

SIMULACIJA MONTAŽE SEDIŠTA U BMW FABRICI U LAJPCIGU

Mr Saša Marković
Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu

Prof. dr Zoran Marinković
Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu

Doc. dr Peđa Milosavljević
Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu

Mr Boban Nikolić
Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu

Ovaj rad prezentira problem linije za montažu sedišta u pogonu BMW Lajpcig. Sklapanje sedišta vremenski mora da prati proces montaže automobila serije 3 u Lajpcigu. Zavisno od želja kupaca, sedišta mogu biti jednostavna ali i vrlo složena, sa mnogo elektromotora, specijalnom oblogom i dodatnim sistemima. U ovom radu analizira se i simulira taj proces u programu AutoMod. Dobijeni rezultati pokazuju vremenske granice do kojih se može ići pri montaži sedišta a da se ne ugrozi proces montaže u fabrici BMW.

Ključne reči: simulacija, sedišta, montažni proces

UVOD

Francuska firma Faurecia isporučuje sedišta za BMW pogon Lajpcig u kome se vrši sklapanje automobila BMW serije 3. Faurecia je sa 60.000 radnika koji rade na 160 lokacija u 28 zemalja i sa 28 razvojnih i istraživačkih centara širom sveta, drugi najveći evropski isporučilac auto delova.

Većina delova i sklopova za sedišta dovozi se iz fabrika iz Francuske, Nemačke i drugih zemalja Evrope. U okviru kruga fabrike Faurecia ima svoje izdvojeno odeljenje u kojima vrši finalno sklapanje sedišta, koja se zatim isporučuju u glavnu montažnu halu radi ugradnje u vozila.

U fabrici automobila na svakih 85 sekundi izlazi jedan BMW automobil serije 3. Proizvođač daje mogućnost kupcu veliki izbor opcija i komponenti. To znači da je svaki automobil personalizovan tj. proizvodi se za tačno određenog kupca i to po konceptu "Just in time". Takođe, prema rečima ljudi iz BMW-a na svaka 4 meseca proizvedu se 2 identična automobila, što pokazuje veliki varijetet u proizvodnji.

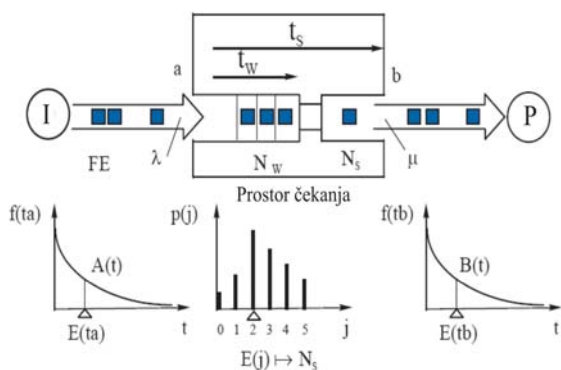
Ovakav koncept rada moraju da poštuju i sve firme kooperanti i snabdevači BMW-a. To znači da moraju da ispoštuju vreme sklapanja sedišta od 85 sekundi, po sistemu "Just in time" i da sedišta šalju u tačno određenom redosledu na montažnu traku. Kako je varijetet automobila veliki, tako i sedišta moraju biti prilagođena željama kupaca. Jednostavna sedišta je relativno lako sklopiti ali za posebna sedišta, sa specijalnom oblogom, sistemima za udobnost i dodatnim elementima koji uključuju mnoge opcije, pa čak i masažu u toku vožnje, treba više vremena, kako zbog komplikovanije montaže većeg broja delova tako i nekad zbog vrlo skupe opreme koja se ugrađuje. Problem je što se i ta specijalna sedišta moraju montirati u okviru 85 sekundi. Ovde će biti analiziran i simuliran problem montažne linije sklapanja sedišta sa različitim parametrima koji mogu da se jave u realnim uslovima.

TEORIJA REDOVA ČEKANJA

U teoriji redova čekanja model $M | M | 1$ važi kao osnovni model na kome je određivanje i značenje najvažnijih navedenih karakterističnih veličina, počev od izvora (I) do ponora (P), najjednostavnije može objasniti (slika 1):

$p(j)$ - verovatnoća da se sistem čekanja nalazi u stanju (j),

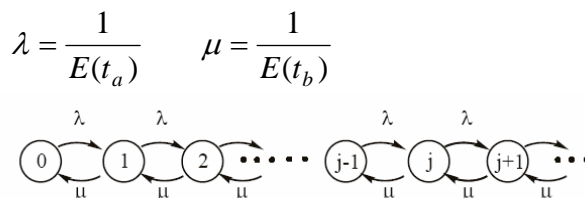
- N_W - srednji broj transportnih jedinica koje su stacionirane na prostoru čekanja,
- t_W - srednje vreme čekanja transportnih jedinica u prostoru čekanja,
- N_S - srednji broj transportnih jedinica u prostoru čekanja (ili u stanicama za opsluživanje),
- t_S - srednje vreme zadržavanja transportnih jedinica u prostoru čekanja (čekanje / opsluživanje).



Slika 1. $M | M | 1$ model i karakteristična raspodela za procese dolaska, čekanja i opsluživanja.

Za opsluživanje procesa dolaska $A(t)$ uzima se da međuvremena dolazaka t_a transportnih jedinica imaju eksponencijalnu raspodelu sa parametrom λ . Shodno tome, proces opsluživanja opisuje se eksponencijalnom raspodelom vremena opsluživanja t_b sa parametrom μ . Slovo M za označavanje $A(t)$ i $B(t)$ koristi se jer proces dolaska odnosno opsluživanja time poseduje osobine MARKOVA. To su osobine koje se ponekad označavaju kao: "sećanje sa greškom". One označavaju da su svi uticaji prošlosti preslikani u sadašnje stanje i da u tom stanju utiču na dalje odvijanje procesa. Za matematičku upotrebu modela $M|M|1$ mora se zato uzeti u obzir samo aktuelno

(sadašnje) stanje sistema čekanja i verovatnoća prelaska u druga moguća stanja. Moguća stanja sistema čekanja i mogući prelasci, mogu se predstaviti grafovima stanja (slika 2):



Slika 2. Graf stanja za $M | M | 1$ model sa koeficijentima prelaska λ i μ

Dužina reda čekanja u prostoru čekanja iznosi:

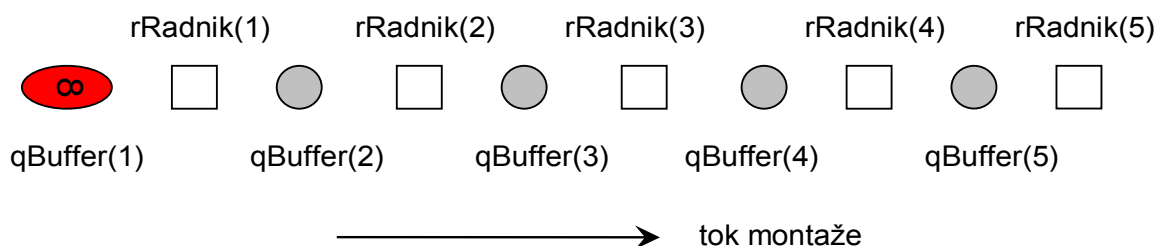
$$N_W = N_S - \rho = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$$

Za specijalan slučaj modela $M | M | 1$ važi:

$$\frac{N_W}{N_S} = \rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

LINIJA ZA SKLAPANJE SEDIŠTA FAURECIA

Sistem linije za sklapanje sedišta za BMW sastoji se od 5 radnih mesta između kojih se nalazi 5 međuskladišta (buffera). Svako radno mesto ima kapacitet 1 na kome se odvija određen sled operacija, i svako međuskladište (buffer) ima kapacitet 1 (na kome se može ostaviti samo po jedno sedište za sledeću operaciju) osim prvog međuskladišta (buffera) koji uslovno ima neograničen kapacitet. To znači da ispred prvog radnika može da se nagomilava veći broj konstrukcija sedišta spremnih za montažu a na radnim mestima za svih 5 radnika može da se smesti samo po jedno sedište kao i na postoljima (bufferima) između radnika. Linija za montažu sedišta predstavljena je na slici 3.



Slika 3. Linija za montažu sedišta Faurecia

Vreme montaže, zahtevano od strane BMW-a, iznosi 85 sekundi. Stvarna raspodela vremena montaže sedišta, određena od strane firme Faurecia a na osnovu iskustvenih podataka, vrlo je slična sa normalnom raspodelom, mada nije potpuno simetrična. Raspodele su prikazane je na slici 4.

Za primenu se primenjuje opšti model teorije redova čekanja $G | G | 1$. Normalna raspodela pogodna je za modeliranje kod procesa kod kojih postoji vrlo mnogo pojedinačnih, u znatnoj meri nezavisnih uticaja koji deluju na sistem. Funkcija gustine normalne raspodele glasi za $-\infty \leq t \leq +\infty$:

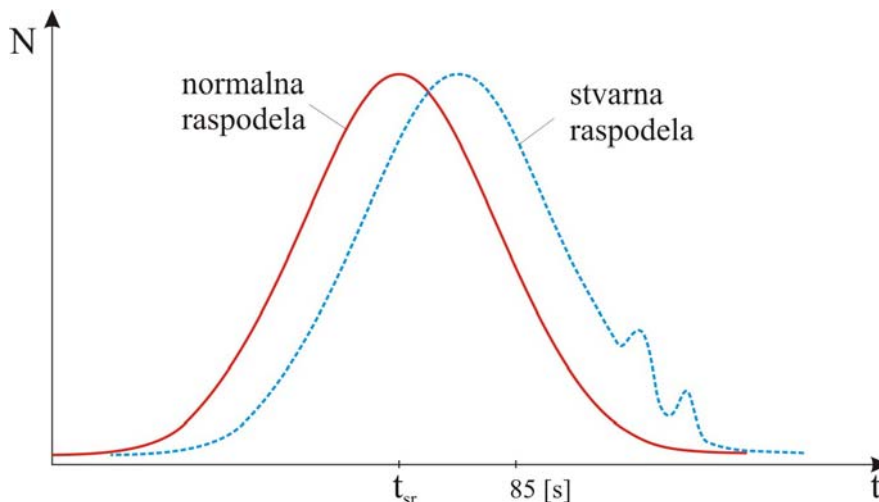
$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2}$$

gde je: μ - srednja vrednost,
 σ - standardno odstupanje.

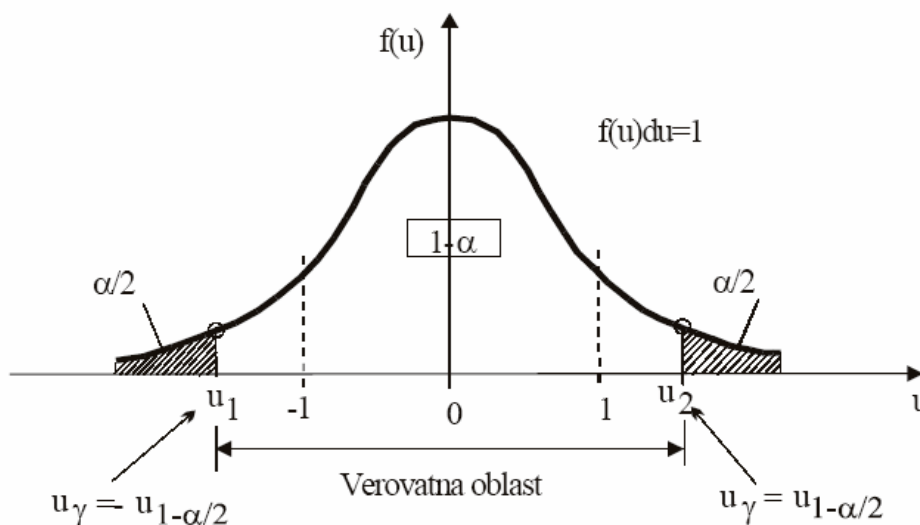
Za normalnu raspodelu $N(\mu, \sigma)$, funkcija procene \bar{x} aritmetičke sredine, poseduje očekivanu vrednost μ a varijancu σ^2/n . Može se pokazati da je iz toga formirana slučajna veličina:

$$U = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

zadovoljava standardnu normalnu raspodelu $N(0, 1)$ sa očekivanom vrednošću 0 i varijancom 1. Uz pomoć verovatnoće funkcije gustine $N(0, 1)$, može se sada dati verovatnoća sa kojom vrednost slučajne veličine U uzima vrednosti između datih granica u_1 i u_2 :



Slika 4. Raspodela vremena sklapanja sedišta za BMW



Slika 5. Predstavljanje statističke sigurnosti i verovatne oblasti u izgladu verovatnoće funkcije gustine za standardnu normalnu raspodelu $N(0,1)$

Kako vreme montaže, za pojedina specijalna sedišta, prevazilazi vreme ciklusa montaže od 85 sekundi, to je bilo potrebno formirati simulacioni model, izvršiti simulaciju montaže za različite parametre i dati analizu rezultata koji će postaviti vremenske granice za montažu sedišta i moguća odstupanja tj. prekoračenja vremena ciklusa za pojedine tipove sedišta.

SIMULACIONI MODEL

Za simulaciju toka montaže sedišta izabran je program AutoMod. Treba definisati procese za definisanje simulacije, pCreate (kojim se definiše kreiranje sedišta), zatim pMontaza (koji opisuje sam proces montaže sedišta). Zatim se u okviru resursa uvode radnici rRadnik sa brojem radnika 5, s tim da svaki radnik ima kapacitet jedan. Zatim se definiše load, u ovom

slučaju sedišta, naziva lSeat. Treba napomenuti da je program AutoMod "load driven" tj. sve komande se odnose na load. Isto tako nazivi u programu se opisuju tako da prvo slovo označava tip (l – load, p – proces, r – resurs, q – queues itd.) a iza sledi ime.

Međuskladišta (buffere) definišemo kao queues, qBuffer, sa brojem buffera pet, ali im se kapaciteti (broj sedišta koja mogu da se smeste) razlikuju. qBuffer(1) ima neograničen kapacitet a ostali imaju kapacitet po jedan. Definiše se i qMontaza (broj komada 5) sa kapacitetom svakog od jedan (označava radna mesta ispred radnika).

Source file je srce programa i on mora da definiše sve veze između procesa, resursa, loada, varijabli i queues. Za ovu simulaciju on glasi:

```

begin model initialization function
  set vrUtilization to 0.98
  set vrDeviation to 0.1
  set vrCycleTime to 85.0 sec
  create 1 load of type lSeat to pCreate

  return(0)
end

begin pCreate arriving procedure
  while (1=1) do begin
    clone 1 load to pMontaza(1)
    wait for vrCycleTime sec
  end
end

begin pMontaza arriving procedure
  move into qBuffer
  move into qMontaza
  use rRadnik for vrCycleTime * vrUtilization
  * (normal 1, vrDeviation) sec

  if(procindex < 5)
    then send to pMontaza(procindex + 1)
    else send to die
  end
end
end
    
```

Varijable definišemo kao vrUtilization (stepen iskorišćenja zadanog vremena ciklusa), vrDeviation (odstupanje normalne raspodele) i vrCycleTime (vreme ciklusa od 85 sekundi). Program AutoMod je "case sensitive".

Ako posmatramo izolovano samo prvo radno mesto [qBuffer(1) i rRadnik(1)] nakon sprovedene simulacije za ovaj jednostavan model u trajanju od 8 sati dobićemo sledeće rezultate koji pokazuju prosečan broj sedišta u qBuffer:

Tabela 1. Prosečan broj sedišta u qBuffer za jednostavan primer simulacije

vrUtilization	vrDeviation	qBuffer Average
0.98	0.1	0.19
0.98	0.2	0.84
0.99	0.1	0.44
0.99	0.2	1.96

Zaključak je da jedino u poslednjem slučaju, kada je stepen iskorišćenja 0.99, što zapravo znači da je srednje vreme montaže sedišta 84.15 sekundi, i kada je odstupanje 0.2 tj. 16.83 sekundi, imamo prekoračenja broja sedišta u qBuffer koji iznosi 1.96 a kapacitet buffera (međuskladišta) iznosi 1.

Ako sada izvršimo potpunu simulaciju, sa svih 5 radnih mesta i isto toliko buffera između a prema gore zadatim parametrima u toku 8 sati dobićemo kompletne rezultate za svih 5 radnih mesta. U tabelama koje slede prikazan je prosečan broj sedišta za qBuffer i qMontaza za 4 različita parametra simulacije:

Tabela 2. Prosečan broj sedišta u qBuffer i qMontaza za celu simulaciju

vrUtilization	vrDeviation	qBuffer(1)	qBuffer(2)	qBuffer(3)	qBuffer(4)	qBuffer(5)
0.98	0.1	0.12	0.18	0.18	0.22	0.26
0.98	0.2	3.29	0.59	0.40	0.48	0.44
0.99	0.1	0.31	0.45	0.41	0.4	0.25
0.99	0.2	4.56	0.55	0.58	0.48	0.35

vrUtiliz.	vrDeviat.	qMontaza(1)	qMontaza(2)	qMontaza(3)	qMontaza(4)	qMontaza(5)
0.98	0.1	0.98	0.97	0.97	0.97	0.96
0.98	0.2	1.00	0.98	0.95	0.96	0.94
0.99	0.1	0.99	0.98	0.98	0.97	0.96
0.99	0.2	1.00	0.97	0.98	0.96	0.94

Započelo je sklapanje 340 sedišta a njih 336 u prvom slučaju izašlo je sa linije, 329 u drugom slučaju, 332 gotovih sedišta je montirano u trećem slučaju dok je 325 njih sišlo sa montažne trake u poslednjem slučaju.

Sada će biti predstavljeno prosečno vreme (u sekundama) zadržavanja sedišta na radnim mestima ispred radnika (qMontaza):

Tabela 3. Prosečno vreme (u sec) zadržavanja sedišta u qMontaza za celu simulaciju

vrUtiliz.	vrDeviat.	qMontaza(1)	qMontaza(2)	qMontaza(3)	qMontaza(4)	qMontaza(5)
83.30	8.33	83.09	82.80	82.85	82.81	82.58
83.30	16.66	86.19	85.40	82.49	84.35	83.00
84.15	8.42	84.40	83.86	84.43	84.20	83.73
84.15	16.83	86.59	85.12	86.07	85.04	82.99

Rezultati pokazuju da jedino u slučaju kada imamo vrUtilization 0.99 (četvrti slučaj) što iznosi 84.15 sec (0.99·85 = 84.15 sec), i odstupanje normalne raspodele vrDeviation 0.2 tj. 16.83 sec (0.2·84.15 = 16.83 sec) dolazi do prekoračenja dozvoljenog vremena sklapanja sedišta i to u veoma malom obimu, što je prikazano masnim brojevima u Tabeli 3.

ZAKLJUČAK

Simulacija linije montaže sedišta Faurecia za BMW Lajpcig u AutoModu dala je vrlo dobre rezultate. Iako se u programu radi sa statističkim raspodelama dok u realnoj montaži može biti određenih iskakanja i odstupanja od normalne raspodele, naročito ako ima veći broj složenijih sedišta koja zahtevaju nešto duže vreme sklapanja, dobijeni podaci jasno pokazuju vremenske granice koje se moraju

ispoštovati da ne bi došlo do prekoračenja vremena ciklusa od 85 sekundi. Optimizacijom procesa montaže sedišta, a saglasno dobijenim rezultatima, Faurecia treba da obezbedi da se dato vreme ciklusa ne prekorači.

LITERATURA

- /1/ Hans-Georg Marquardt, Projekt - Sitzmontagelinie von Faurecia im BMW-Werk Leipzig, TU Dresden, IFBL, Dresden, 2004.
- /2/ Hans-Georg Marquardt, Simulacije logističkih transportnih sistema (prevod), TU Dresden, Mašinski Fakultet Niš, 2004.
- /3/ Dieter Arnold, Kai Furmans, Materialfluss in Logistiksystemen, VDI, Springer Verlag, 6. Aufl, 2009.
- /4/ Goran Petrović, Nikola Petrović, Zoran Marinković, Primena teorije Markova u mrežnim sistemima masovnog opsluživanja, Časopis FACTA UNIVERSITATIS Series Mechanical Engineering, Vol. 6, No 1, 2008, str. 45-56.
- /5/ Jerry Banks, John S. Carson II, Barry L. Nelson: „Discrete-Event System Simulation“, Pearson Prentice Hall, 2005.
- /6/ Averill M. Law, W. David Kelton, Simulation Modeling and Analysis, McGraw Hill, 2000.
- /7/ Horst Tempelmeier, Material-Logistik, Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung in Advanced Planning-Systemen, Springer Verlag, 7. Aufl., 2008.
- /8/ Dejan Curović, Branko Vasić, Vladimir Popović, Nada Curović: Ekspertska

planiranje proizvodnje, Časopis IIPP, broj 20, 2008, str. 49-56.

/9/ AutoMod, User Manual.

/10/ VDI - Richtlinie 3633, Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen.

APPLICATION OF SIMULATION MONTAGE SEATS MODEL IN THE BMW LEIPZIG FOR OPTIMIZATION MONTAGE FLOW

This paper presents the problem of line for montage seats in the BMW plant Leipzig. Assembling seats temporal must follow the montage process of cars Series 3 in Leipzig. Depending on the wishes of customers, the seats can be simple but and very complex, with many electric motors, special coating and additional systems. In this paper that process is modeled, analyzed and simulated in software AutoMod. The obtained results show time limits which can go when montage the seats and not to jeopardize the montage process of vehicles in the BMW factory. Based on these results, performed the planning and optimization montage process of seats, which must be aligned with the plans of montage themselves vehicles in factory.

Keyword: simulation, seat, montage proces

Rad poslat na recenziju: 02.07.2009. godine

Rad spreman za objavu: 07.09.2009. godine