

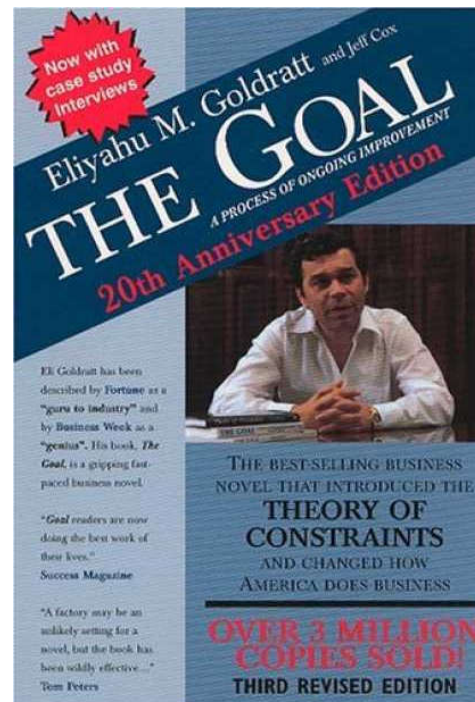


# TEORIJA OGRANIČENJA

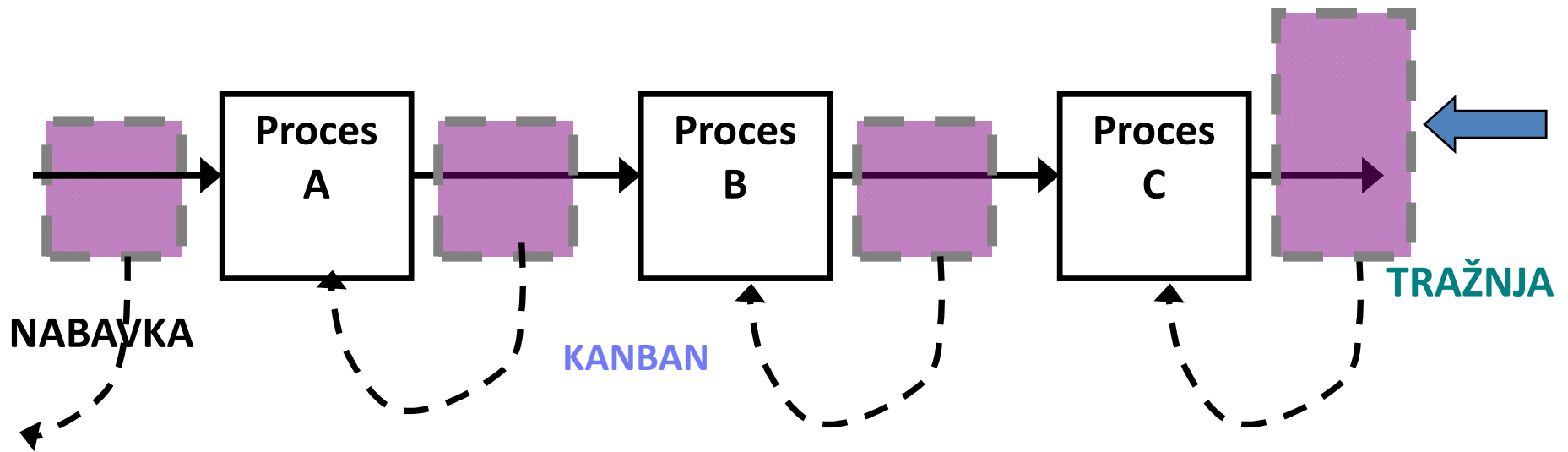
THEORY OF CONSTRAINTS (TOC)

# Teorija ograničenja

- Eliyahu (Eli) Goldratt, fizičar
- OPT – paket za planiranje proizvodnje
- *The Goal*, poslovni roman



# Proizvodnja zasnovana na JIT principima



Ali, šta se dešava ako:

- Proizvodimo veliki broj različitih proizvoda
- Tražnja nije repetitivna
- Procesi i redosled operacija nisu standardni
- Ćelijska proizvodnja nije održiva

DA LI JE MOGUĆE ORGANIZOVATI PROIZVODNJU NA JIT PRINCIPIMA?



# The Goal - likovi

- Alex Rogo – Menadžer fabrike
- Jonah – Fizičar/Konsultant
- Bill Peach – Podpredsednik divizije
- Bob Donovan – Menadžer proizvodnje
- Lou – Poslovođa
- Stacey Potenzenik – Menadžer planiranja i kontrole
- Ralph Nakamura – Menadžer za obradu podataka



# The Goal - situacija

- Fabrika nije pod kontrolom
- Ubrzavanje porudžbina
- Novi roboti
- Kontrolisani haos
- Stalno “gašenje požara”
- Porudžbine mogu da se realizuju kada se stvori pritisak
- Dosta zaliha



# The Goal – sastanak na aerodromu

- Alex
  - Roboti su povećali produktivnost jednog odeljenja za 36%
- Jonah
  - Da li su se zalihe smanjile? Ne
  - Da li su troškovi rada manji? Ne
  - Da li isporučujete više proizvoda? Ne
- Alex
  - Roboti moraju stalno da rade kako bi se održao visok nivo efikasnosti
- Jonah
  - Onda zalihe mora da su ogromne



# The Goal – sastanak na aerodromu

- Jonah
  - Šta je produktivnost?
- Alex
  - Postizanje postavljenih ciljeva
- Jonah
  - Tačno, a šta je cilj tvoje kompanije?
- Alex
  - Da bude produktivnija? Ne
  - Da proizvodi proizvode? Ne
  - Da poveća tržišni udeo? Ne
- Jonah
  - Kako onda da budete produktivni? Pa vi ne znate ni šta vam je cilj!



# The Goal – šta je zapravo cilj?

- Šta je Alex utvrdio da je zapravo cilj?
  - Da zarađujemo novac!!
- Kako da znamo da li zarađujemo novac?
  - Neto profit (Prihod - Troškovi)
  - Povrat investicija
  - Tok novca (Cash Flow)





# The Goal – kako da ostvarimo cilj?

- Jonah
  - Da li vodiš uravnoteženu fabriku? Da li ima radnika koji čekaju, i da li je to dobro ili ne?
- Alex
  - Trudimo se da nam svi zaposleni budu produktivni
- Jonah
  - Nemoguće je idealno usaglasiti ponudu i tražnju (postoje i matematički dokazi)
- Alex
  - Zbog čega?
- Jonah
  - Zbog dva fenomena:
    - Zavisni događaji
    - Statističke fluktuacije
- Kombinacija ovih fenomena je problem!!!



# Šta je teorija ograničenja (TOC)?

- Posmatra sistem kao celinu
- Propagira globalnu optimizaciju (lokalni optimum može dovesti do pogoršanja)
- Svaki sistem je ograničen malim brojem “uskih grla”
- TOC se vodi pretpostavkom da je “lanac jak koliko i njegova najslabija karika”
- Usko grlo (“najslabija karika”) čini ceo sistem ranjivim



# Osnovne pretpostavke TOC-a

- Cilj svakog poslovnog sistema je da zaradi više novca... sada i u budućnosti
- Ograničenje/a sistema određuje izlaz sistema, i sprečava sistem da postigne svoj cilj

# Šta je ograničenje?

- Fizičko ograničenje
  - Opipljivo ograničenje;
  - Lako se prepoznaje;
  - Kapacitet mašina, raspoloživost sirovog materijala, raspoloživost prostora, ...
- Tržište
  - Tražnja za proizvodima je manja od raspoloživih kapaciteta;
  - Tražnja za proizvodima je veća od raspoloživih kapaciteta;
- Politika kompanije
  - Skup mera i metoda (ili kompletan način razmišljanja) koje utiču na donošenje strateških i taktičkih odluka u kompaniji;



# Usko grlo je fizičko ograničenje

- Usko grlo je bilo koja organizaciona jedinica, radna stanica ili operacija koja ograničava protok proizvoda kroz sistem;
- Koji je značaj uskog grla:
  - Jedan sat izgubljen na uskom grlu je sat izgubljen u čitavom sistemu;
  - Jedan sat uštede na resursu koji nije usko grlo dodaje sat na ukupno vreme čekanja tog resursa;

# Analogija sa izviđačima

Gotovi proizvodi

Sirov materijal



- Raširena grupa = veći nivo zaliha u procesu proizvodnje
- Zbijena grupa = manji nivo zaliha u procesu proizvodnje
- Kako da sprečimo da se grupa izviđača previše raširi?

# Analogija sa izviđačima

- Staviti “bucka” na čelo kolone!



- Staviti mašinu sa najmanjim kapacitetom na početak procesa?

# Analogija sa izviđačima

- Staviti dobošara koji će zadavati ritam na čelo kolone



- Šta ako ne mogu svi da prate tempo?
- Vođa grupe više da požure!

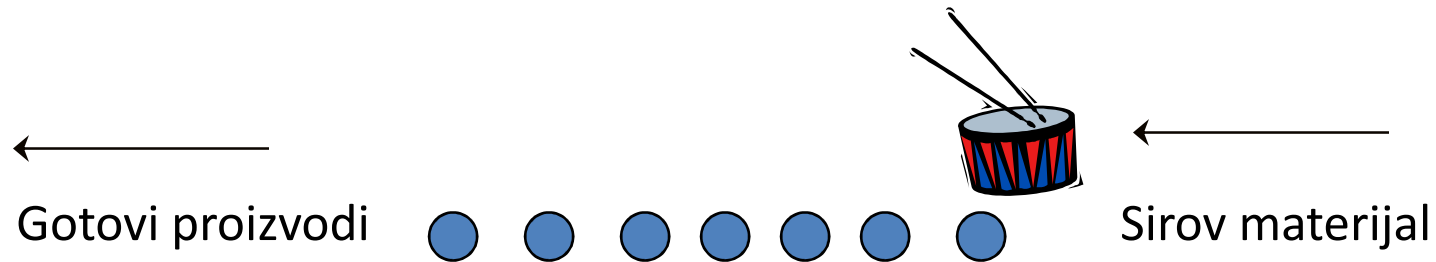




# Dobošar u fabrici...

- Da li je ritam zasnovan na nekim nerealnim pretpostavkama, kao što su:
  - Beskonačni kapacitet;
  - Unapred definisana protočna vremena;
  - Fiksna, konstantna veličina serije;

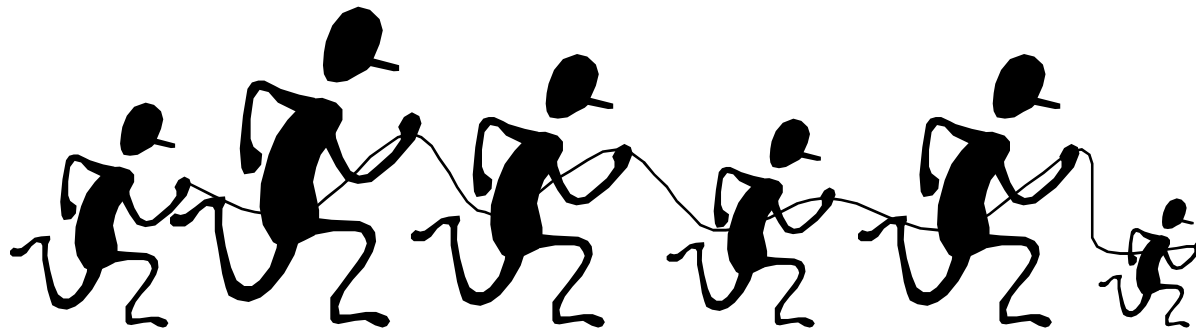
# Just-In-Case (push) sistem



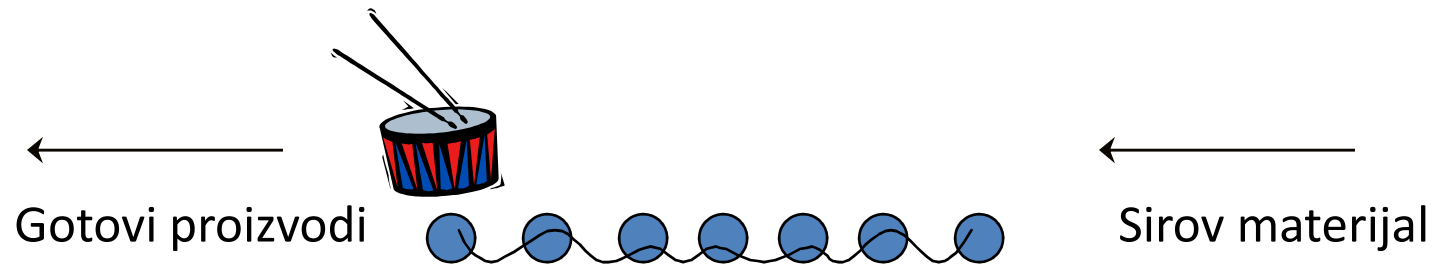
- Postaviti dobošara kod početne operacije; tempo prve operacije određuje tempo sistema
- Posledice:
  - Visok nivo zaliha u procesu proizvodnje
  - Obezbeđen protok sada
  - Ugrožen protok u budućnosti

# Analogija sa izviđačima

- Henri Ford – pokretna montažna traka
  - Brzinu proizvodnje određuje brzina kretanja trake
- Taiči Ono – Kanban sistem
  - Kanban kartice određuju brzinu proizvodnje



# Just-In-Time (pull) sistem



- Tržište “vuče” proizvode onda kada su potrebni
- Posledice:
  - Nizak nivo zaliha u procesu proizvodnje
  - Ugrožen protok sada
  - Uvećan protok u budućnosti

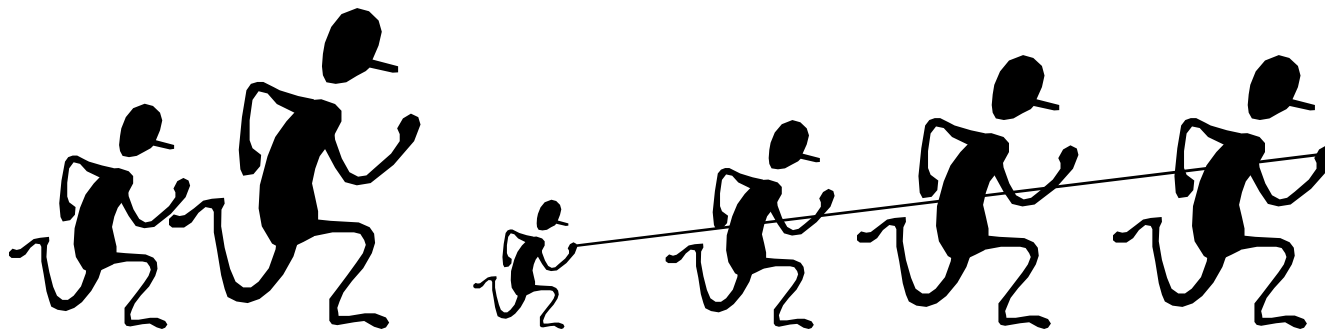


# Just-In-Time (pull) sistem

- Rad je sinhronizovan
- Nivo zaliha u procesu proizvodnje je nizak
- Značajniji poremećaji mogu zaustaviti ceo sistem!!!

# Analogija sa izviđačima

- “Bucko” diktira tempo:
  - Vezati uže između “bucka” i prvog izviđača
  - Kako bi se osigurao tempo cele grupe, ne zatezati potpuno uže



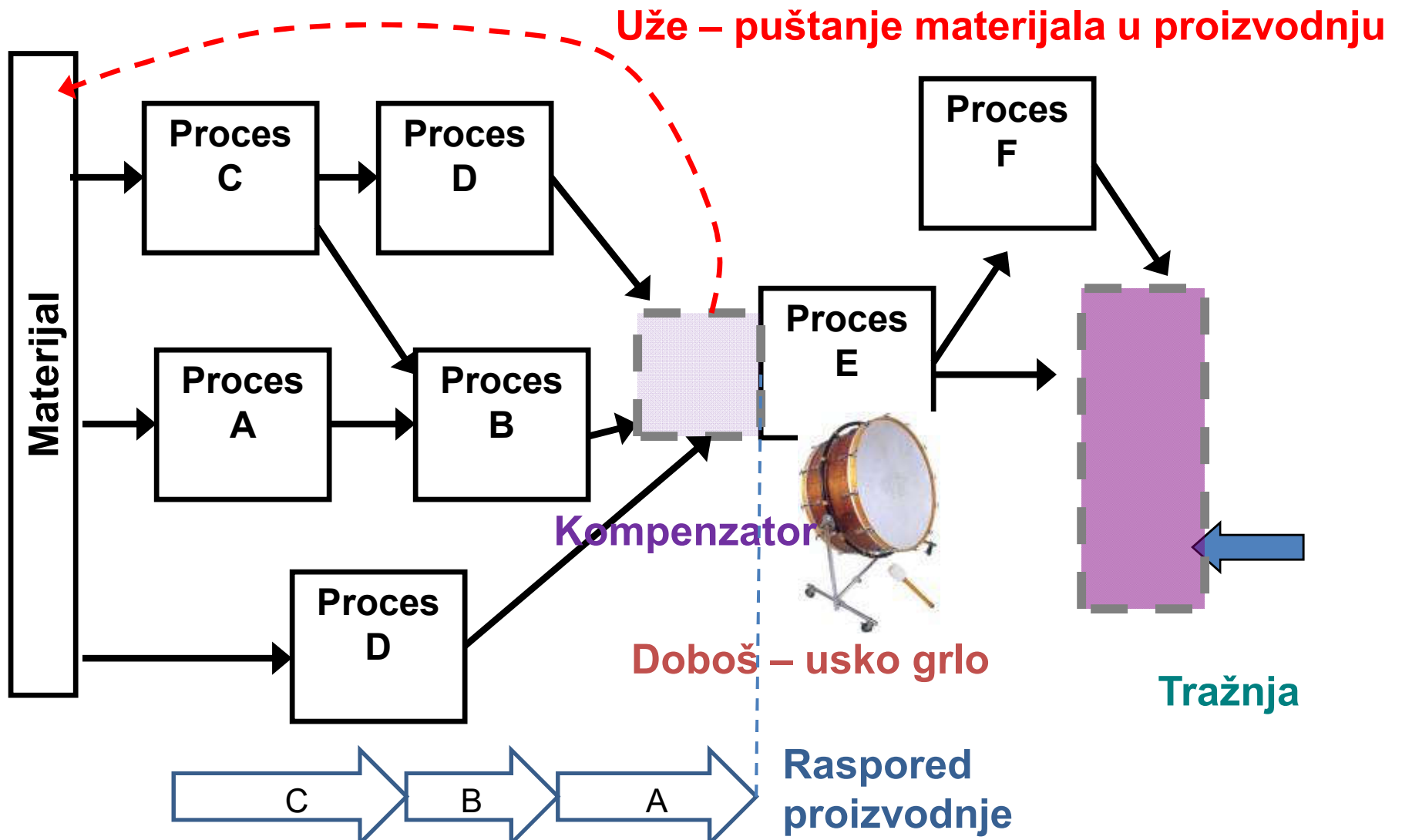


# Doboš-Kompenzator-Uže

## Drum-Buffer-Rope (DBR)

- Doboš – resurs sa ograničenim kapacitetom (usko grlo); doboš određuje protok – diktira proizvodnju;
- Kompenzator – štiti usko grlo od “izgladnjivanja”; izražava se u vremenskim jedinicama; predstavlja sav posao koji treba da stigne do ograničenja u posmatranom vremenskom periodu;
- Uže – signal koji govori kada materijal treba pustiti u proizvodnju; postoji uže isporuke i uže ograničenja;

# DBR





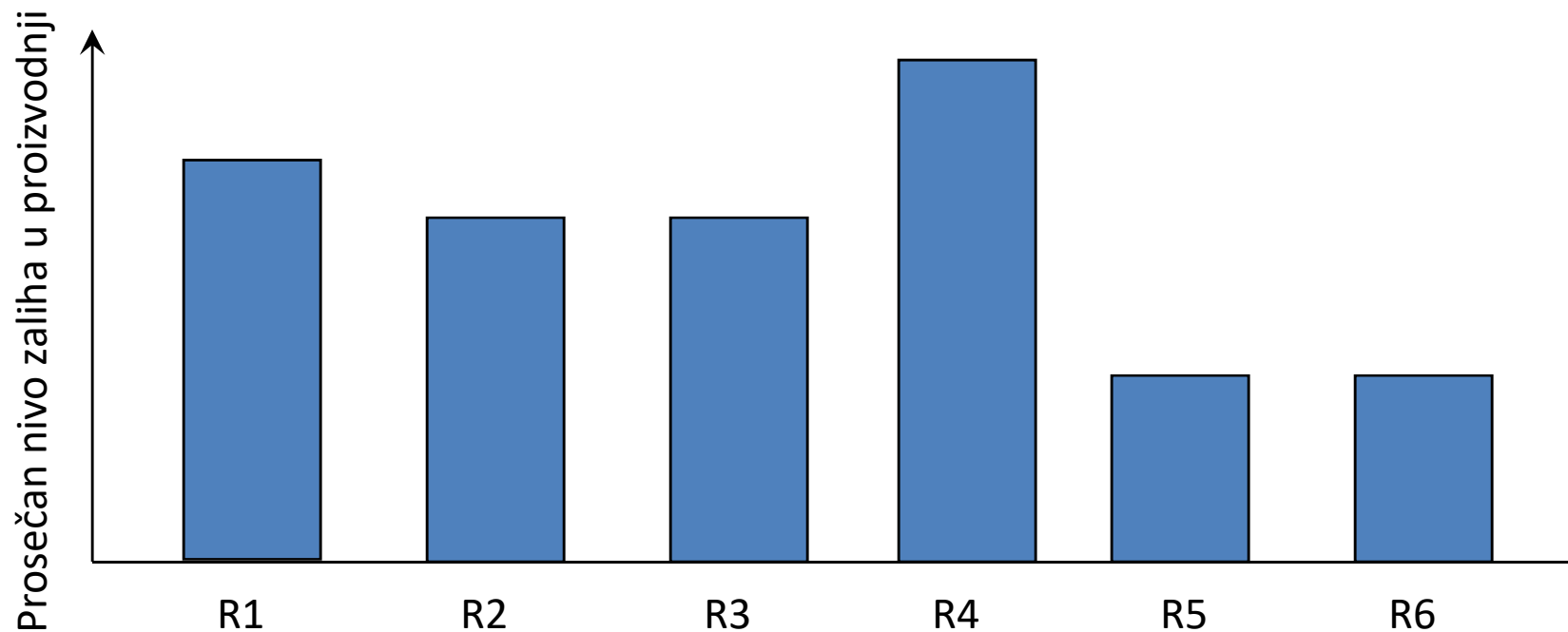


# Ciklus kontinualnog unapređenja u TOC

- **Utvrđivanje** ograničenja u sistemu
- Određivanje načina za eksploataciju ograničenja u sistemu
- **Podređivanje** svega ostalog ograničenjima  
**Kako da budemo sigurni da ograničenja nisu gubici?**
- **Podići** ograničenja kako bi se dostigao viši nivo realizacije
- Ako je ograničenje uklonjeno vratiti se na korak 1; Ne dozvoliti da inercija postane novo ograničenje

# Utvrđivanje ograničenja

- Identifikovanje fizičkih ograničenja



# stanice sa ograničenim kapacitetom (X) i bez ograničenog kapaciteta (Y)

Sno.	Relacija	Efekat
1	$Y \rightarrow X$	Višak zaliha ispred X
2	$X \rightarrow Y$	Y ima slobodan kapacitet ili "gladuje" za predmetima rada kako bi ih obradio (što je prihvatljivo)
3	$X \rightarrow$ Montaža $Y \rightarrow$ Montaža	Y predmeti rada se sakupljaju/gomilaju na montaži
4	$X \rightarrow$ Proizvod X $Y \rightarrow$ Proizvod Y	Kapacitet Y je veći nego što je potražnja na tržištu, gomilanje gotovih proizvoda, zalihe Proizvoda Y.



# Eksploatacija ograničenja

Kako da brže dobijemo više novca kroz ograničenje bez dodatnih troškova?

- Ukloniti gubitke ograničenja
  - Vreme
  - Neprodati proizvodi
  - Rasipanja
  - Izmena alata
  - Nepotreban rad
  - Utvrditi i iskoristiti alternativne procese u cilju rasterećenja
- SMED, Poka-Yoke, TPM, SPC, Terminiranje, Cloud tehnika
- Kako da odaberemo ono što je najprofitabilnije?



# Podređivanje svega ostalog ograničenjima (1)

- Odstupanje od plana ako:
  - **Ne radimo** ono što bi **trebalo** da radimo;
  - **Radimo** ono što **ne bi trebalo** da radimo;
  
- Podređivanje je:
  - **Raditi** ono što **treba** da se radi;
  - **Ne raditi** ono što **ne treba** da se radi;



# Podređivanje svega ostalog ograničenjima (2)

## Kako da obezbedimo da ostatak preduzeća ne gubi kapacitet ograničenja?

- Obezbediti **nesmetane tokove rada do ograničenja** putem lean principa npr. minimalne zalihe, male partije
- Uvesti **Drum-Buffer-Rope** upravljanje proizvodnjom

## KOJE

- Se koncentriše na **zaštitne kapacitete** (kompenzatore)
- Proizvodi proizvode koje možemo prodati – **terminiranje**
- Obuhvata **upravljanje kompenzatorima** koje doprinosi usredsređvanju na unapređenje procesa koji utiču na ograničenja

# Podići ograničenje

- Kako možemo da postignemo podnošljivi nivo ograničenja?
- Pitanje za menadžment
  - Gde bi ograničenja trebalo da budu locirana?
  - Kako da ih tamo pomerimo/premestimo?

Da bi se najefektivnije primenili alati proizvodnih ograničenja

Dodati kapacitet kroz prekovremeni rad, uvođenje dodatnih smena, nabavku novih mašina, ...

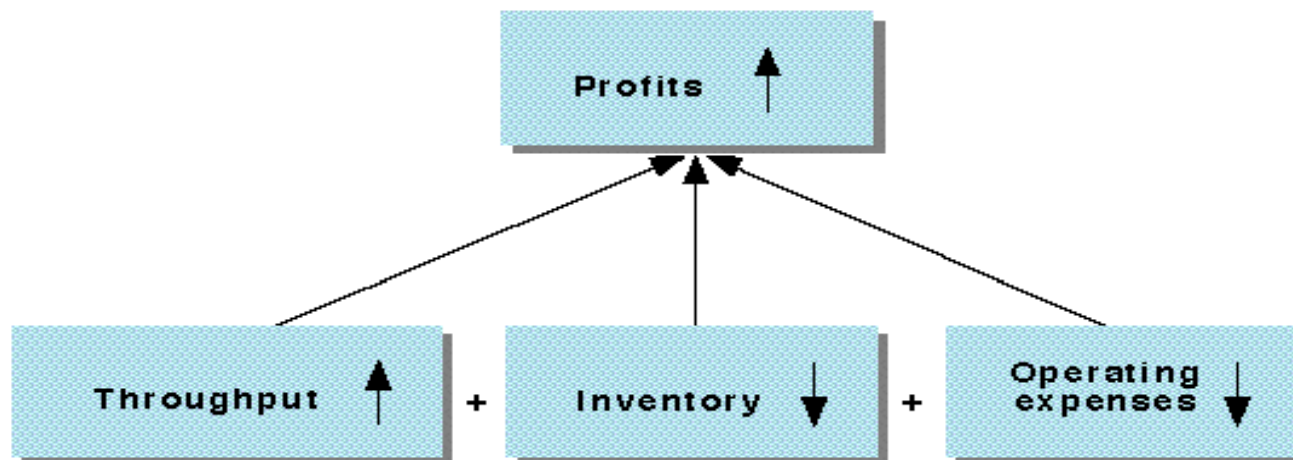
## Sprečiti inerciju!!!

# Cilj poslovnog sistema je da...?

- **Protok (T)** = *nivo na kome sistem ostvaruje prihod prodajom*  
(prodajna cena – troškovi materijala)/ jedinica vremena
- **Zalihe (I)** = *sav novac koji sistem ulaže u nabavku stvari koje namerava da proda*
- **Troškovi izrade (OE)** = *sav novac koji sistem troši na pretvaranju zaliha u tokove novca*



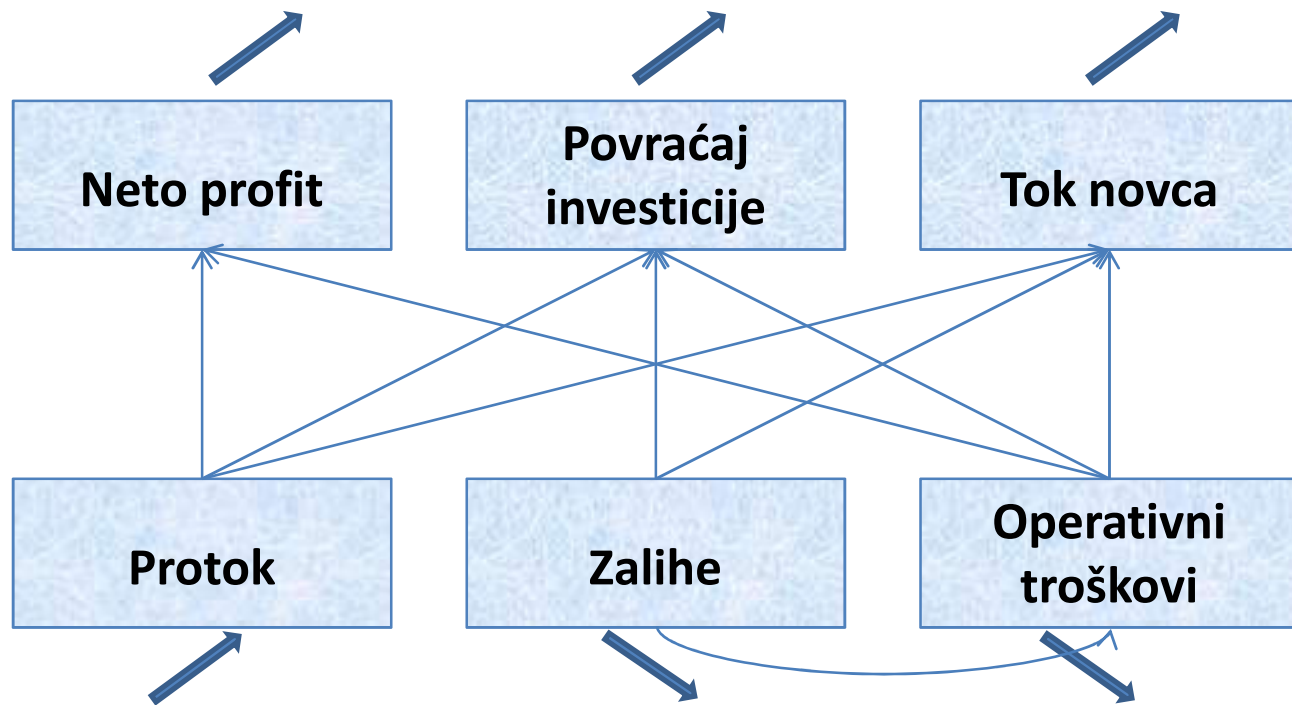
# Veza između protoka, zaliha, operativnih troškova i profita



- Profit = T – OE
- Produktivnost = T/OE

Tako jednostavno?

# Direktni uticaj

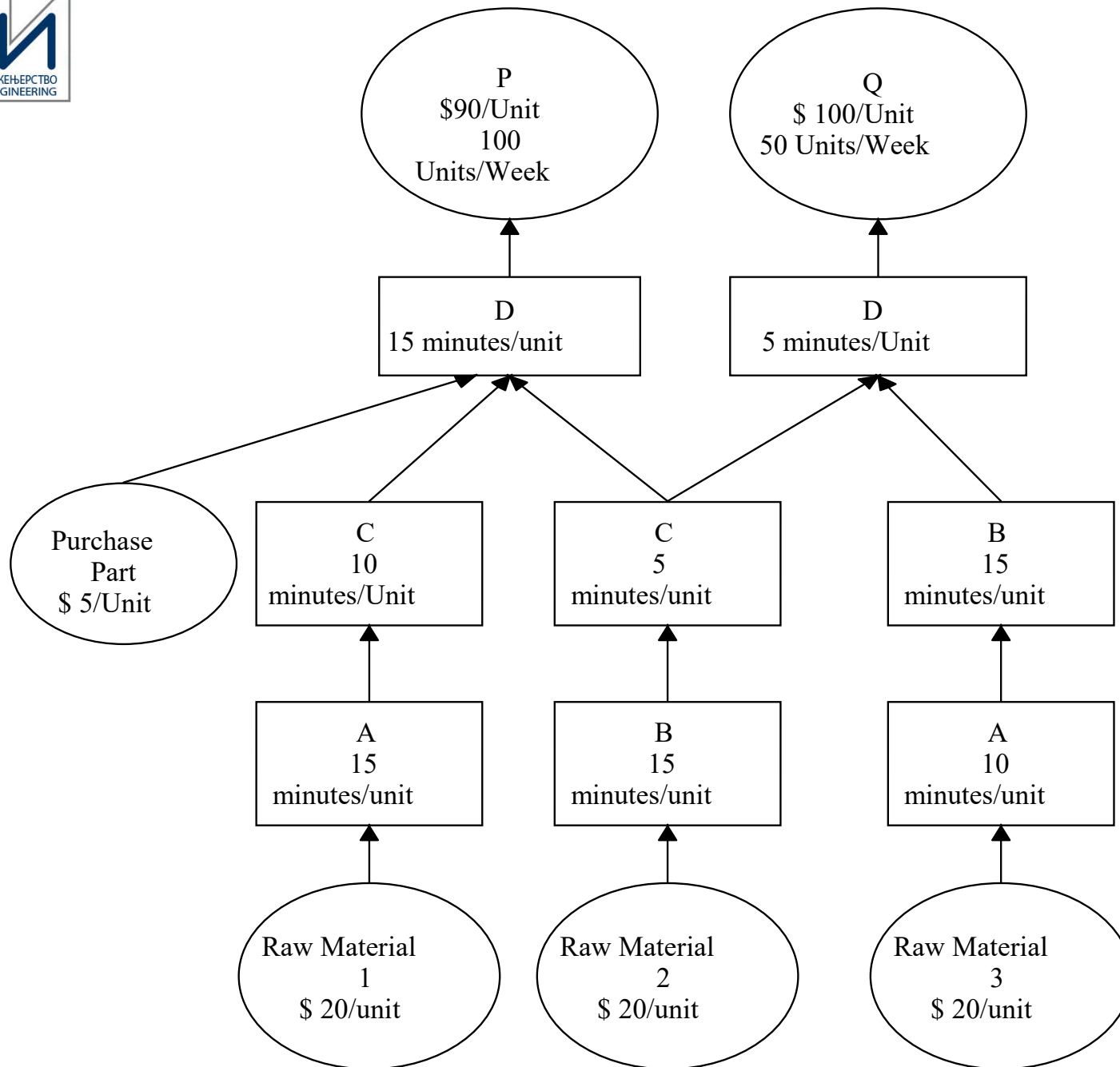


*Troškovi držanja zaliha*



# Problem u proizvodnji!?

- Prema datoj vežbi **utvrditi miks proizvoda koji će dati najveći profit** – (iz The Race)
- Napomena: primena TOC principa bi trebalo da se ispolji u smislu najvećeg nivoa profita
  - Utvrđivanje ograničenja
  - Iskorišćenje ograničenja





# Osnovni parametri

- Potražnja na tržištu za proizvod P je 100 jedinica nedeljno po prodajnoj ceni od 90 po jedinici
- Potražnja na tržištu za proizvod Q je 50 jedinica nedeljno po prodajnoj ceni od \$100 po jedinici
- Proizvod P nastaje montažom jedne kupljene komponente, jednog dela nastalog obradom materijala M1 i jednog dela obradom materijala M2
- Proizvod Q nastaje montažom jednog dela nastalog obradom materijala M2 i jednog dela obradom materijala M3
- U postrojenju rade četiri radnika
- Oni rade 8h / dan, 5 dana nedeljno – bez stajanja!
- Operativni troškovi postrojenja su \$6,000 / nedeljno. To ne uključuje troškove materijala
- Koji je maksimalni nedeljni profit (minimalni troškovi) koje ovo postrojenje može da ostvari?

# TOC principi (1)

## 1. Uravnotežiti tok, ne kapacitet;

- Kod nerepetitivne/raznovrsne proizvodnje će uvek biti radnih stanica koje su brže, i radnih stanica koje su sporije;
- Podeliti serije na manje delove, kako se ne bi čekao posao;

## 2. Korišćenje radnih stanica koje nisu uska grla nije određeno njihovim kapacitetom, već ograničenjem u sistemu;

- Maksimalno korišćenje kapaciteta na radnim stanicama koja nisu uska grla dovodi do prekomerne proizvodnje;

## 3. Korišćenje i aktiviranje resursa nisu sinonimi;

- Za razliku od konvencionalne definicije, TOC smatra da se resurs koristi samo ako doprinosi ciljevima sistema; Resurs treba da radi po uravnoteženom ritmu;

## TOC principi (2)

4. Vreme izgubljeno na uskom grlu je vreme izgubljeno u celom sistemu;
  - Usko grlo diktira protok celog sistema; ako usko grlo stane – staje ceo sistem;
  
5. Ušteda vremena van uskog grla je iluzija;
  - Kako ovo utiče na primenu Lean i Six Sigma principa?
  
6. Usko grlo upravlja protokom i zalihama u sistemu;
  - Izlaz iz uskog grla je izlaz iz sistema; nove poslove treba puštati u sistem tempom koji usko grlo može da “prati”;
  
7. Veličina transportne serije ne mora biti ista kao veličina serije u kojoj se proizvodi;
  - Transportna serija je broj komada proizvoda koji se kreće od jedne radne stanice do druge; Korisno je podeliti celokupnu seriju na manje delove, posebno u momentu kada proizvodi napuste usko grlo;

## TOC principi (3)

8. Veličina serije treba biti promenljiva;
  - Veličina serije na uskom grlu treba da bude velika koliko god je moguće, kako bi se uštedelo na izmeni alata; veličina serija na resursima koja nisu uska grla može (i treba) biti manja;
  
9. Odstupanja u procesu se dodaju jedna na druge, ne računaju se kao prosek!!!
  
10. Raspored proizvodnje treba da se uspostavi gledajući sva ograničenja istovremeno;
  - U tipičnoj proizvodnji, neki proizvodi su ograničeni kapacitetima, neki tržištem, neki politikom menadžmenta; ograničenja ne treba posmatrati nezavisno jedna od drugih





# Teškoće u implementaciji TOC

- Usko grlo može da se pomera ukoliko promenite scenario
  - Miks proizvoda
- Profit nije jedini faktor u prihvatanju i prioretizaciji radnih naloga
- Taktike, kao što je uzimanje naloga za iskorišćavanje kapaciteta jedinica koje nisu na uskom grlu bi trebalo da budu pažljivo razmatrane
- Smanjenje zaliha može da ima negativan uticaj na učinak zaposlenih
- Značajne “paradigme” moraju biti prevaziđene, a stare prakse teško umiru
- Učinak dolazi u sukob sa TOC logikom i teško je potkrepiti kada se preispituje od strane višeg menadžmenta

# Pitanja

