

Osnovne postavke simulacionog modeliranja

- Fundamentalni koncept simulacionog modeliranja, proistekao iz same ideje Metode Monte Karlo, jeste koncept slučajnih brojeva, odnosno pseudoslučajnih brojeva, što je uobičajen pistup u računarskoj simulaciji.
- Generisanjem slučajnih brojeva, saglasno osnovnim principima simulacije, te konceptu i strukturi modela kao i uvedenim matematičkim relacijama, kreira se "veštačka istorija" modeliranog sistema, odnosno generišu se uzorci, tj. skupovi vrednosti promenljivih stanja koji se potom obraduju primenom statističkih metoda i teorije verovatnoće.
- **PRIMER** Neka je poznat prosečni interval od 10 min između dva uzastopna nailaska vozila, eksponencijalno raspoređen. Ukoliko opservacija sistema počinje u trenutku $t=0$, formirati "veštačku istoriju" trenutaka nailaska prvih 5 vozila.

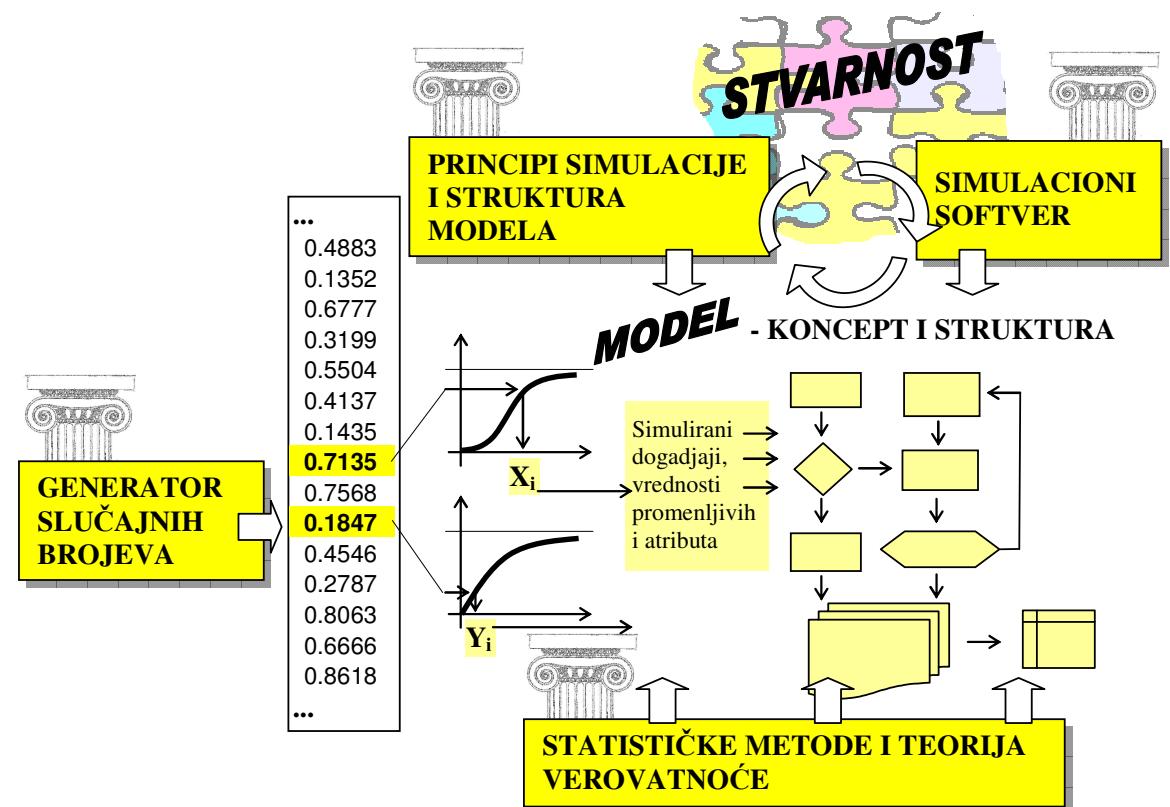
$$\gamma = F(t) \Rightarrow \gamma = 1 - e^{-\lambda t} \Rightarrow t = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - \gamma) \Leftrightarrow t = -\frac{1}{\lambda} \ln \gamma$$

$T_{SR} = 10 \text{ min} \Rightarrow \lambda = 1/T_{SR} = 0.1 \text{ [voz/min]}$

Slučajni broevi	Intervali nailaska	"veštačka istorija" trenutaka nailaska
0.6780	$\Delta t_1 = -10 \ln (0.6780) = 3.886$	$t_1 = 0 + 3.886 = 3.886$
0.9099	$\Delta t_2 = -10 \ln (0.9099) = 0.944$	$t_2 = t_1 + 0.944 = 4.830$
0.3763	$\Delta t_3 = -10 \ln (0.3763) = 9.442$	$t_3 = t_2 + 9.442 = 14.272$
0.9117	$\Delta t_4 = -10 \ln (0.9117) = 0.924$	$t_4 = t_3 + 0.924 = 15.196$
0.3123	$\Delta t_5 = -10 \ln (0.3123) = 11.638$	$t_5 = t_4 + 11.638 = 26.834$

5 10 15 20 25 t [min]

- **Koncept modela kreira se na način da predstavlja sliku stvarnosti uprošćenu do nivoa na kom elementi modela, njihove medjusobne veze i karakteristike dovoljno tačno oponašaju realni sistem i njegovu strukturu** - u odnosu na aspekte koji su predmet simulacije, tj. u odnosu na postavljene ciljeve.
- Simulacija, odnosno simulaciono modeliranje, počiva na četiri osnovna stuba:
 - ✓ principi simulacije i struktura modela
 - ✓ simulacioni softver
 - ✓ statističke metode i teorija verovatnoće
 - ✓ generatori slučajnih brojeva



Principi simulacije i struktura modela

- U literaturi se mogu uočiti odredjene razlike, mada ne i suštinske, kada su u pitanju osnovni elementi simulacionog modela.
- Te razlike najviše su prisutne u korišćenju pojma "entitet",
 - ✓ čije značenje je ponekad krajnje opšte u smislu «*bilo kojeg objekta ili komponente sistema, koji zahteva eksplicitnu predstavu unutar modela*»
 - ✓ ponekad uže i odnosi se samo na klijente
- Osnovne komponente simulacionog modela su:
 - ENTITETI - **entities**
 - ✓ Predstavljaju osnovni element simulacionog modela, obično "aktivni", koji se generiše na početku simulacije i "kreće" kroz sistem, i koji u interakciji sa drugim komponentama modela menja stanja, vrednosti promenljivih i atributa, bilo sopstvenih, bilo komponenti sa kojima stupa u interakciju.
 - ✓ Jedan od osnovnih zadataka pri kreiranju simulacionog modela jeste izbor entiteta.
 - ✓ Entiteti mogu predstavljati klijente (vozila, palete) koji dolaze na opslugu u pretovarni sistem, ali entitet može predstavljati i protok vremena, odnosno "jedinicu vremena" u kom slučaju interakcija može značiti promenu stanja odgovarajućeg elementa, koja odgovara tom vremenu (izdavanje naloga rukovaocima sredstava na početku radnog dana, provera stanja zaliha po artiklima na kraju radnog dana i formiranje narudžbenice za sutrašnji dan,...).

–ATRIBUTI - attributes

- ✓ Opisuju entitete definišući njihove pojedinačne karakteristike dodeljivanjem odgovarajuće vrednosti svakom od atributa.
- ✓ Jedna vrsta entiteta po pravilu sadrzi iste attribute, ali su njihove vrednosti medjusobno različite čineći entitet jedinstvenim.
- ✓ Na taj način atributi su slični lokalnim promenljivima programskih funkcija.
- ✓ *Ako se iskoristi primer vozila kao entiteta, tada atributi mogu biti: vreme dolaska vozila u sistem, broj paleta na vozilu, dužina vozila, registarski broj,...i sl.*

–RESURSI - resources

- ✓ Označavaju komponenta sistema koje entiteti zauzimaju, odnosno zaposedaju, zadržavajući se tu određeni period vremena u cilju realizovanja nekog zahteva.
- ✓ Resursi mogu posedovati određeni kapacitet što podrazumeva mogućnost zaposedanja od strane više entiteta.
- ✓ *Dakle, ako se koristi analogija sa SMO, onda resursi mogu predstavljati kanale opsluge, što se u primeru dolaska entiteta vozilo na front pretovara odnosi na pretovarna mesta u sistemu. Takodje, u sistemima rukovanja materijalom resurs može predstavljati puferni slog određenog kapaciteta, akumulacioni konvejer i sl.*

–PROMENLJIVE - variables

- ✓ U simulacionom modelima koriste se dva osnovna tipa promenljivih: globalne i promenljive koje opisuju stanje sistema. Globalne promenljive dostupne su svim elementima modela, tokom celog vremena simulacije, tako da svojim vrednostima reflektuju ponašanje sistema kao celine.

- ✓ U zavisnosti od tipa i namene koriste se za kumuliranje vrednosti, ili za memorisanje trenutnih vrednosti.
- ✓ Promenu stanja ovih promenljivih vrše po pravilu entiteti. Od promenljivih stanja, univerzalnu primenu ima sistemsko vreme simulacionog časovnika, a različiti softveri mogu koristiti i druge promenljive.
- ✓ Iako se ovde koristi termin "promenljiva", organizacija podataka može biti i u formi jednodimenzionih ili višedimenzionih tabela.
- ✓ *Vezujući se za primer dolaska vozila u pretovarni sistem, globalne promenljive mogu, na primer, biti intervali izmedju nailazaka vozila, ukupan broj vozila u sistemu i sl.*

–AKUMULATORI STATISTIKA - **statistical accumulators**

- ✓ Označavaju pasivne elemente simulacionog modela koji ne učestvuju u simulaciji već samo prikupljaju i "beleže" zahtevane statistike. Te se statistike najčešće odnose na globalne promenljive, ali takodje mogu obuhvatiti i statistike atributa i resursa.
- ✓ Akumulatori statistika mogu biti samo brojači (broj vozila koji je opslužen za manje od 30 minuta), mogu čuvati podatke o izvedenim veličinama (vremensko iskorišćenje pretovarnog mesta), ili pak akumulirati podatke na bazi kojih je moguće utvrditi raspodele verovatnoća (boravka vozila u sistemu).

➤ Pored navedenih komponenti modela, koncept simulacije povezan je sa još nekoliko pojmove koji omogućuju opis principa funkcionisanja i logike modela:

–STANJE SISTEMA – **system state**

- ✓ Predstavlja skup vrednosti promenljivih koje sadrže informacije o stanju sistema u određenom vremenskom trenutku.

- ✓ *U slučaju pretovarnog sistema za opslugu vozila stanje sistema u nekom trenutku može se opisati preko: broja do tog trenutka opsluženih vozila, tekućeg broja vozila u sistemu, broja vozila u redu,... i sl., sve u zavisnosti od koncepta samog modela i postavljenog cilja. U dinamičkim sistemima stanje sistema je funkcija vremena, tj. menja se u vremenu.*

–DOGADJAJ - **event**

- ✓ Pojava koja trenutno menja stanje sistema. U suštini, to su uslovi koji u nekom trenutku dovode do promene stanja sistema.
- ✓ *U primeru pretovarnog sistema dogadjaj se može odnositi na dolazak narednog vozila u sistem, završetak opsluge nekog vozila, izlazak vozila iz reda, i sl.*

–LISTA DOGADJAJA (KALENDAR DOGADJAJA) – **event list (event calendar)**

- ✓ Označava listu dogadjaja uredjenu po neopadajućem vremenu pojave, mereno u jedinicama simulacionog vremena. Lista se takođe često označava i kao “lista budućih dogadjaja”, FEL (future event list).

–AKTIVNOST - **activity**

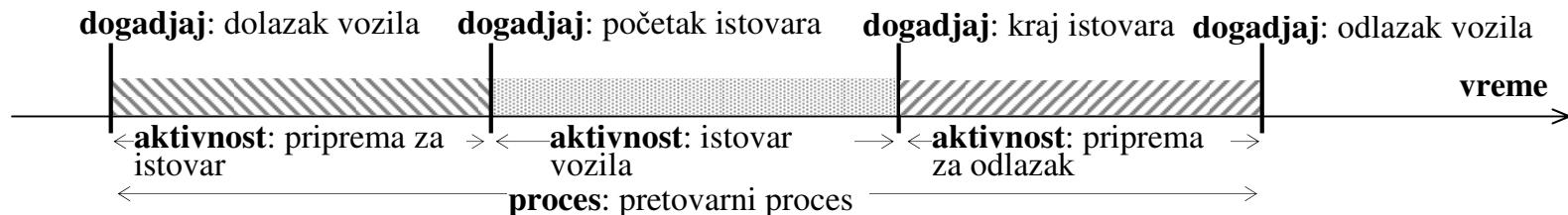
- ✓ Vremenski interval definisane dužine koji se odnosi na entitet, odnosno sprovodi na entitetu. Može se takođe reći da je entitet u interakciji sa aktivnošću, a rezultat te interakcije je kreiranje dogadjaja, nakon realizovanja odredjene aktivnosti.
- ✓ Aktivnosti obično reprezentuju vremena opsluge ili intervale nailaska, pa se, otuda, mogu odnositi na trajanje opsluge vozila (utovara ili istovara), nakon čega se stvaraju uslovi za dogadjaj završetak opsluge vozila.
- ✓ Ukoliko označava interval nailaska tada se, nakon isteka intervala od dolaska prethodnog vozila, stvaraju uslovi za pojavu dogadjaja dolazak vozila u sistem.

–OPERACIJA - **operation**

- ✓ Označava niz aktivnosti, ukoliko je simulacioni model tako koncipiran, pa se u tom slučaju dogadjaj kreira kao rezultat realizacije operacije.

–PROCES - **process**

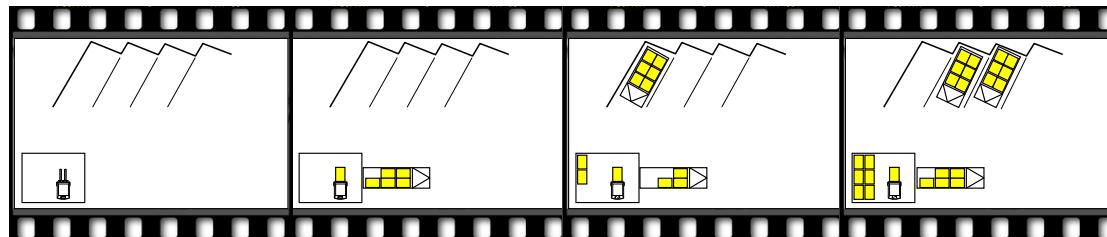
- ✓ Predstavlja hronološki uredjen niz dogadjaja i aktivnosti, koji dovode do promena stanja sistema i u osnovi opisuju "životni vek entiteta" u realnom sistemu. Ukoliko se, naprimjer, posmatra pretovarni front na kome se istovaraju palete iz vozila, tada se proces može predstaviti sledećim dijagramom.



–ODLAGANJE (KAŠNJENJE) - **delay**

- ✓ Vremenski interval nedefinisane dužine, nepoznat do samog završetka, koji zavisi od drugih dogadjaja. Tako na primer, u jednokanalnom SMO, početak opsluge vozila koje je prispelo u sistem u trenutku dok je prethodno vozilo još bilo na istovaru, zavisi od preostalog vremena trajanja istovara prethodnog vozila.

- Simulacija se može razumeti kao niz slika koje prikazuju evoluciju sistema u vremenu,



- Simulacija fronta pretovara na kome se istovaraju palete iz vozila, u najjednostavnijem slučaju, sa jednim pretovarnim mestom, neograničenim brojem mesta u redu (na parkingu), sa poznatim zakonom nailaska vozila i poznatom raspodelom vremena opsluge jedne paleta, podrazumeva, zapravo, simulaciju sledećeg scenarija:

- ENTITET – vozilo
- ATRIBUT – broj paleta na vozilu
- AKTIVNOST 1 – interval nailaska vozila (realizacija slučajne promenljive opisane raspodelom verovatnoća vremena izmedju dva vozila)
- AKTIVNOST 2 – trajanje opsluge vozila (realizacija slučajne promenljive opisane raspodelom verovatnoća vremena opsluge vozila)
- OPERACIJA – niz AKTIVNOSTI 2 (broj aktivnosti koje se realizuju odgovara broju paleta na vozilu)
- RESURS – jedno pretovorno mesto (kapacitet resursa je 1)
- DOGADJAJ 1 – dolazak vozila
- DOGADJAJ 2 – odlazak vozila (završetak opsluge vozila)
- ODLAGANJE – «odlaganje» početka opsluge u smislu čekanja vozila na parkingu do trenutka kad se oslobodi pretovorno mesto
- STANJE SISTEMA – broj vozila na parkingu u trenutku t – $Q(t)$, status pretovarnog mesta u trenutku t – $B(t)$, ($B(t)=0$ - slobodno, $B(t)=1$ - zauzeto)

- **PRIMER.** Neka su, poznati intervali nailaska izmedju prva četiri vozila, pri čemu prvo vozilo dolazi u sistem u trenutku $t=0$, kao i vremena opsluge tih vozila, dati u tabeli 1. U tom slučaju, izgled liste dogadjaja i stanja sistema odgovara prikazu u tabeli 2.
- Na bazi liste dogadjaja moguće je odrediti vrednosti niza performansi sistema, pa se proces simulacije svodi, praktično, na ažuriranje liste dogadjaja i memorisanje odgovarajućih veličina, kako interno vreme simulacionog časovnika odmiče.
- Korišćenjem informacija iz liste dogadjaja moguće je, takođe, utvrditi i željene performanse sistema. Tako je, naprimjer, prosečno vreme boravka vozila u pretovarnom sistemu moguće odrediti kao srednju vrednost boravka vozila 1,2,3 i 4 u sistemu, kako je to pokazano u datom izrazu, a slično je moguće odrediti vremena čekanja vozila, srednji broj vozila na parkingu, iskorišćenje pretovarnog mesta i dr.

$$\frac{(O1 - D1) + (O2 - D2) + (O3 - D3) + (O4 - D4)}{4} = 0.5499 \text{ h}$$

Tab. 1. Karakteristike ulaznog potoka

INTERVAL VOZILO NAILASKA (h)	VREMENA DOLASKA (h)	VREME OPSLUGE (h)
1	-	0 0.3647
2	0.2389	0.2389 0.2149
3	0.6670	0.9059 0.4236
4	0.1297	1.0356 0.7766

Tab. 2. Lista dogadj. i stanja sistema

VREME SIMULACIONOG ČASOVNIKA (h)	DOGADJAJ		BROJ VOZILA NA PARKINGU	STATUS PRETOVARNOG MESTA B(t)
	Q(t)			
0	Dolazak vozila 1 (D1)		0	0
0.2389	Dolazak vozila 2 (D2)		1	1
0.3647	Odlazak vozila 1 (O1)		0	1
0.5796	Odlazak vozila 2 (O2)		0	0
0.9059	Dolazak vozila 3 (D3)		0	1
1.0356	Dolazak vozila 4 (D4)		1	1
1.3295	Odlazak vozila 3 (O3)		0	1
2.1061	Odlazak vozila 4 (O4)		0	0

Principi realizovanja simulacije, odnosno napredovanje u vremenu i evolucija sistema, bazirani su sa jedne strane na konceptu protoka vremena, odnosno **koncepciju simulacionog časovnika**, a sa druge na **primjenjenom mehanizmu simulacije**