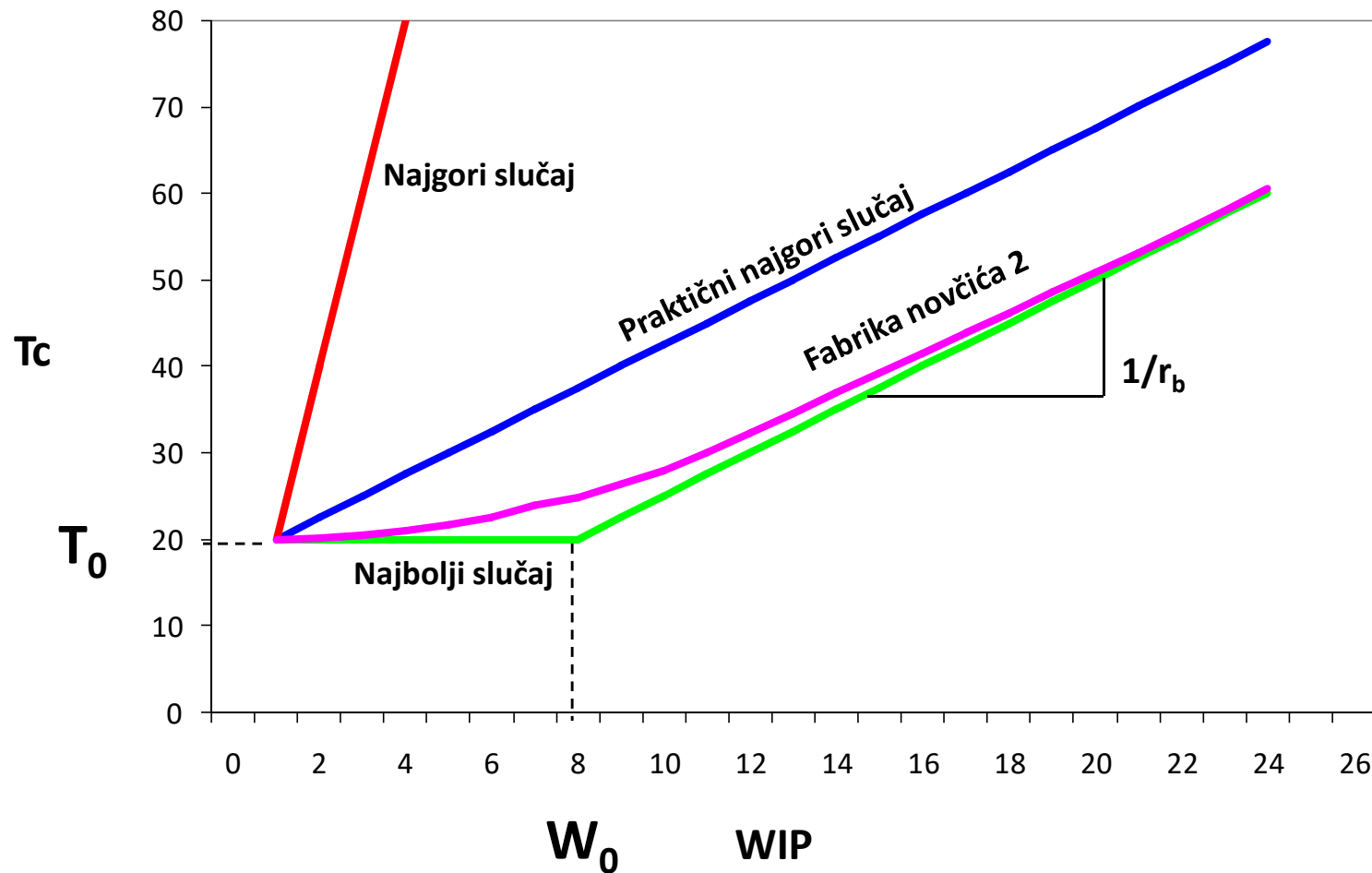
Učinak Fabrike novčića 2



*Napomena:
vremena u FN2
imaju var
jednake sa PNS.*

*Ali... za razliku
od PNS, linija
nije uravnot.
i postoji više
resursa na
jednom RM.*

Učinak Fabrike novčića 2



Nazad na kompaniju HAL

Podaci o kapacitetima

Proces	Ritam (kom/h)	Vreme (h)
Laminacija (jezgra)	191.5	4.7
Maš obrada	186.2	0.5
Interno povezivanje	114.0	3.6
Optička provera - int	150.5	1.0
Laminacija (kompoziti)	158.7	2.0
Eksterno povezivanje	159.9	4.3
Optička provera - ekst	150.5	1.0
Bušenje	185.9	10.2
Nanošenje bakra	136.4	1.0
Zaštita	117.3	4.1
Sečenje	126.5	1.1
Završno testiranje	169.5	0.5
r_b, T_0	114.0	33.9



Kompanija HAL - situacija

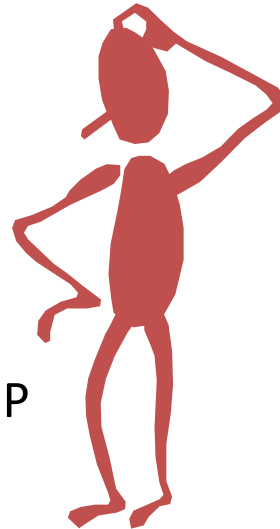
Kritični nivo WIP: $r_b T_0 = 114 \times 33.9 = 3869$

Izmerene vrednosti:

- $T_c = 34$ dana = 663 h (pri 19.5 h/dan)
- WIP = 47600 ploča
- $R = 71.8$ ploča/h

Zaključak:

- Ritam je 63% kapaciteta
- WIP je 12.3 puta veći od kritičnog WIP
- T_c je 24.1 puta veće od T_0



Kompanija HAL - analiza

R kao rezultat PNS za $WIP = 47600$?

$$R = \frac{w}{w + W_0 - 1} r_b = \frac{47600}{47600 + 3869 - 1} 114 = 105.4$$

Mnogo više od stvarnog R!

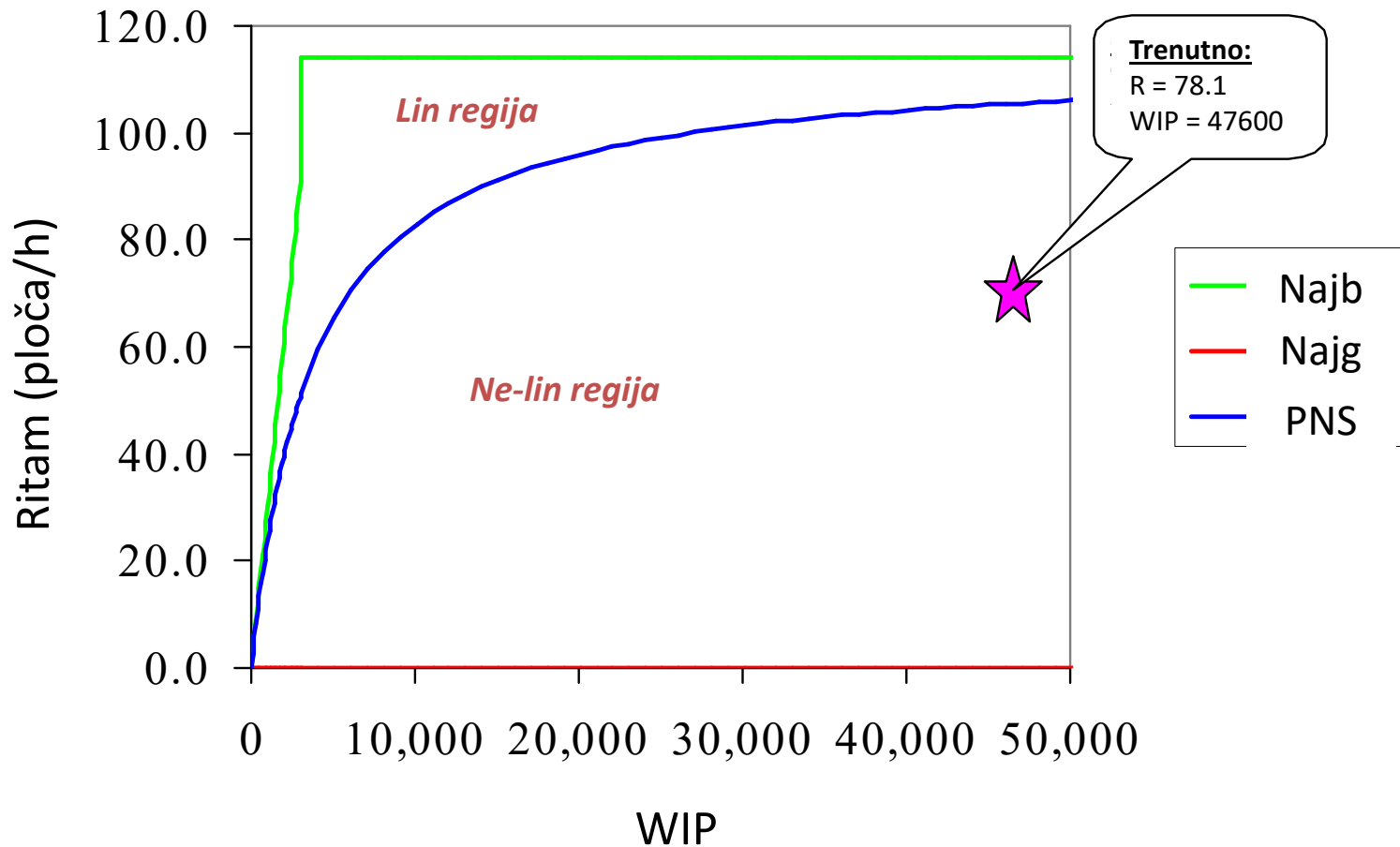
Zahtevani nivo WIP za PNS kako bi se postigao $R = 0.63r_b$?

$$TH = \frac{w}{w + W_0 - 1} r_b = 0.63r_b$$
$$w = \frac{0.63}{0.37} (W_0 - 1) = \frac{0.63}{0.37} (3,869 - 1) = 6586$$

Mnogo niže od stvarnog WIP!

Zaključak: performanse sistema su mnogo gore od PNS!

Kompanija HAL – rezultati samopoređenja





Kako poboljšati performanse sistema?

Preduslovi za praktičan najgori slučaj:

- Radna mesta sa jednim resursom (mašinom/radnikom)
- Uravnotežena linija
- Takve varijacije koje obezbeđuju da su sve konfiguracije WIP (stanja) jednako verovatne (eksponencijalna raspodela, $CV = 1$)

Kako poboljšati performanse linije? Uticati na preduslove:

- Smanjiti uravnoteženost linije dodavanjem kapaciteta (dodavanje opreme, smanjiti čekanje zbog pauza ili otkaza mašina, ubrzavanje procesa uvođenjem efikasnijeg metoda rada, ...). Kapacitet se može dodati i na resurs koji nije usko grlo (svako stanje sistema više nije podjednako jednako);
- Uvesti paralelna RM umesto jednog RM (slični efekti kao u prethodnom slučaju). Čak i dva paralelna RM koja imaju isti kapacitet kao jedno mogu da unaprede performanse (smanjuje se čekanje).
- Smanjenje varijacija u vremenu obrade ($CV < 1$), smanjuje čekanje.



Primer korišćenja Litlovog zakona

- Na akušerskom odeljenju jedne bolnice se obavi u proseku 10 porođaja dnevno;
- 80% porođaja je lako, i zahtevaju da majka i dete u bolnici ostanu 2 dana;
- 20% porođaja je teže, i zahteva da majka i dete u bolnici ostanu 5 dana;
- Kolika je prosečna popunjenost bolničkih kapaciteta na akušerskom odeljenju?



Uticaј varijacija na operacije

Bog se ne igra kockicama.

– Albert Einstein

Prestani da govoriš Bogu šta da radi

– Niels Bohr



Uticaј varijacija na operacije

Na svakih 5 minuta:

- Dolazi 0, 1 ili 2 porudžbine sa jednakom verovatnoćom;
- Restoran ima kapacitet od 0, 1 ili 2 sa jednakom verovatnoćom;

Nije moguće praviti sendvič pre nego što stigne porudžbina;

Mušterije neće da čekaju;

Koliko sendviča se može prodati u svakom petominutnom vremenskom okviru?

Uticaj varijacija na operacije

Prosečna ponuda (kapacitet) = $(0 + 1 + 2) / 3 = 1$

Prosečna tražnja = $(0 + 1 + 2) / 3 = 1$

Ritam = $\min \{ \text{tražnja, kapacitet procesa} \} = \min \{ 1, 1 \} = 1$

Možemo prodati 1 sendvič u petominutnom vremenskom okviru!

Tražnja	Kapacitet	Broj sendviča
0	0	0
	1	0
	2	0
1	0	0
	1	1
	2	1
2	0	0
	1	1
	2	2

5 | 9

Varijacije

Definicija: Varijacije su sve ono što uzrokuje da sistem odstupi od regularnog, predvidivog ponašanja

Izvori varijacija:

- Podešavanja/izmena alata
- Otkazi mašina
- Nedostatak materijala
- Smanjena brzina
- Dorada
- Odsustvo radnika
- Varijacije u ritmu
- Različiti nivoi obučenosti radnika
- Promene u dizajnu proizvoda
- Promene u porudžbini kupca
- Diferencijacija proizvoda
- Rukovanje materijalom/transport

Merenje varijacija u procesu

t_e = srednje vreme obrade

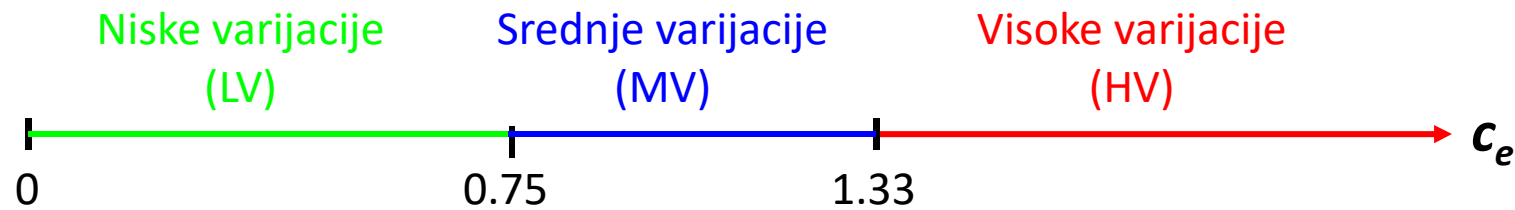
σ_e = standardna devijacija vremena obrade

$c_e = \frac{\sigma_e}{t_e} = \text{koeficijent varijacije CV}$



Napomena: često se koristi kvadrirani koeficijent varijacije (SCV), c_e^2

Klasifikovanje varijacija



Efektivno vreme obrade:

- **Stvarna** vremena obrade su najčešće LV
- **Efektivna** vremena obrade uključuju podešavanja, čekanja, otkaze, ...
- HV, LV i MV su moguće kod efektivnih vremena obrade

Veza sa performansama: Za uravnotežen sistem

- MV – Praktični najgori slučaj
- LV – Između najboljeg slučaja i praktičnog najgoreg slučaja
- HV – između praktičnog najgoreg slučaja i najgoreg slučaja

Varijacije u toku materijala

Dolasci sa malim varijacijama



uravnoteženo!



Dolasci sa velikim varijacijama



naglo!



Merenje varijacija u toku materijala

t_a = *srednje vreme između dolaska*

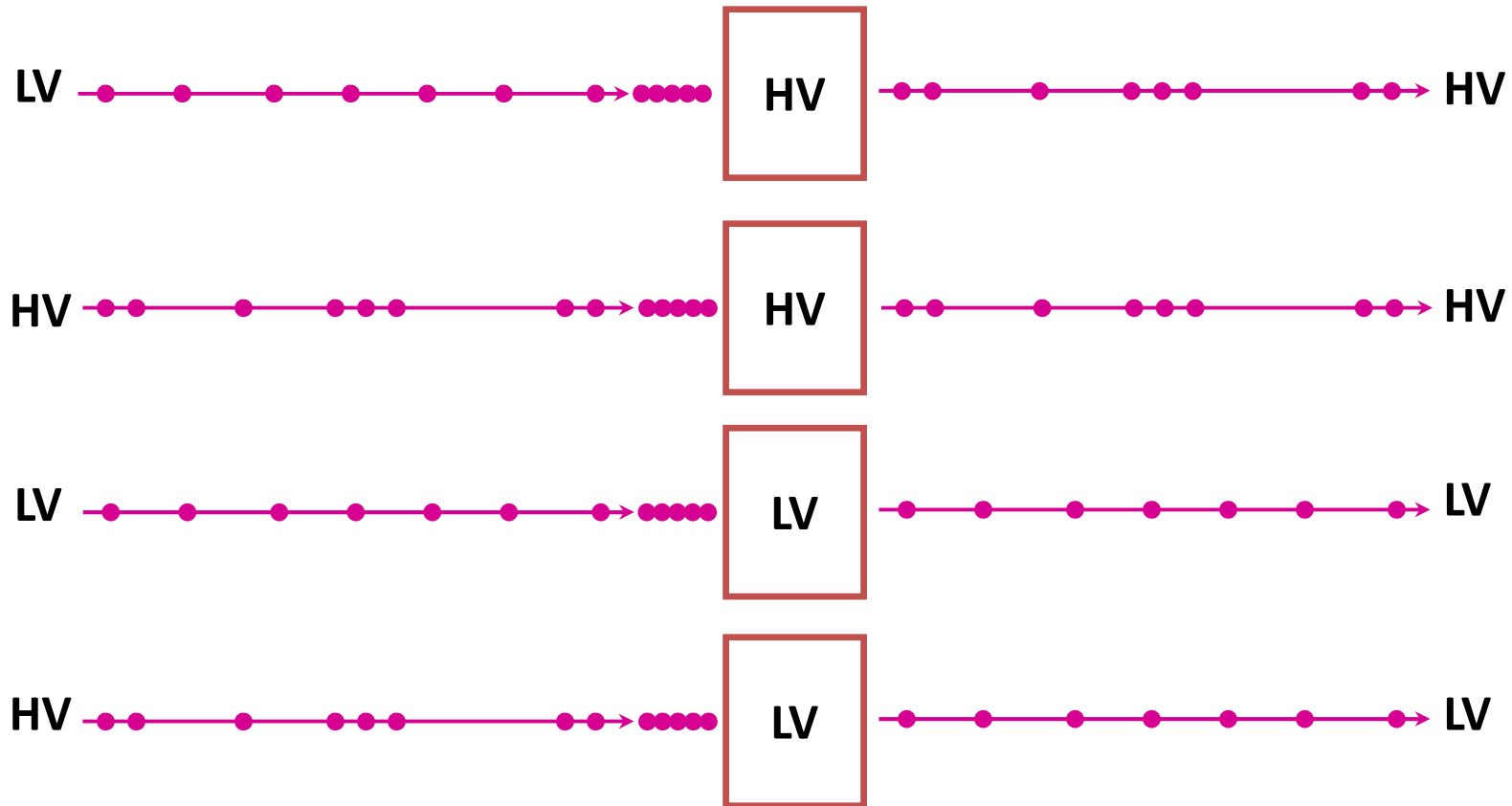
$r_a = \frac{1}{t_a} = \textit{brzina dolaska}$



σ_a = *standardna devijacija vremena između dolaska*

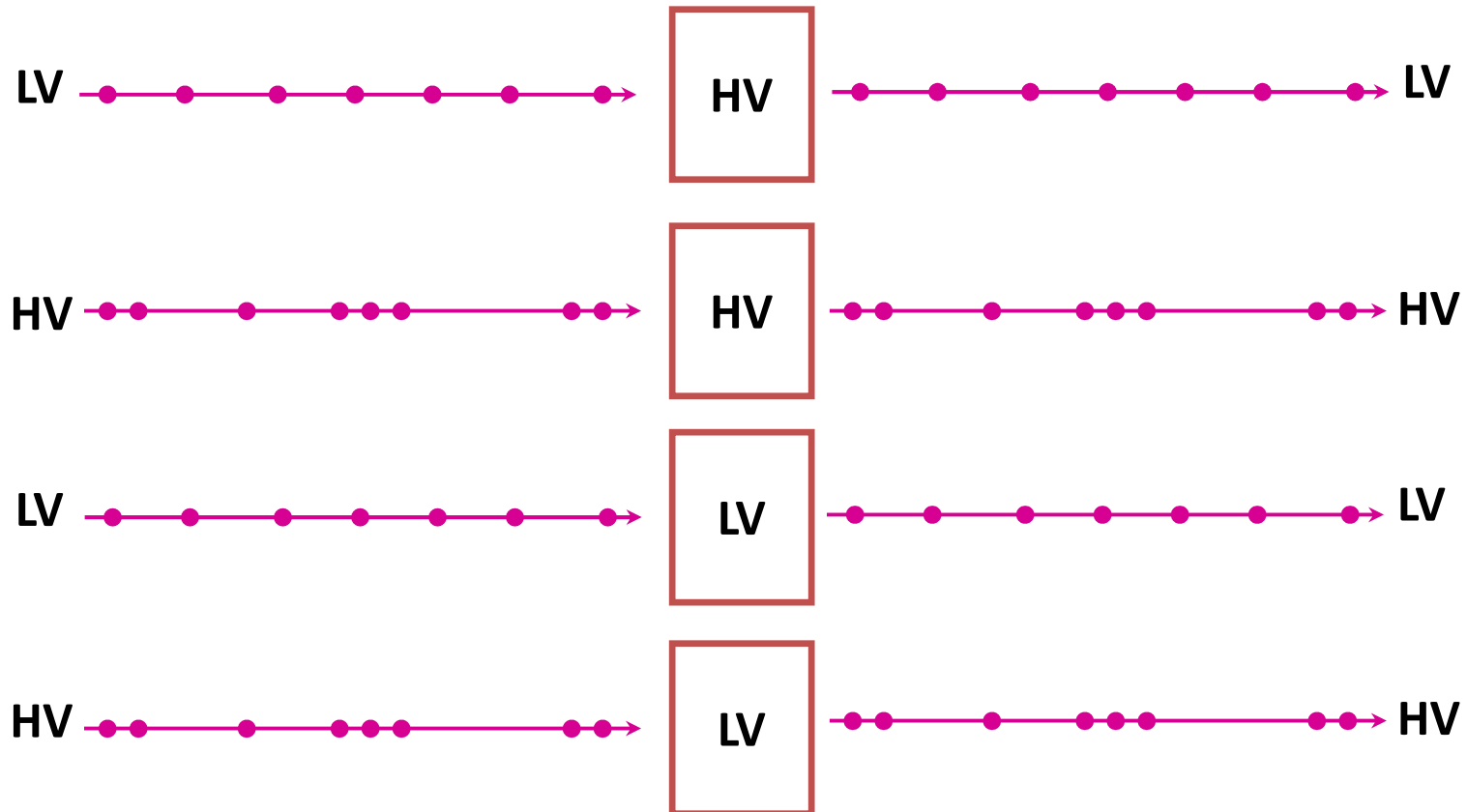
$c_a = \frac{\sigma_a}{t_a} = \textit{koeficijent varijacije vremena dolaska u}$

Širenje varijacija – visok stepen korišćenja kapaciteta



Zaključak: varijacije u toku iz radnog mesta sa visokim stepenom korišćenja kapaciteta su primarno određene varijacijama u vremenu obrade na tom radnom mestu

Širenje varijacija – nizak stepen korišćenja kapaciteta



Zaključak: varijacije u toku iz radnog mesta sa niskim stepenom korišćenja kapaciteta su primarno određene varijacijama u toku u posmatrano radno mesto

Interakcije varijacija

Značaj redova čekanja:

- Fabrike su mreže *redova čekanja*
- Čekanje u redu čini značajan deo protočnog vremena

Karakteristike sistema:

- Način dolaska novih poslova
- Karakteristike procesa
- Broj resursa na RM
- Maksimalna dozvoljena veličina reda (blokiranje)
- Pravila dispečiranja (FIFO, LIFO, EDD, SPT, ...)
- Rutiranje
- ...

Kingmanova (VUT) formula

Formula:

$$CT_q \approx V \times U \times t$$
$$\approx \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left(\frac{u}{1-u} \right) t_e$$

Karakteristike:

- Koristan model za radna mesta koja imaju samo jedan resurs
- Uzima u obzir varijacije, stepen korišćenja kapaciteta i vreme obrade
- CT_q (i druge veličine) se povećavaju sa porastom c_a^2 i c_e^2
- Varijacije u toku materijala, vremenima obrade ili oba istovremeno povećavaju vreme čekanja
- ***Varijacije uzrokuju zagušenje!***

Otkrivanje varijacija

Opšte strategije:

- Tražiti dugačke redove (Litlov zakon)
- Fokusirati se na resurse sa visokim stepenom korišćenja kapaciteta
- Razmatrati i varijacije u toku materijala i u vremenima obrade
- 5 zašto

Specifični fokus na:

- Otkaze opreme
- Podešavanja / izmenu alata
- Doradu
- Brzinu rada dobavljača
- Sve što sprečava ujednačen tok materijala i vreme obrade



Ključne činjenice o varijacijama

Mere varijacija:

- CV efektivnog vremena obrade
- CV vremena između dolaska poslova

Komponente varijacija u procesu:

- Otkazi
- Podešavanja
- Mnogi drugi – smanjuju kapacitet i povećavaju varijacije
- Dugački i retki poremećaji gori od kratkih i čestih

Posledice varijacije:

- Varijacije dovode do zagušenosti (tj. povećanja WIP i protočnog vremena)
- Varijacije se šire kroz sistem
- Varijacije i korišćenje kapaciteta su međusobno povezani
- Združene varijacije imaju manji uticaj od individualnih varijacija



Loš uticaj varijacija

Kada je sreća na vašoj strani, možete funkcionisati i bez mozga

– Đordano Bruno

Što više radim, sve više sreće imam

– razni autori

Zakoni kapaciteta

Zakon kapacitet: *U stabilnom stanju, gotovi proizvodi će izlaziti iz proizvodnje brzinom koja je uvek manja od prosečnog kapaciteta*

Zakon korišćenja kapaciteta: *Ukoliko se stepen korišćenja kapaciteta na radnom mestu poveća bez drugih promena, prosečan WIP i protočno vreme će se nelinearno povećati*

Napomene:

- Ne može se proizvoditi u punom kapacitetu
- Neuzimanje ove činjenice u obzir dovodi do “gašenja požara”

Uticaj varijacija

Zakon varijacija: *Porast varijacija uvek degradira performanse proizvodnog sistema*

Primeri:

- Varijacije u vremenu obrade pomeraju performanse od najboljeg slučaja ka najgorem slučaju
- Veće varijacije u tražnji zahtevaju veće sigurnosne zalihe za isti nivo usluge
- Veće varijacije u protočnom vremenu zahtevaju duža vremena isporuke kako bi se zadržao isti procenat isporuka na vreme

Baferi

Zakon bafera: *Sistemi sa varijacijama moraju da koriste neku kombinaciju sledećih bafera*

- 1. Zalihe*
- 2. Kapacitet*
- 3. Vreme*

Interpretacija: ukoliko ne možete da smanjite varijacije, rezultat će biti visok nivo WIP, neiskorišćen kapacitet ili smanjen nivo usluge korisnicima (izgubljena prodaja, dugačka vremena isporuke, kasne isporuke, ...)

Primeri bafera

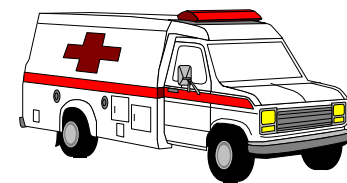
Hemijske olovke:

- Ne može se koristiti vreme (ko je spreman da čeka na jeftinu olovku?)
- Ne može se koristiti kapacitet (skupo)
- Moraju se koristiti zalihe



Hitna pomoć:

- Ne mogu se koristiti zalihe
- Ne može se koristiti vreme (strateški cilj)
- Mora se koristiti kapacitet

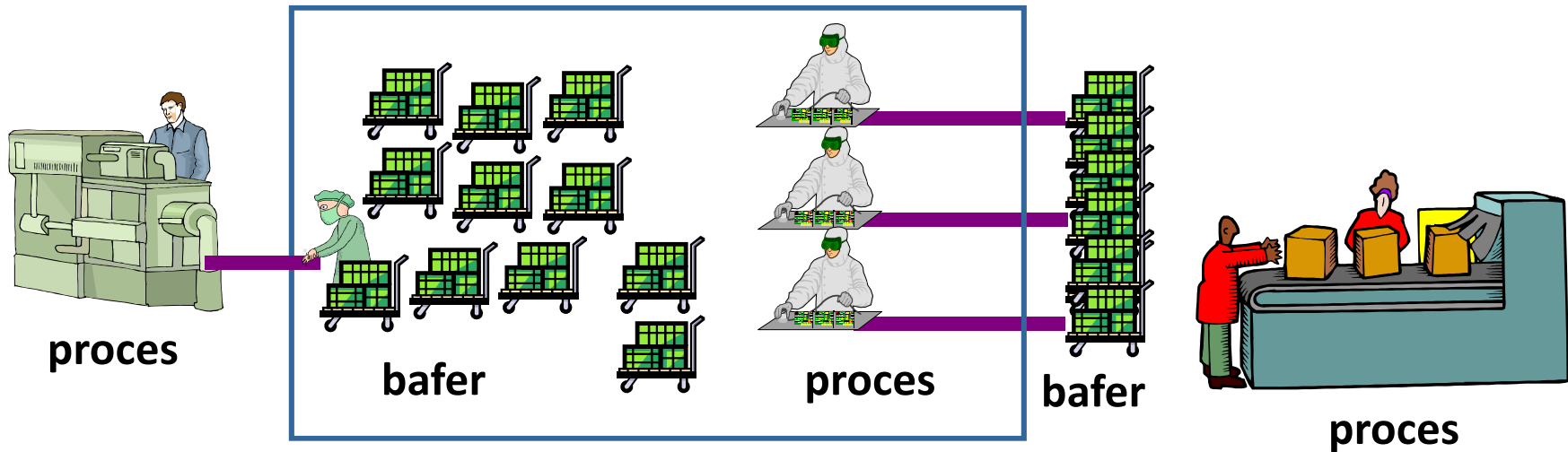


Transplantacija organa:

- Ne mogu se koristiti zalihe (propadaju)
- Ne može se koristiti kapacitet (nije etički)
- Mora se koristiti vreme



Primer – diskretna proizvodnja



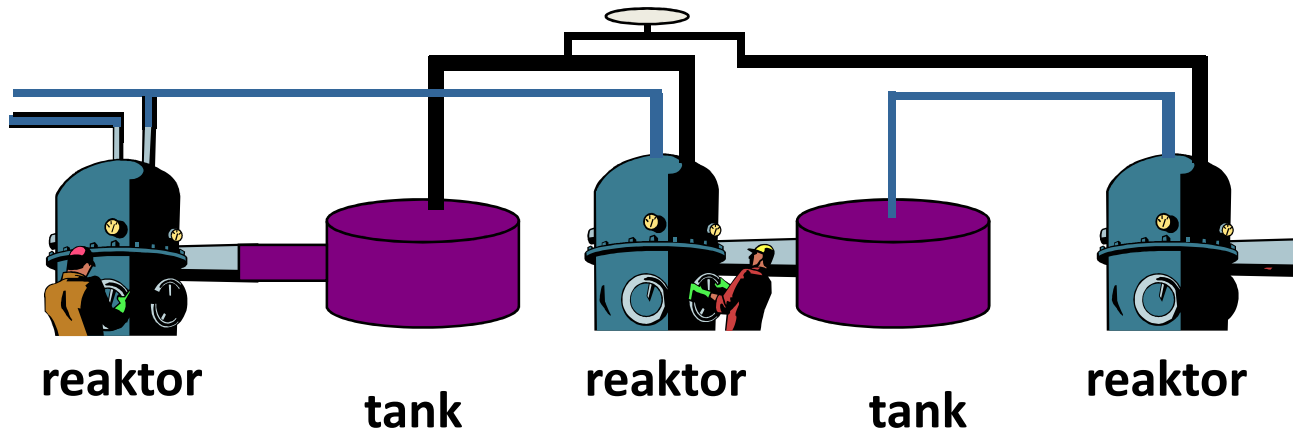
Zalihe: sirov materijal, WIP, gotovi proizvodi

Kapacitet: prekovremeni rad, dodavanje radnika i opreme

Vreme: restrikcija u promenama plana, planiranje vremena isporuke

Smanjenje varijacija: manji WIP i gotovi proizvodi, kraće protočno vreme

Primer – hemijska industrija



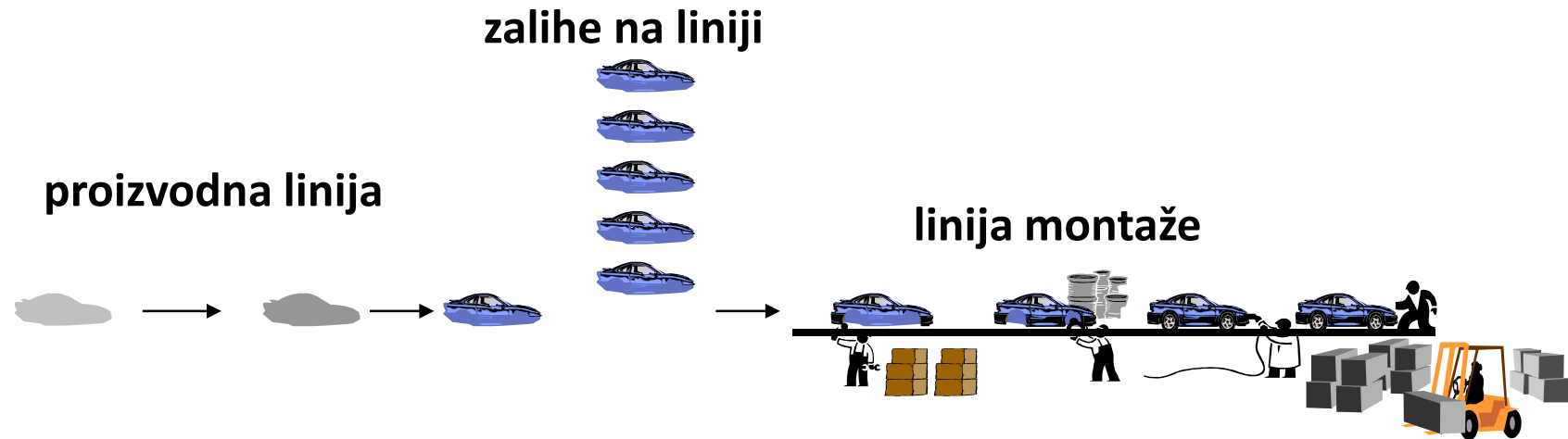
Zalihe: sirov materijal, WIP, gotovi proizvodi

Kapacitet: višak vremena u reaktorima

Vreme: protočno vreme u lancu snabdevanja

Smanjenje varijacija: WIP je ograničen, pa je cilj povećanje protoka, možda i smanjenje zaliha gotovih proizvoda

Primer – montažna linija



Zalihe: komponente, zalihe na liniji

Kapacitet: prekovremeni rad, dorada, popravke u garanciji

Vreme: protočno vreme, vreme isporuke

Smanjenje varijacija: inicijalno smanjenje WIP, kasnije bolje korišćenje kapaciteta (veći izlaz)

Fleksibilnost bafera

Posledica fleksibilnosti bafera: *Fleksibilnost smanjuje veličinu bafera koji je potreban za funkcionisanje proizvodnog sistema*

Primeri:

- Fleksibilni kapacitet: radnici obučeni za više operacija
- Fleksibilne zalihe: generičke zalihe (npr. montaža po porudžbini)
- Fleksibilno vreme: različita vremena isporuke



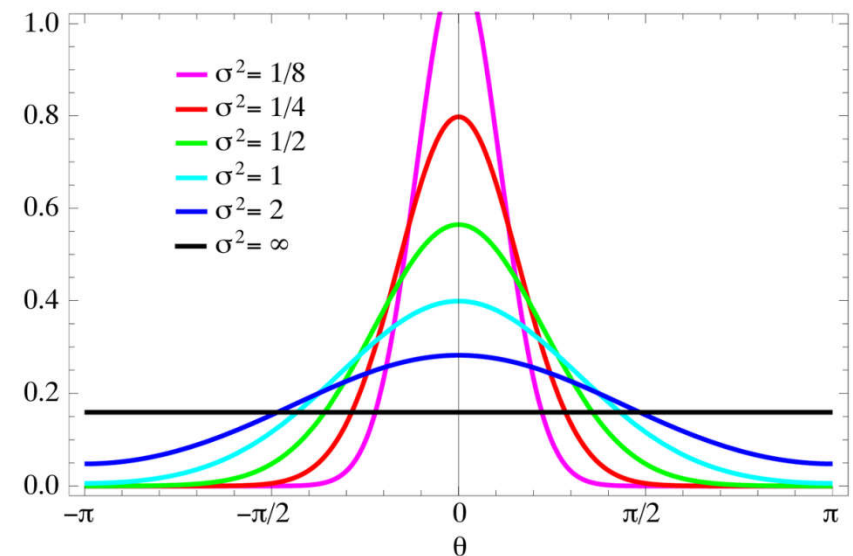
Kako smanjiti uticaj varijacija?

Ciljevi

- Smanjiti protočno vreme
- Povećati protok
- Poboľjšati uslugu korisnicima

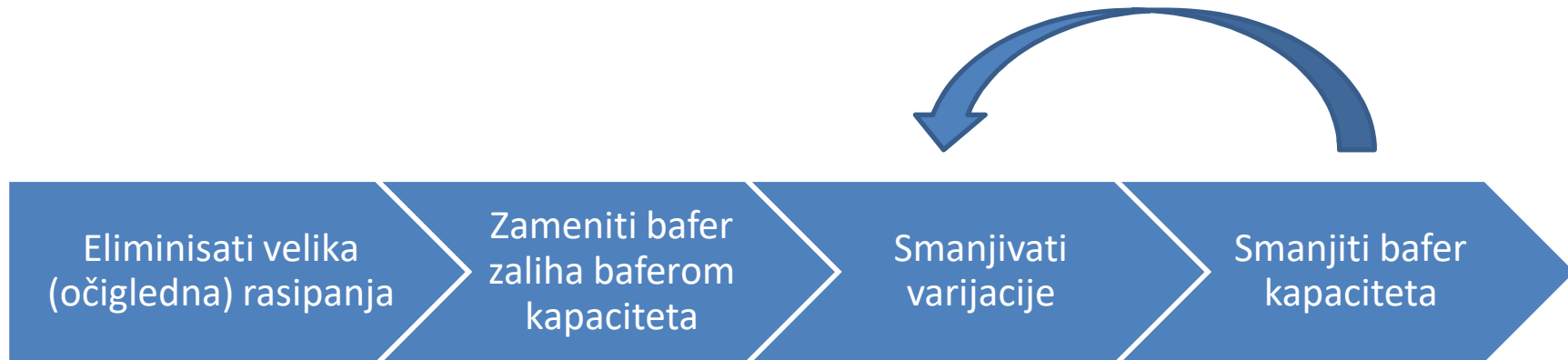
Način

- Direktno smanjiti varijacije
- Umanjiti uticaj zalihama
- Umanjiti uticaj kapacitetom
- Umanjiti uticaj vremenom
- Povećati fleksibilnost bafera



Tojotin proizvodni sistem

Ciklus kontinualnog unapređivanja



Smanjivanje vremena čekanja

$$CT_q = V \times U \times t$$

$$\left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right)$$

$$\left(\frac{u}{1-u} \right)$$

Smanjiti varijacije

- otkazi
- podešavanja
- neujednačeni dolasci
- ...

Smanjiti korišćenje kapaciteta

- neujednačeni dolasci (prinos, dorada, ...)
- vreme obrade (brzina, vreme, raspoloživost, ...)
- ...



Ključne činjenice o lošem uticaju varijacija

Varijacije smanjuju performanse:

- Mnogo uzroka varijacija
- Neki uzroci planirani, neki neplanirani

Ako ima varijacija, *MORA* imati bafera:

- Zalihe
- Kapacitet
- Vreme

Fleksibilnost bafera smanjuje potrebu za njima:

- Baferi i dalje potrebni, samo manjih dimenzija



Ključne činjenice o lošem uticaju varijacija

Varijacije i korišćenje kapaciteta su u interakciji:

- Zagušenost se umnožava
- Efekat korišćenja kapaciteta je nelinearan
- Značaj upravljanja uskim grlom

Varijacije se šire kroz sistem

- Varijacije u toku materijala su podjednako loše kao varijacije u vremenu obrade
- Problem mogu biti i resursi koji nisu uska grla

Pitanja

