



Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

Prof. Dr Ivan Mihajlović

imihajlovic@mas.bg.ac.rs

kabinet: 401



Sadržaj predmeta

- O industrijskom inženjerstvu.
- Industrijski sistem u privrednom okruženju (uloga fabrike ili industrijskog sistema u privredi, funkcije koje mora da ispuni sistem i njegov benefit za privredu).
- Elementi industrijskog sistema (proizvodnja, organizacija, logistika).
- **Osnovni podsistemi industrijskog sistema (proizvodnja sa definisanim kapacitetom, transport sa definisanom tehnologijom, skadišni podsistem, održavanje, organizacija, informacione tehnologije, menadžment, ergonomija, ekonomsko - komercijalni sektor).**
- Mesto i uloga svih industrijskih podsistema sa posebnim osvrtom na primere iz industrijske prakse (fabrika, distributivni centri, transportni sistemi, informacioni sistemi).
- Primena i efekti primene industrijskih sistema u privredi sa konkretnim primerima iz prakse.

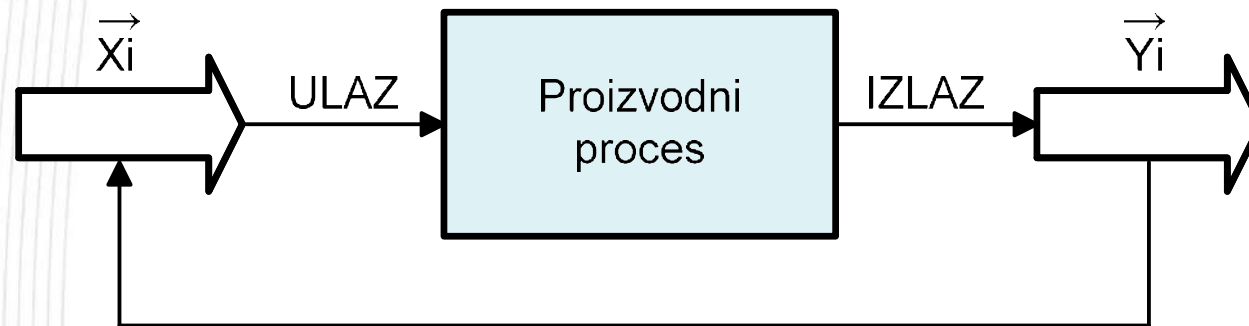


OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA

- Na osnovu svega rečenog na prethodnim terminima nastave, već iznete definicije proizvodnje, kao i uloge industrijskog sistema u tržišnom okruženju, može se zaključiti da je: ***Industrijski sistem složena celina komponenti koja ima za osnovni cilj svrsishodnu transformaciju materijalnih elemenata i raznih vidova energije u određenu novoostvarenu vrednost a koje zadovoljavaju određene iskazane potrebe tržišta. Pri tome ta novoostvarena vrednost materijalnih ili nematerijalnih dobara ima odgovarajući kvalitet i ostvarena je uz odgovarajuće ukupne troškove poslovanja u okviru proizvodnog procesa.***
- Šematski prikazano navedeni opis dat je na slici:



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA



X

- rad
- sredstva za rad
- predmeti rada
- energija
- informacije

P

- priprema proizvodnje
- tehnološki proces
- proces kontrole
- proces unutrašnjeg transporta
- proces održavanja

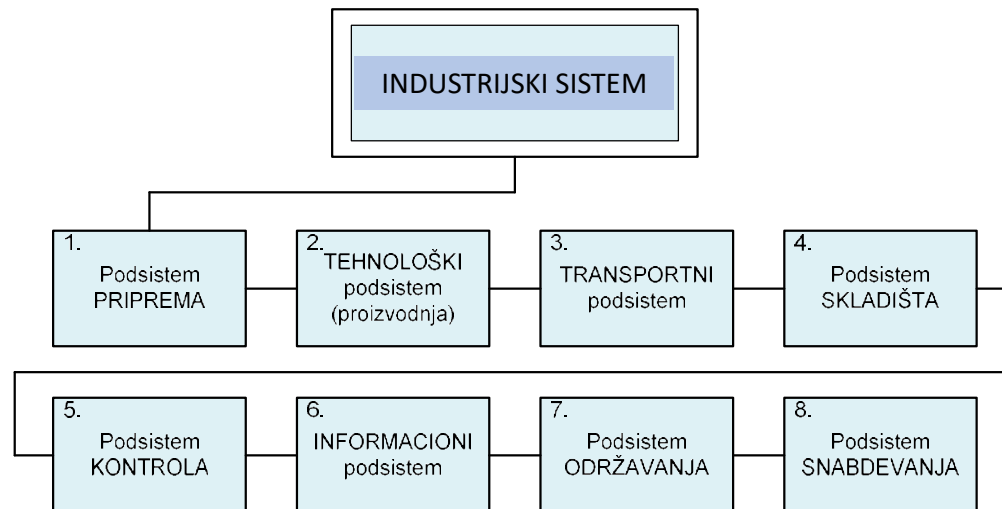
Y

- obim proizvodnje
- kvalitet proizvoda
- novostvorena vrednost



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA

- Obzirom da se industrijski sistem posmatra kao skup elemenata koji definišu sve aktivnosti koje se dešavaju sa predmetom rada od ulaska repromaterijala u proizvodnju do izlaska gotovog proizvoda, onda se on može predstaviti kao skup podsistema, kako je dato na slici:



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- U savremenoj literaturi postoje brojni predlozi za kvantifikaciju kapacitivnih mogućnosti proizvodnje.
- Adekvatan pristup problematici proizvodnih kapaciteta podrazumeva odvajanje projektovanog – proračunatog od stvarnog – ostvarenog kapaciteta .
- U cilju sistematizacije kategorije kapaciteta proizvodne opreme moguće je koristiti sledeće kategorije:
 - **Projektovani kapacitet:**
 - projektovani kapacitet shodno tehničkim karakteristikama opreme - **tehnički kapacitet**,
 - projektovani kapacitet shodno eksploatacionim i organizacionim uslovima - **eksploatacioni kapacitet**,
 - **Stvarni - ostvareni kapacitet:**
 - Kapacitet korišćenja opreme koji se realno ostvari u toku realizacije proizvodnog ciklusa. Ovaj kapacitet se ne proračunava niti projektuje, već se vrši njegovo direktno merenje, nekom od metoda koje će biti predstavljene.

Takođe, imajući u vidu kompleksnost proizvodnih sistema, razlikuje se **kapacitet** individualnih **mašina**, **komponentni kapacitet** grupa srodnih mašina i **kapacitet fabrike**.

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE



- Kapacitet mašine predstavlja njenu radnu sposobnost da u okviru određenog vremenskog perioda (uobičajeno godinu dana ili tokom ciklusa proizvodnje) izvrši izvestan broj određenih operacija.
- Za adekvatno utvrđivanje kapaciteta jedne mašine bitan je uslov poznavanja njenih tehničkih i eksploatacionih karakteristika.
 - **Tehničke karakteristike mašine** determinišu mogućnost upotrebe date mašine za obavljanje određenih poslova - operacija.
 - **Eksploatacione karakteristike mašine** odnose se na adekvatni režim korišćenja, rukovanja, održavanja, što u celini određuje radnu sposobnost mašine kroz mogućnost obavljanja određenog broja operacija u okviru jednog vremenskog intervala.
- Karakteristike mašina sa izuzetkom specijalizovanih, dopuštaju obavljanje različitih radnih operacija, što onemogućava izražavanje kapaciteta preko broja izvršenih istovrsnih operacija.
- Stoga se u većini slučajeva kao pogodna jedinica za izražavanje kapaciteta usvaja vremenska jedinica - mašinski čas ili mašina čas: [MČ].

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- *Realni tehnički kapacitet mašine* - C_{mt} pod kojim se podrazumeva fond MČ u kome je mašina u stanju da proizvodi. To, drugim recima, znači kalendarski fond časova umanjen za onaj broj časova koji je neopohodan za osposobljavanje mašine za normalan rad, proizvodnju:
- $$C_{mt} = 365 \cdot 24 - t \text{ [MČ/god]}$$
- Gde je t - projektovan ukupan broj časova godišnje za održavanje normalne radne sposobnosti mašine.
 - Dužina vremena t , zavisi od karakteristika same mašine ali i od načina na koji je organizovano održavanje proizvodne opreme u proizvodnom sistemu-u.

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Saglasno uobičajenim uslovima eksploatacije u industriji, u proračun projektovanog eksploatacionog kapaciteta mašine - C_{me} se ulazi sa sledećim pretpostavkama u pogledu projektovanog smanjenja realnog tehničkog kapaciteta, i to:
 - projektovan broj radnih smena,
 - projektovan broj neradnih dana (praznici, nedelje, subote i sl.),
 - projektovani obavezni prekidi (polučasovni odmor radnika u toku dana i sl.) i dr.
- Na taj način, eksploatacioni kapacitet mašine, računa se putem obrasca:
- $$C_{me} = C_{mt} - N \cdot 24 - P \cdot 24 - R \cdot 1.5 \text{ [MČ/god]} \quad (3.3)$$
- Kako bi se navedena formula mogla da koristi, prvenstveno je potrebno odrediti R- broj radnih dana godišnje:
 - $$R = 365 - N - P - t/24 \text{ [dana]} \quad (3.4)$$
 - Gde su: N – broj neradnih dana (subote, nedelje, remont i sl.), P-broj prazničnih dana, R-broj radnih dana (koeficijent od 1.5 h, predstavlja tri pauze od po 0.5 h u toku dana, za svaku smenu po jedna). t-vreme potrebno za održavanje tehničke ispravnosti (normalne radne sposobnosti) mašine.

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE



- Stvarni uslovi rada mašine se više ili manje razlikuju od projektovanih. Stoga se ostvareni kapacitet mašine C_{ms} razlikuje od C_{me} i to uglavnom iz sledećih razloga:
 - pretpostavke na kojima je zasnovan projektovani eksploatacioni kapacitet se ne ostvaruju,
 - deluju i drugi nepredvideni uticajni činioci, pretežno stohastičkog karaktera

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- U skladu sa prikazanim kategorijama proizvodnih kapaciteta mašine mogu se izračunati sledeći procenti iskorišćenja tehničkog i eksploatacionog proizvodnog kapaciteta mašina:
- $\eta_{mt} = \frac{C_{me}}{C_{mt}} \cdot 100\%$ $\eta_{me} = \frac{C_{ms}}{C_{me}} \cdot 100\%$
- Za realnije sagledavanje iskorišćenja raspoloživog kapaciteta mašine u datim uslovima prikladniji je η_{me} .
- S druge strane η_{mt} može da posluži za utvrđivanje stepena uticaja projektovanih uslova eksploatacije, objektivno ili subjektivno uslovljenih, na iskorišćenje projektovanog tehničkog kapaciteta.

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Kapacitet fabrike:
 - tehnički kapacitet fabrike:
 - $C_{ft} = \sum_{j=1}^n C_{mt_j}$ [MČ/god]
- Prilikom određivanja projektovanog **eksploatacionog kapaciteta fabrike** treba uzeti u obzir činjenicu da se pod kapacitetom fabrike ne može jednostavno smatrati suma odgovarajućih kapaciteta mašina. Osnovni razlog za ovu tvrdnju leži u okolnosti da kapacitet fabrike uključuje i uticaje tehničko tehnološke strukture proizvoda - kvalitativno i kvantitativno. Odnosno, od značaja je tehnološki redosled proizvodnih operacija neophodnih za dobijanje različitih finalnih proizvoda.

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Samim time, adekvatna interpretacija projektovanog eksploatacionog kapaciteta fabrike zahteva klasifikaciju svih mašina u grupe - komponentne kapacitete.
- Glavni kriterijum za razvrstavanje pojedinih mašina u odgovarajuću grupu, komponentni kapacitet, je utvrđivanje mogućnosti uzajamne zamenljivosti po osnovu tehničko-eksploatacionih karakteristika za obavljanje odgovarajućih operacija.
- Prema tome, sama veličina pojedinačnog komponentnog kapaciteta grupacije istorodnih mašina se dobija na osnovu izraza:
 - $C_{ke} = \sum_{j=1}^n C_{me_j}$ [MČ/god]
- Prema tome, projektovani **eksploatacioni kapacitet fabrike** (za uslove više proizvoda i diskontinualne tehnologije proizvodnje) interpretira se kao skup od n komponentnih kapaciteta – C_{ke} :
 - $C_{fe} = \sum_{j=1}^n C_{ke_j}$ [MČ/god]

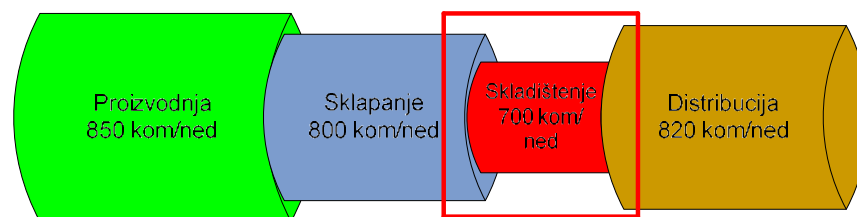
OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE



- Ono što je značajno je da mora postojati izvestan stepen usklađenosti komponentnih kapaciteta. Na taj način, prilikom projektovanja izgradnje novih ili rekonstrukcije postojećih proizvodnih kapaciteta, treba nastojati da se ostvari optimalni sklad komponentnih kapaciteta. Međutim, dinamika izmene proizvodnih programa uslovljava, ranije ili kasnije, nastanak nesklada komponentnih kapaciteta.
- Neusklađenost komponentnih kapaciteta uslovljava pojavu tzv. "uskih grla". Pod "uskim grlom" podrazumeva se potpuno iskorišćen u datim uslovima eksploatacije proizvodni kapacitet (mašine, odnosno grupa mašina kao tehnološki zaokružene skupine ili komponentni kapacitet).
- "Usko grlo" može biti:
 - grupa proizvodnih kapaciteta – mašina,
 - pojedinačni kapacitet - mašina (kao specijalni slučaj).

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Kako bi se dodatno pojasnio koncept „uskog grla“, na slici, je dat karakteristični primer:



- Sama "Uska grla" mogu nastati usled:
 - neusklađenosti proizvodnog programa sa strukturom i veličinom proizvodnih kapaciteta, odnosno lošim planiranjem odnosa ponude i potražnje,
 - niskog nivoa organizacije proizvodnih procesa,
 - lošeg održavanja radnih sposobnosti osnovnih sredstava.

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Iskorišćenje tehničkog kapaciteta fabrike, u procentima je:
- $$\eta_{ft} = \frac{C_{fe}}{C_{ft}} \cdot 100\%$$
- iskorišćenje eksploatacionog kapaciteta fabrike u procentima je:
- $$\eta_{fe} = \frac{C_{fs}}{C_{fe}} \cdot 100\% \cdot 100\%$$
- iskorišćenje komponentnih kapaciteta fabrike (u procentima) računa se na osnovu:
- $$\eta_{ke} = \frac{C_{ks}}{C_{ke}} \cdot 100$$
- η_{ft} - prikazuje koliko projektovani uslovi eksploatacije uslovljavaju neiskorišćenje tehničkog kapaciteta, što na svojevrsan način ukazuje na moguće rezerve raspoloživih kapaciteta, koje se mogu upotrebiti nakon bolje organizacije rada.
- η_{fe} i η_{ke} - pokazuju koliko se stvarno koriste projektovani eksploatacioni kapaciteti fabrike, odnosno pojedinih komponentnih kapaciteta, te kao takvi predstavljaju i najznačajniji pokazatelj korišćenja, uz pretpostavku da su projektovani uslovi eksploatacije dovoljno realno zasnovani na mogućnostima.

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE



- Prethodni kapaciteti spadaju u kategoriju projektovanih – planiranih podataka.
- **Realni, stvarni kapacitet** (ostvareni kapacitet) se dobija merenjem, odnosno snimanjem, realne situacije u proizvodnji.
- Kod manjih pogona, gde je neophodno izmeriti kapacitet raspoložive proizvodne opreme – odnosno mašina, može se vršiti direktno merenje na svakom od radnih mesta.
- Kod većih pogona, najčešće nije moguće izvršiti merenje na svakoj od mašina. U tim slučajevima primenjuju se metode kontrole korišćenja kapaciteta, zasnovane na statističkoj analizi. Jedna od najzastupljenijih metoda merenja kapaciteta, je Metoda trenutnih zapažanja (**MTZ**).

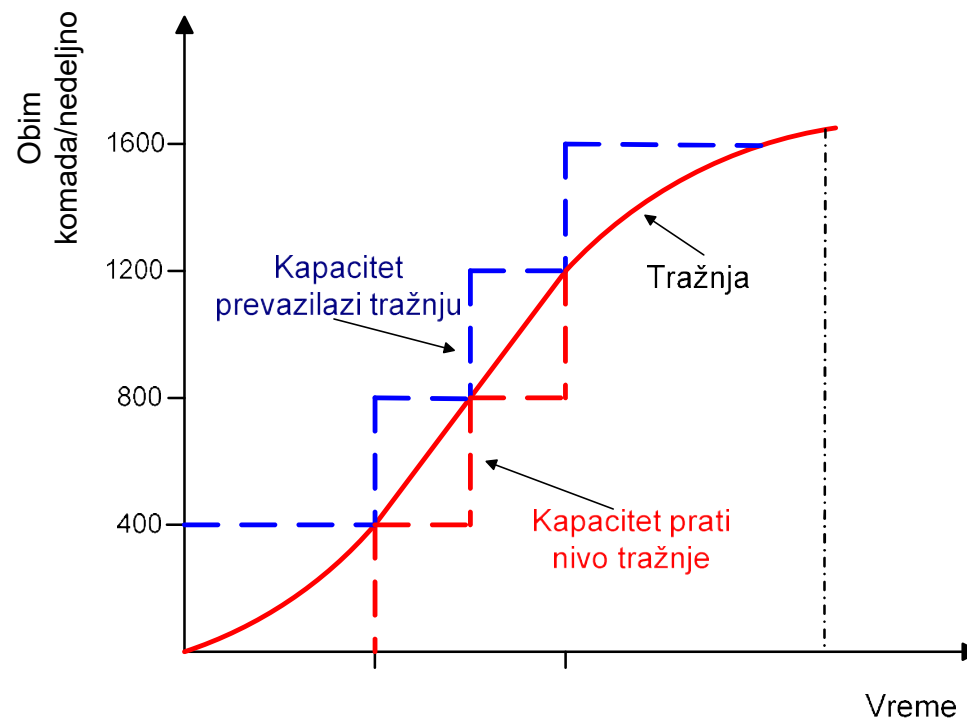
OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE



- Prema tome, pri projektovanju kapaciteta, prvo se vrši proračun takozvanih projektovanih proizvodnih kapaciteta a potom, kod realizacije procesa proizvodnje, vrši se merenje stvarnih kapaciteta kako bi se definisalo iskorišćenje kapaciteta, koje može biti od značaja za planiranje kapaciteta u narednom ciklusu proizvodnje.
- Pri tome, pošto je izvesno da projektovani kapaciteti neće biti identični ostvarenima, ali – u većini slučajeva - neće biti ni identičan potražnji za proizvodima na tržištu, treba se opredeliti za strategiju kako izvršiti njihovo usaglašavanje.
- Prema tome, definišu se **alternativni planovi kapaciteta**.

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Alternativni planovi kapaciteta



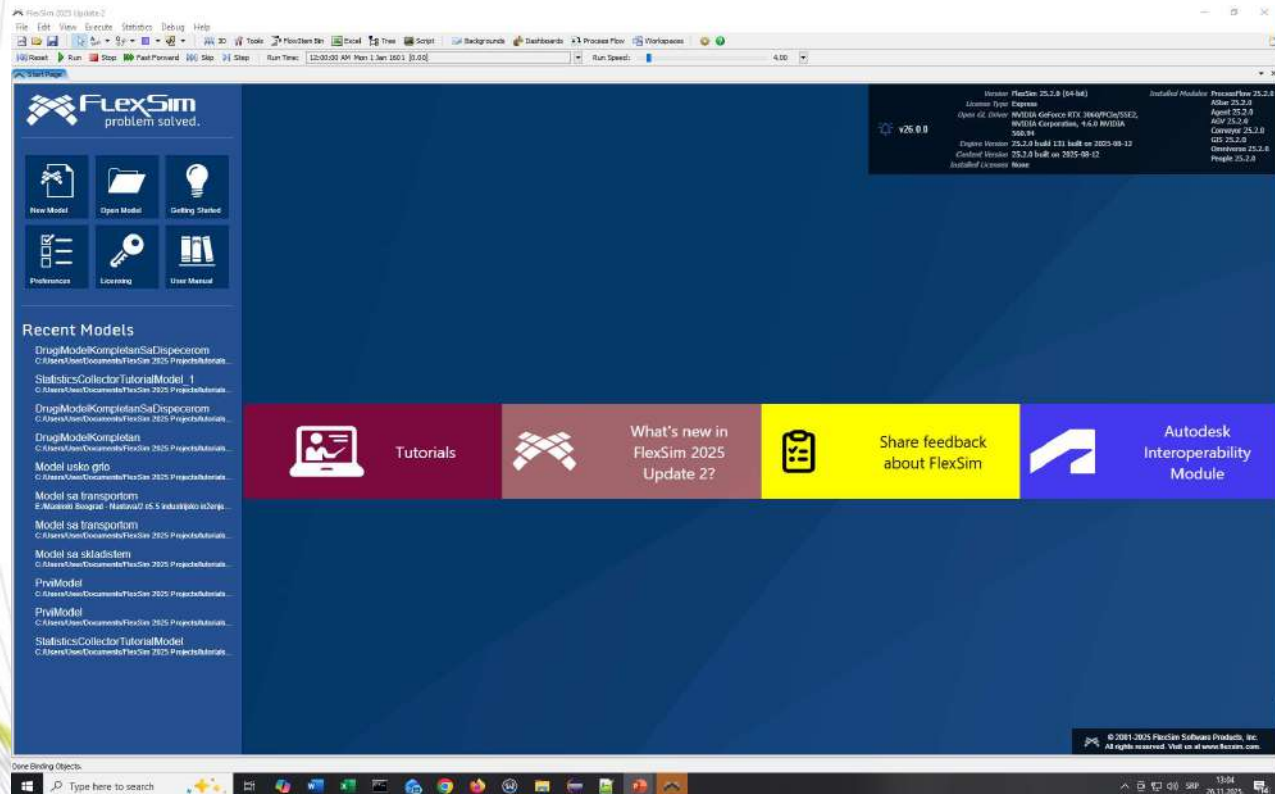


OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Primena softverskog paketa FlexSim u modelovanju i simulaciji industrijskih sistema
- Instalacija softvera: <https://www.flexsim.com/> → Try FlexSim Free

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Kod pokretanja FlexSim softvera, dobija se prozor kao na sledećoj slici:

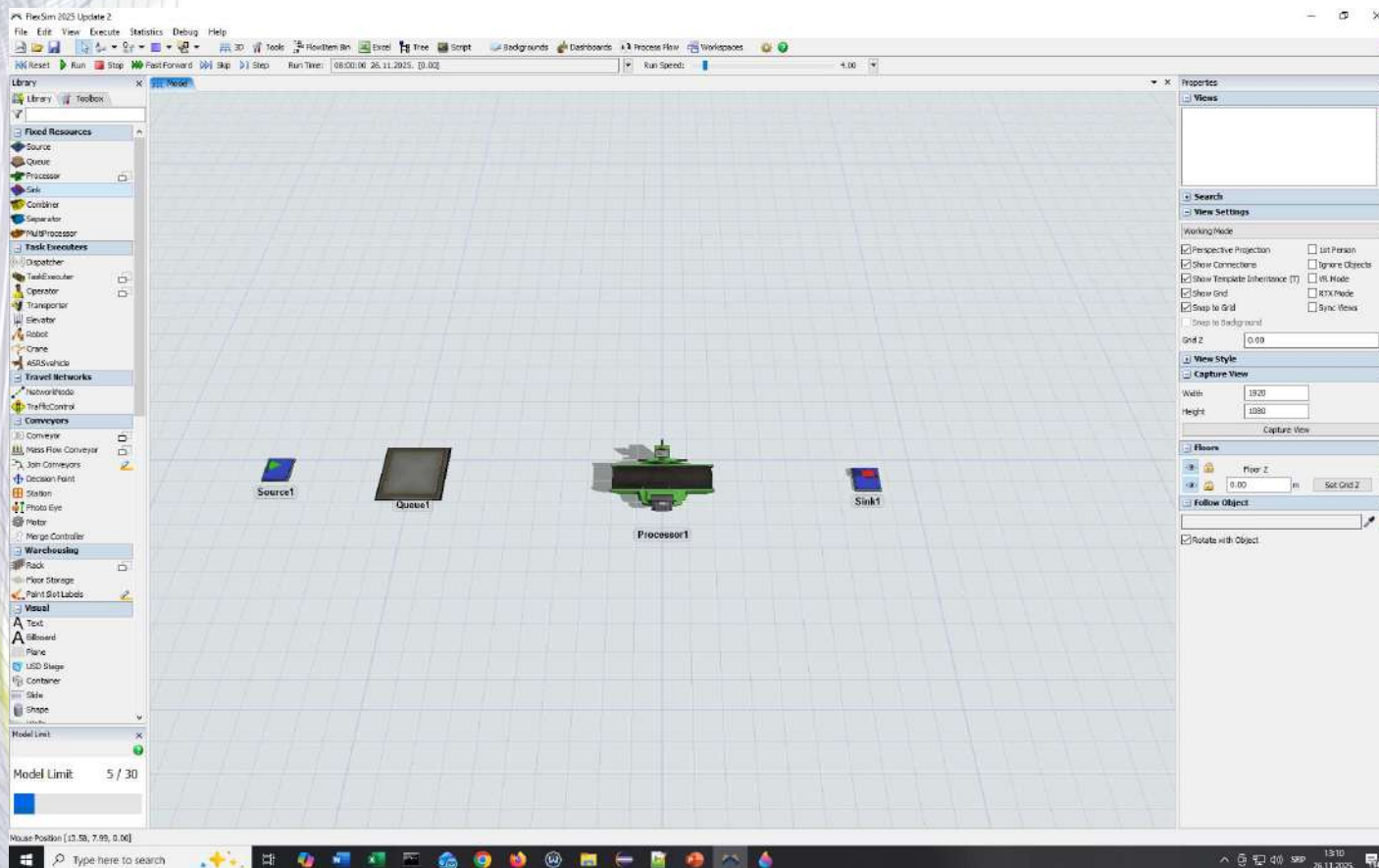




OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Novi model se pokreće preko opcije: NewModel
- Osnovni elementi, neophodni za model su Source, Queue, Processor i Sink
- Svaki od ovih elemenata se postavlja u **Model** prozor, jednostavnim povlačenjem iz **Fixed Resources** Biblioteke (Library)
- Za početak, povući jedan Source, Queue, Processor i Sink, kao na sledećoj slici:

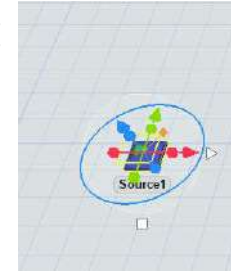
OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE



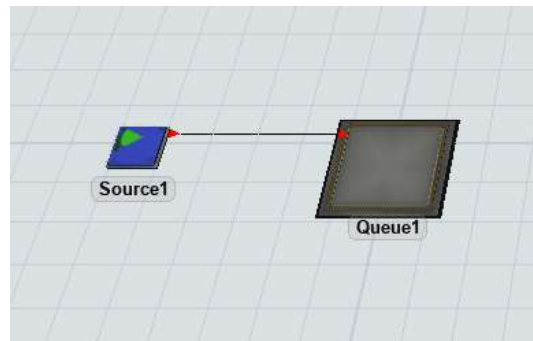


OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Povezivanje elemenata modela, vrši se tako što se klikne na element (recimo Source1) i potom na beli vrh strelice:

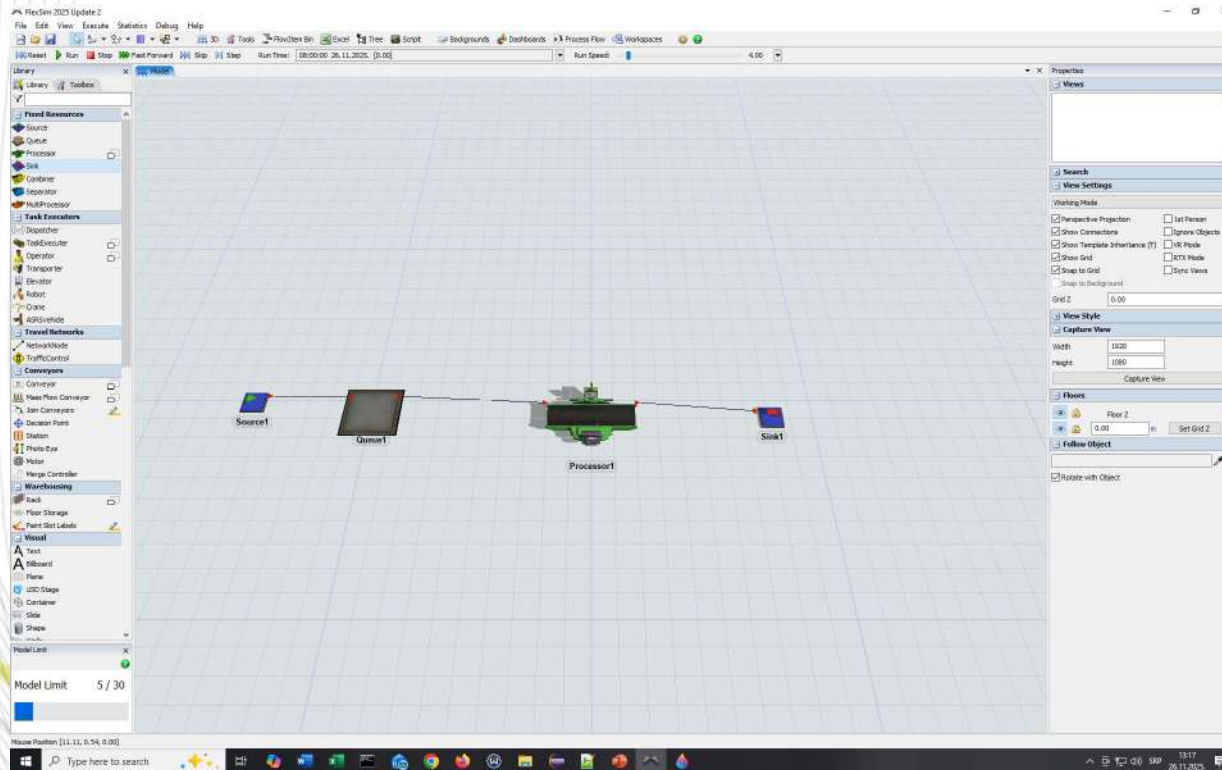


- Potom se povlači konekcija do sledećeg elementa:



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

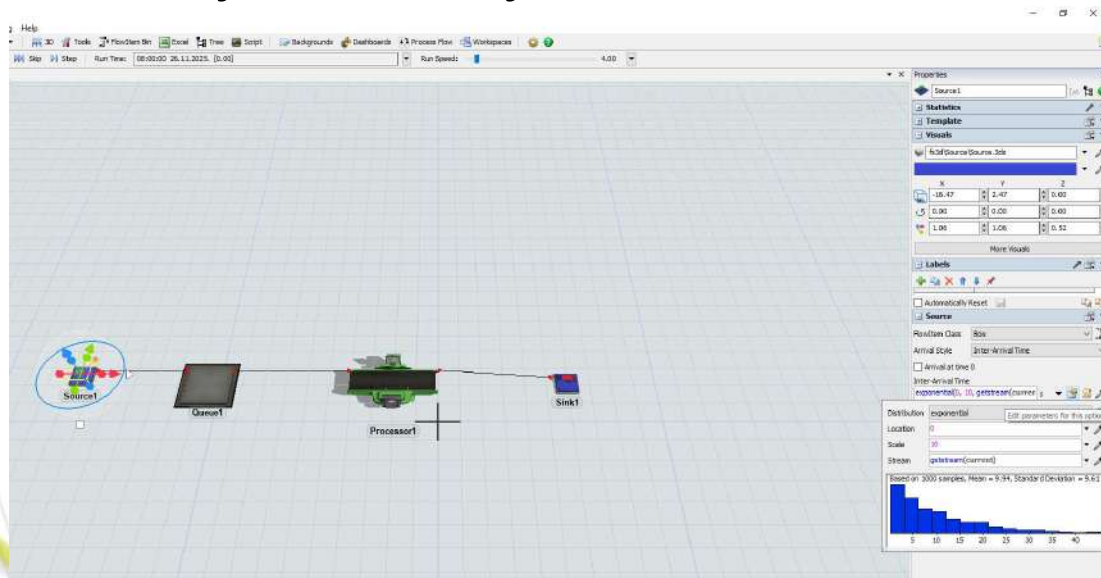
- Na taj način povezati sve elemente modela:





OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

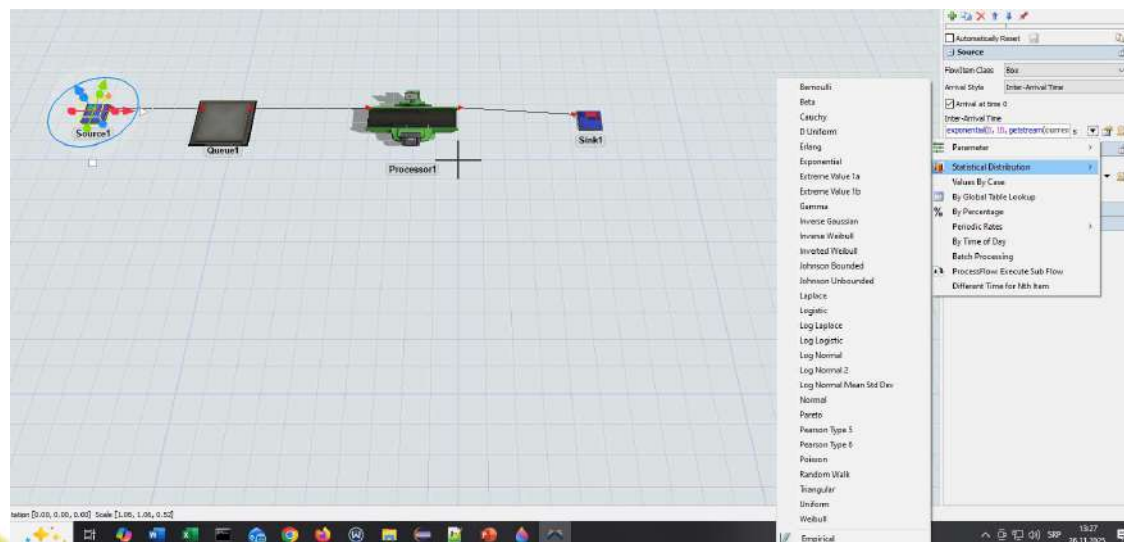
- Ukoliko se klikne ponovo a Source1, u desnom delu ekrana se otvaraju njegove osobine (Properties).
- Ukoliko se kod opcije Inter-Arrival Time, klikne na Edit parameters for this option, dobija se situacija kao na slici:



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE



- Tako je moguće podesiti parametre matematičke distribuciju kojom izvor sirovina uvodi nove objekte u model.
- Takođe, moguće je odabrati drugi vid distribucije ako se pokrene padajući meni, kao na sledećoj slici:





OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

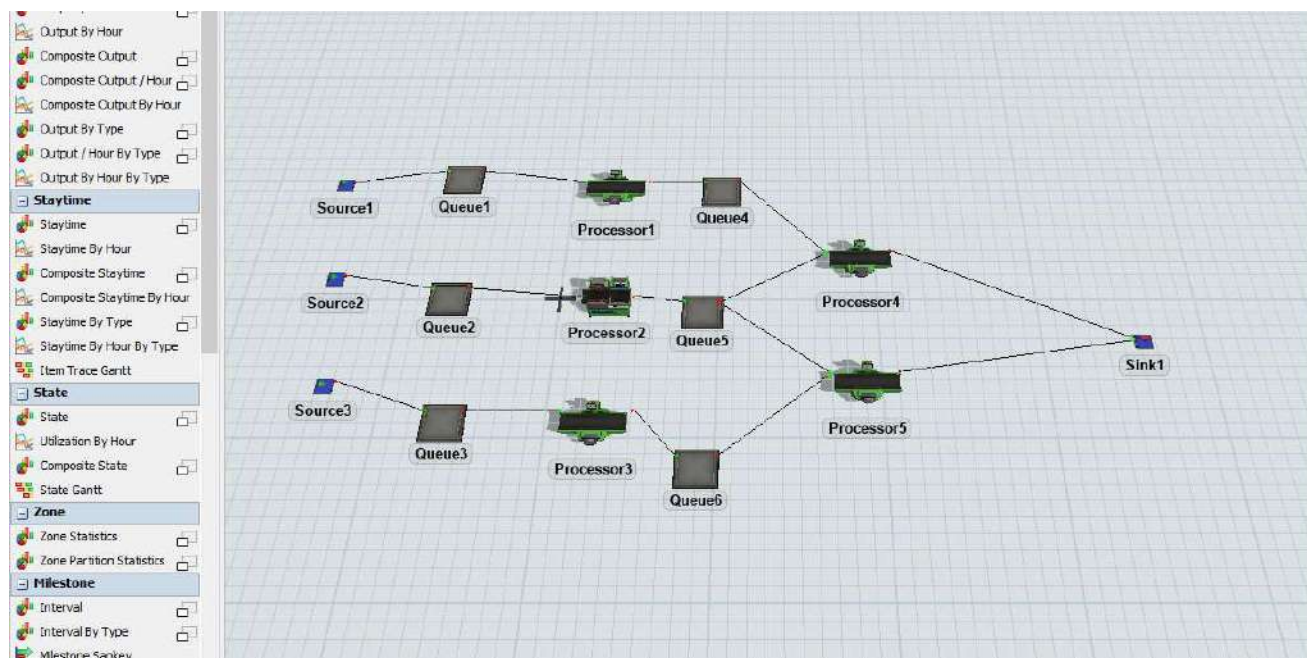
- Tza sada, zadržati datu polaznu distribuciju.
- Takođe, ukoliko se klikne na slement Processor1m dobiju se njegovi parametri. U prozoru Setup Time se unosi vreme neophodno za pripremu ovog radnog mesta, dok se u prozoru Process Time unosi neophodno vreme za obradu predmeta rada. u sekundama:



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE



- Kako bi se uočio značaj uskog grla, kombinacijom predstavljenih osnovnih elemenata, potrebno je kreirati model kao na sledećoj slici:





OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Potrebno je postaviti sledeće parametre za radna mesta (Processor-e).
- Processor 1: Process Time 75s
- Processor 2: Process Time 7s
- Processor 3: Process Time 5s
- Processor 4: Process Time 12s
- Processor 5: Process Time 15s



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Kako bi se uočio efekat uskog grla, potrebno je Kliknuti na **Dashboards**, čime se otvara prozor za pregled ključnih indikatora procesa (KPI).
- U prvom slučaju, od indikatora odabrati Grafikone **State**
- Postaviti dva grafikona, prvi za Processor1,2 i 3 i drugi za Processor 4 i 5, kao na sledećoj slici:

FlexSim 2025 Update 2 - Model (auto-generated)

File Edit View Execute Statistics Debug Help

Reset Run Stop Fast Forward Step Step Run Time: 8:00:00 AM 10/20/2025 [0.00] Run Speed: 1897

Library

- Content
 - Content
 - Average Content
 - Composite WIP
 - WIP By Type
- Output
 - Output
 - Output / Hour
 - Output By Hour
 - Composite Output
 - Composite Output / Hour
 - Composite Output By Hour
 - Output By Type
 - Output / Hour By Type
 - Output By Hour By Type
- Staytime
 - Staytime
 - Staytime By Hour
 - Composite Staytime
 - Composite Staytime By Hour
 - Staytime By Type
 - Staytime By Hour By Type
- Item Trace Gantt
- State
 - State
 - Utilization By Hour
 - Composite State
 - State Gantt
- Zone
 - Zone Statistics
 - Zone Partition Statistics
- Milestone
 - Interval
 - Interval By Type
 - Milestone Sequence
- Travel
 - Travel Distance
 - Travel Distance By Hour

Model Limit: 16 / 30

Model

Dashboard

State

State 1

Properties

State

Options

Objects

- Processor 1
- Processor 2
- Processor 3

State Profile

Default

StateTable1

☐ Show Excluded States

☒ Adjust colors based on State Table

Settings

☒ Show Legend

☒ Show Percentages

☐ Show Zero Columns

Segment Ordering

Use order in color palette

Pie Slicing

Fixed values

Outer Radius: 50.00

Thickness: 10.00

Text

Precision: 2.00

Font Size: 12.00

Title Font Size: 20.00

☐ Custom Title

Show Column Headers

- ☐ Object
- ☐ State
- ☐ Time
- ☐ Utilization

Colors

Sorting

Advanced

Mouse Position: [46.81, -2.47, 0.00]

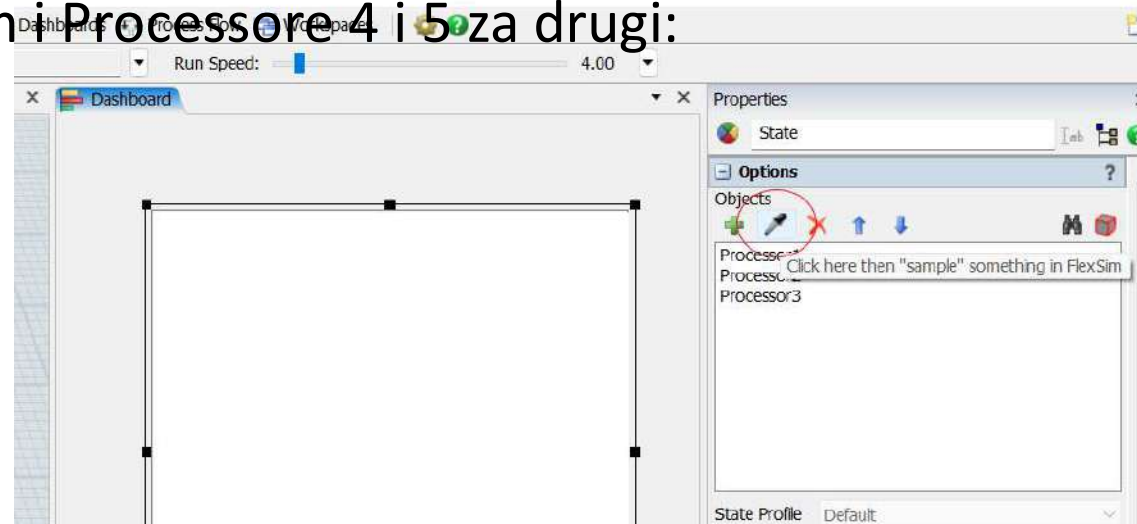
Type here to search

13:52 26.11.2025

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE



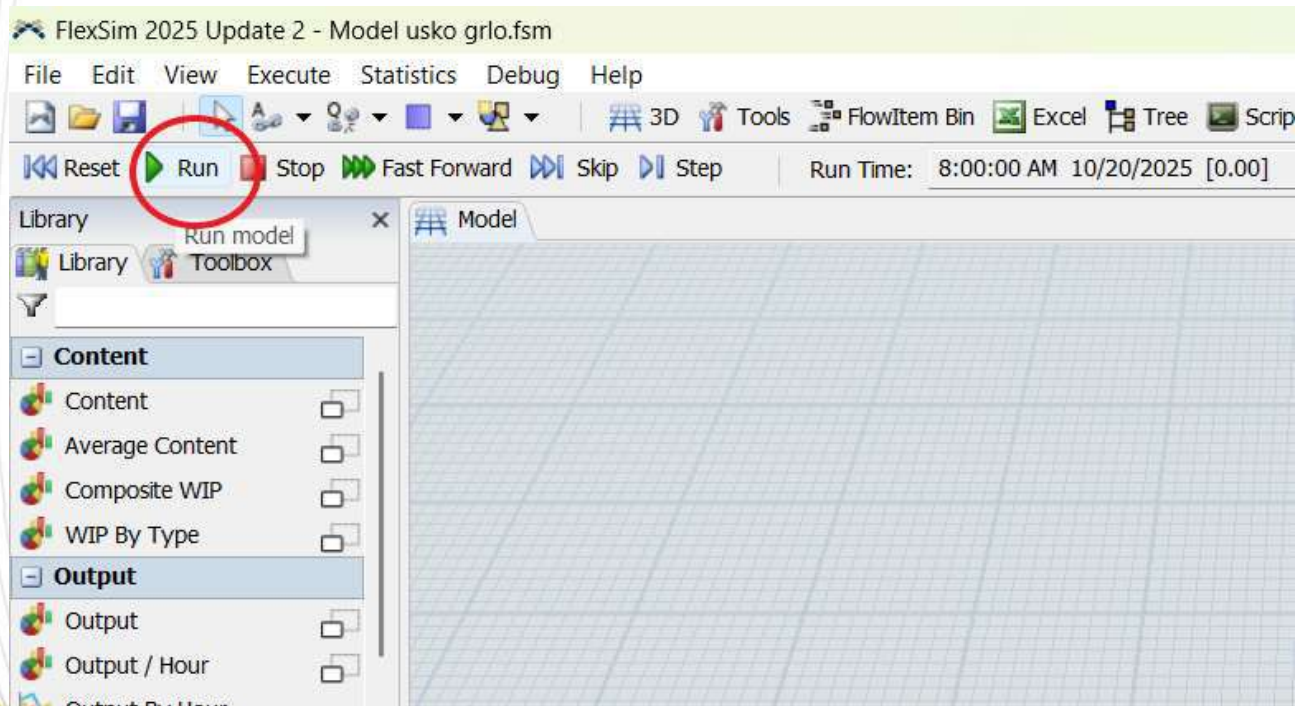
- Dodavanje KPI-a određenog dela opreme iz modela, u dijagrame na Dashboard-u, radi se preko alata oblika pipete sa prethodne slike.
- Potrebno je kliknuti na prvi State dijagram i potom sa desne strane, iz prozora Options, uzeti alat tipa pipete i kliknuti na Processore-1,2 i 3 za prvi dijagram i Processore 4 i 5 za drugi:





OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

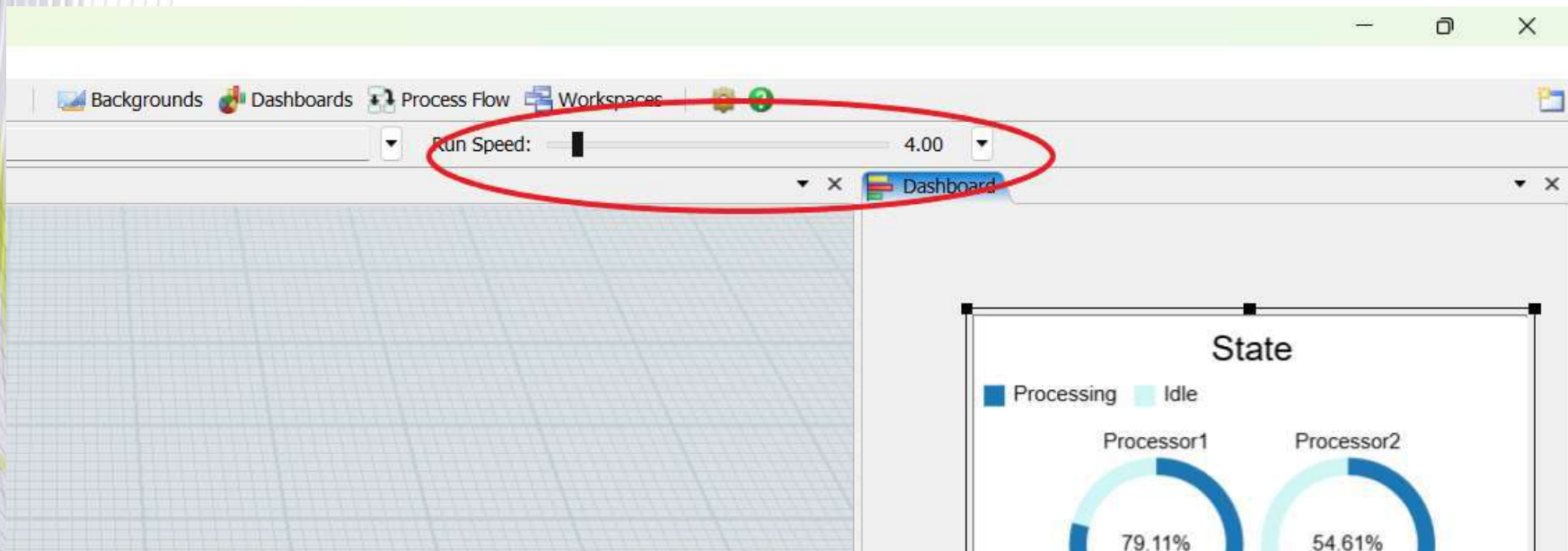
- Pokretanje samog modela vrši se preko komande RUN:





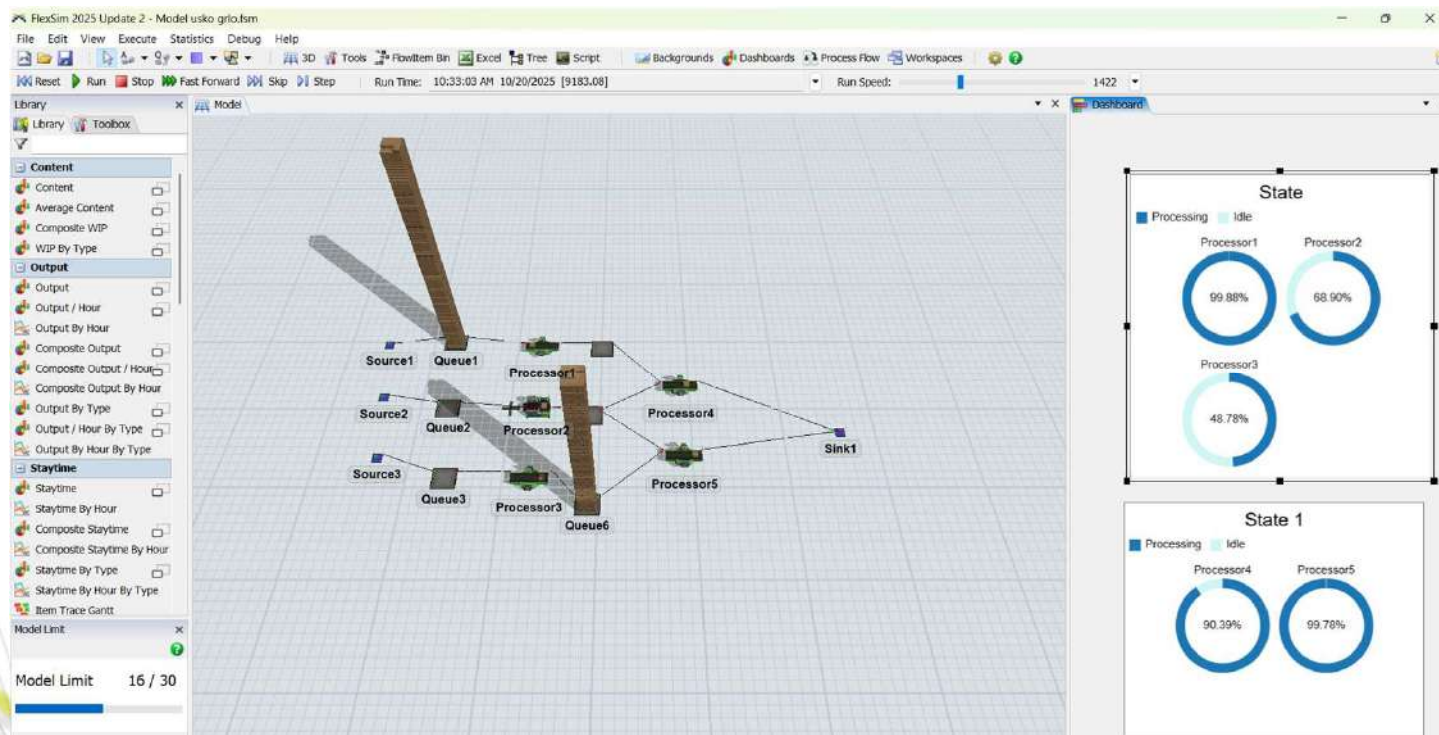
OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Brzina simulacije u modelu, kontroliše se preko klizača sa desne strane:



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Nakon završetka relizacije modela iz ove vežbe, dobija se situacija prikazana na slici:





OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – KAPACITET PROIZVODNJE

- Očigledno je da Processor 1 i Processor 5 predstavljaju usko grlo u predstavljenom modelu, te je neophodno optimizirati operacije koje se odvijaju na ovim delovima opreme.
- Sama mogućnost optimizacije, biće predstavljena na sledećem terminu nastave.

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE



- **Obim proizvodnje** predstavlja količinu proizvoda koju će industrijski sistem proizvesti u toku određenog vremenskog perioda. Obim proizvodnje se može predstaviti na godišnjem nivou ili na nivou jednog ciklusa proizvodnje (koji može trajati od nekoliko dana do više meseci).
- Optimalna veličina obima proizvodnje, zavisi od karakteristika samog procesa proizvodnje (kvantitativnih i kvalitativnih aspekata), kao i od internih ograničenja, koja su u prvom redu proizvodni kapaciteti, kao i kapaciteti skladištenja (o kojima će više reči biti kasnije).

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE



- Posmatrano na bazi kriterijuma kvantiteta, razlikuju se tri tipa proizvodnje:
 - **Pojedinačni** - proizvodi se samo jedan komad (finalnog proizvoda ili nekog njegovog elementa). Tu svakako treba razlikovati pojedinačnu proizvodnju, takozvanog zanatskog tipa i pojedinačnu proizvodnju – projektnog tipa.
 - **Serijski** - proizvodi se unapred određena količina istovrsnih komada (finalnog proizvoda ili njegovih elemenata) u okviru jednog proizvodnog ciklusa, sa ponavljanjem ili bez ponavljanja.
 - **Masovni** - proizvodi se sukcesivno velika količina istovrsnih komada (finalnih proizvoda ili njegovih elemenata).
- Naravno, treba istaći da nije redak slučaj i da preduzeća/kompanije imaju kombinaciju pojedinačne, serijske i masovne proizvodnje.
- U tom slučaju se pojedini proizvodi (ili delovi proizvoda) proizvode u manjoj seriji – ili unikatni komadi, dok se drugi proizvodi iz portfolia iste kompanije izrađuju u velikoj seriji ili masovno.

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE



- Sa stanovišta kvalitativnog pristupa proizvodnom procesu može se kao kriterijum usvojiti: **stepen kontinuiranosti procesa**. Obuhvatajući sve elemente procesa zavisno od stepena razvoja svakog pojedinog elementa i njihovog međusobnog uticaja, razlikuju se dve osnovne kategorije:
 - kontinualni procesi,
 - diskontinualni procesi,
 - kombinovani (polukontinualni) procesi.
- Na stepen kontinualnosti procesa transformacije materijala utiču:
 - vrsta finalnih proizvoda i elemenata proizvoda,
 - nivo proizvodne i druge opreme,
 - vrsta polaznih repro materijala – sirovine,
 - koncepcija procesa transformacije materijala u gotov proizvod, odnosno primenjeni tehnološki proces i
 - ljudski faktor.

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE

- Ono što je od značaja je pronaći optimalnu veličinu proizvodne serije, srazmernu uslovima datog procesa proizvodnje.
- U tom smislu, kvantitativni aspekt tipova proizvodnje proizvoda, uopšte, treba tretirati u kontekstu:
 - eksternih uslova i
 - internih uslova proizvodnje.
- Što se **eksternih** uslova tiče, tu zapravo spada potražnja za datim proizvodima na tržištu. Eksterni uslovi se, na dugoročnoj i kratkoročnoj osnovi, procenjuju aktivnostima istraživanja tržišta.
- **Interni** uslovi podrazumevaju mogućnost poslovno proizvodnih sistema, da uz optimalni nivo troškova, tehnički i tehnološki odgovori zahtevima tržišta. U interne uslove spadaju - relativno fiksni resursi i ostali resursi. U relativno fiksne resurse spadaju:
 - proizvodni objekti,
 - proizvodna oprema (raspoloživi proizvodni kapaciteti),
 - odgovarajuća infrastruktura (transportna mreže, instalacije, komunikacije i sl.).

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE

- Glavni aspekti koji se analiziraju kod određivanja optimalne veličine proizvodne serije, podrazumevaju odnos između:
 - **troškova pripreme proizvodnje** - odnosno troškove organizacije nabavke neophodnih repromaterijala (setup/ordering costs) (t_1) i
 - **troškova nedovršene proizvodnje** (poluproizvoda) kao i manipulacije materijalom, t.j. skladištenje po jednom komadu u okviru odgovarajuće količine u seriji – (Holding/carrying costs) (t_2) , uz pretpostavku da su svi ostali troškovi nepromenjeni bez obzira na veličinu serije.

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE

- optimalna serija je ona veličina proizvodne serije za koju su troškovi proizvodnje po jedinici proizvoda minimalni.
- Analitički izraženi kriterijum, dat je u sledećoj funkciji cilja:
 - $T = t_1 + t_2 \rightarrow \min$
 - t_1 - pripremno-završni troškovi [din/god] i
 - t_2 - troškovi skladištenja [din/god]

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE

- Pripremno-završni troškovi se i zračunavaju pomoću izraza:

- $t_1 = \frac{D}{X} \cdot S$

- Dok se troškovi skladištenja određuju izrazom:

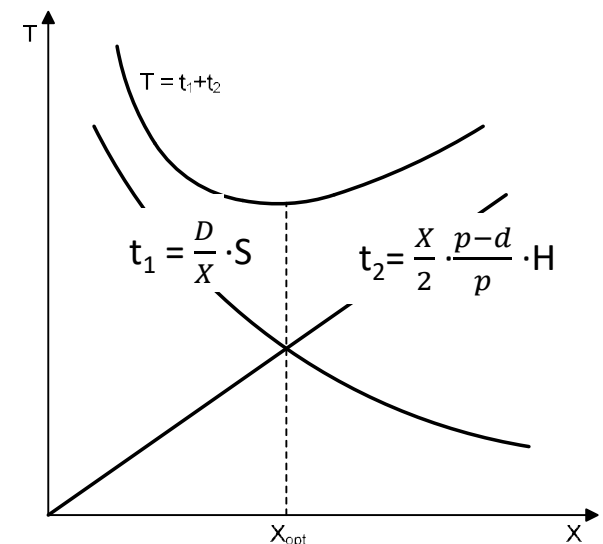
- $t_2 = \frac{X}{2} \cdot \frac{p-d}{p} \cdot H$

- Upotrebljeni simboli predstavljaju:

- X - veličina proizvodne serije – koju treba optimizirati [kom/ser];
- D - godišnje utvrđena potrebna količina proizvoda (delova) na tržištu, [kom/god];
- S - pripremno-završni troškovi za jednu proizvodnu seriju [din/ser];
- H - troškovi skladištenja (zamrzavanja obrtnih sredstava) po jedinici proizvoda, definisani dugoročnim planom za godinu dana ;
- p - dnevna proizvodnja odgovarajućeg dela proizvoda [kom/dan];
- d - količina delova koja se direktno ugrađuje u finalni proizvod u toku dana [kom/dan];

- Prema tome, biće:

- $T = t_1 + t_2 = \frac{D}{X} \cdot S + \frac{X}{2} \cdot \frac{p-d}{p} \cdot H$



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE

- Posto se traži minimum funkcije troškova, prethodna funkcija se diferencira i izjednačava sa nulom:

$$\frac{\partial T}{\partial X} = -\frac{D}{X^2} \cdot S_v + \frac{1}{2} \left(\frac{p-q}{p} \right) \cdot H_v = 0$$

Kod ovog modela mogu se javiti dva ekstremna slučaja:

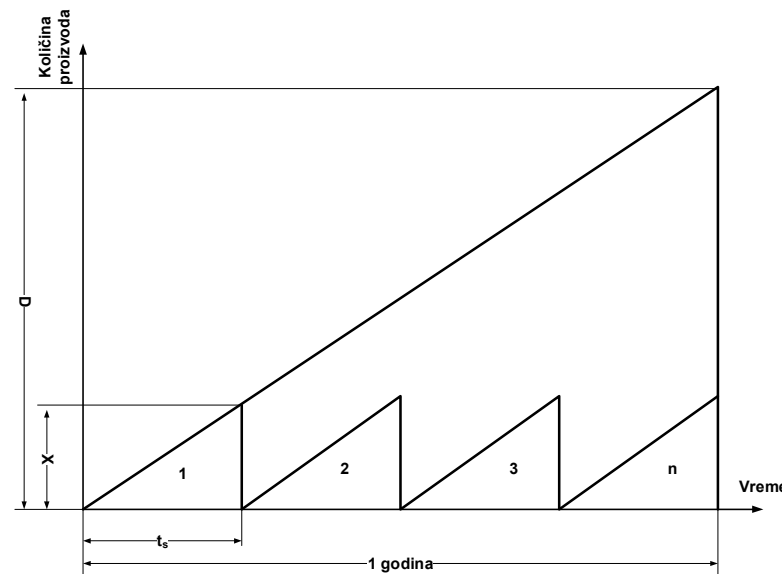
$$d = 0 \quad \text{i} \quad d = p$$

- rešavanjem po X – dobija se izraz za optimalnu veličinu proizvodne serije:

- $X_{opt} = \sqrt{\frac{2 * D * S}{H} * \frac{p}{p-d}} \quad [\text{kom/ser}]$

OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE

- Rezultujući prikaz optimalne veličine proizvodne serije je dat na slici:



- Na slici je sa t_s predstavljeno vreme trajanja proizvodnje jedne proizvodne serije (ciklus proizvodnje), dok n predstavlja broj proizvodnih serija u toku jedne godine.



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE

- Kada se odredi optimalni obim proizvodnje, potrebno je uraditi dodatnu analizu time što se u obzir uzima procenat škarta u proizvodnji.
- Na taj način, obim proizvodnje – sa uzetim u obzir škartom proizvodnje, se određuje kao:
 - $Q = \frac{X_{opt}}{1-f/100}$
- Gde su: X_{opt} – optimalna veličina proizvodne serije, definisana programom proizvodnje; f – nivo prihvatljivog škarta u procentima.



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE

- **Proračun potrebnog broja mašina**
- Postoje brojni načini za proračun neophodnog broja mašina određene vrste. Jedan od njih se zasniva upravo na poznavanju kapaciteta mašina i na planiranom obimu proizvodnje. Svakakom najznačajniji podatak – kako bi se mogao da ostvari proračun, je **podatak o tehničkim mogućnostima mašine, odnosno o broju komada koji mašina može obraditi tokom jedne smene.**
- Obim proizvodnje, kada se uzme u obzir eksploatacioni kapacitet određene vrste mašina, dat je sledećim obrascem:
 - $Q_e = \frac{X_{opt}}{\left(1 - \frac{f}{100}\right) \cdot \eta_{mt}}$ gde je η_{mt} – stepen iskorišćenja tehničkog kapaciteta mašine
- Do ovog podatka se može doći ili na osnovu **tehničkih specifikacija same mašine (proračunom)**, ili na osnovu **praćenja proizvodnje u prethodnim ciklusima proizvodnje (snimanjem)**, te da se na osnovu toga izračunava prosečan učinak mašine.
- Takođe, treba imati u vidu da u pojedinim tipovima proizvodnje nije moguće zaustaviti proizvodnju tokom vikenda i/ili praznika. U tom slučaju, eksploatacioni kapacitet svakako će biti približan tehničkom kapacitetu. To ne znači da radna snaga u tom slučaju nema predviđene pauze u radu ili odmor, jer svaki pojedinačni radnik ima pravo na navedene pauze, već samo da je potrebno predvideti veći broj proizvodnih radnika – kao i troškove rada za rad praznicima i vikendom, kako bi se obezbedila kontinualnost u procesu.
- Potreban broj mašina n_m se određuje, uzevši u obzir sva navedena ograničenja.



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE

- **Proračun radne snage**

Potreban broj radnika, za rad na radnim aktivnostima u pojedinim fazama i aktivnostima proizvodnog procesa, takođe je moguće proračunati na osnovu sličnih parametara, kao i neophodni broj mašina. Međutim, najčešći je slučaj da se prvo izvrši proračun neophodnog broja mašina, pa da se potom, za taj broj mašina vrši procena neophodnog broja operatera, po osnovu tabličnih podataka za broj operatera koji opslužuju određeni tim mašina. Za taj proračun se koristi obrazac:

$R = n_m / s$, gde su n_m – broj mašina; s – prosečan broj mašina koje opslužuje jedan radnik

Prema podacima iz literature, prosečan broj mašina koje opslužuje jedan radnik (s) je:

- u pogonima masovne proizvodnje 1.5-2.5
- u pogonima velikoserijske proizvodnje 1.5 – 1.8
- u pogonima sa poluautomatskom opremom 1.5 – 2.0
- u pogonima sa automatizovanom opremom 2.5 – 4.0



OSNOVNI PODSISTEMI INDUSTRIJSKOG SISTEMA – OBIM PROIZVODNJE

- Prosečan broj pomoćnih radnika – radnika koji rade na opsluživanju proizvodnje, utvrđuje se na osnovu procenta od ukupnog broja proizvodnih radnika. Tako da je, na osnovu literaturnih podataka:
 - U masovnoj proizvodnji 20 - 40 %
 - Serijska i velikoserijska proizvodnja 30 – 35%
 - Maloserijska i pojedinačna proizvodnja 25 - 45 %
- Broj zaposlenih u upravi, razvoju, tehničkim biroima, pripremi, administraciji, itd, iznosi 12-20% od ukupnog broja svih radnika. Svakako, detaljan proračun broja radnika (kao i neophodnog sastava radne snage u smislu kvalifikacija i školske spreme) je predmet sveobuhvatne analize na nivou kadrovskih odeljenja same kompanije.
- Navedenim literaturnim podacima je moguće uraditi samo grubu procenu potrebnog broja radnika.



ZADATAK ZA STUDENTE # 3

- Za opisani proizvod iz Zadatka 1, opisati postojeći ili predložiti novi **plan obima proizvodnje**.
- U okviru plana obima proizvodnje, predvideti/prikazati minimalni, optimalni i maksimalni obim proizvodnje.
- Ukoliko je primenjivo za primer iz zadatka, izračunati optimalni obim proizvodnje koristeći opisani model (*Production Order Quantity Model*).
- Ukoliko nije primenjivo, izračunati optimalni obim proizvodnje, uzevši kao polazne sledeće parametre: $D=250000$ kom; $S = 220000$ nj/ser; $H = 500$ nj/kom; $p = 950$ kom; $d = 685$ kom. Rezultate predstaviti proračunom, kao i primenom QM softvera.



ZADATAK ZA STUDENTE # 3

- Koristeći aplikaciju FlexSim kreirati proces sa minimum dva nivoa (faza) procesa proizvodnje. Kao proizvodnu opremu koristiti Processor-e. U prvom nivou procesa, locirati 4 Processora, dok u drugom locirati 3 Processora. U prvom nivou, proizvodno vreme prvog Processora iznosi 15s, drugog 10, trećeg 5s i četvrtog 25s. U drugom nivou, proizvodno vreme petog processora je 15s, šestog 35s i sedmog 12s. Za svaki procesor postaviti izvor sirovine (source) i adekvatni prostor (Queue) za smeštaj obrađenih predmeta rada. Na kraju procesa postaviti mesto potrošnje predmeta rada (Sink). Na Dashboardu predstaviti stanje iskorišćenja kapaciteta svakog od processor-a (Koristeći garfine State). Opisati koji od segmenata procesa je usko grlo i predložiti kako se ovaj problem može rešiti. Kao primer, koristiti model pod nazivom „Model usko grlo.fsm“. Rezultate u projektu predstaviti kao skrinšot ekrana dobijenih modela.
- Za sledeći termin nastave, po mogućnosti, poneti laptop računare