



## SIMULACIJA PROIZVODNIH SISTEMA SA RAZLIČITIM POSTUPCIMA PLANIRANJA I UPRAVLJANJA PROIZVODNOM

### SIMULATION OF MANUFACTURING SYSTEMS WITH DIFFERENT PROCEDURES OF PLANNING AND PRODUCTION MANAGEMENT

Živković Dubravko<sup>1</sup>, Čekerevac Zoran<sup>2</sup>, Svetlana Anđelić<sup>3</sup>

**Rezime:** Kao odgovor na problem planiranja i upravljanja u složenim proizvodnim sistemima nude se različiti postupci i njihovi derivati, odnosno softverski sistemi koji su projektovani na njihovim teorijskim osnovama. Ponudu tih softverskih sistema karakteriše agresivnost softverskih firmi i visoke cene za njihovu nabavku i implementaciju. Na drugoj strani, proces globalizacije sve više zaoštrava konkurenciju među proizvođačima. Da bi se održali na tržištu, proizvođači moraju, između ostalog, u svojim preduzećima implementirati neko od brojnih softverskih poslovnih rešenja koja nude proizvođači softvera ili njihovi agenti. Svaki od njih uverava kupce da nude "najbolje" rešenje, da su u svim domenima "ispred" konkurencije. Problem je u tome što proizvođači, odnosno potencijani kupci, nemaju načina da provere čija je ponuda najprikladnija u konkretnim proizvodnim uslovima. Cilj ovog rada je da predloži korišćenje simulacije diskretnih događaja kao alata za izbor softverskog rešenja za konkretnu proizvodnu situaciju. Pažnja će biti usmerena na izradu koceptualnih modela za proizvodni sistem koji koristi osnovne postupke planiranja i upravljanja proizvodnjom.

**Ključne reči:** proizvodni sistemi, modeliranje, simulacije, upravljanje proizvodnjom

**Abstract:** As a response to problems of planning and management in complex production systems, there are different procedures and their derivatives in form of software systems, designed on their theoretical bases. The offer of these software systems is characteristic of the aggressiveness of the software firms and high prices for their purchase and implementation. On the other hand, the process of globalization increases the competitiveness among manufacturers. In order to sustain on the market, manufacturers have to implement one of the numerable software business solutions in their companies, offered by software manufacturers or their agents. Each one of them assures buyers that their offer is 'the best' solution, and that they are better than their competition. The problem is that neither manufacturers nor buyers have a method to check whose offer is the most suitable in the sole process of production. The goal of this paper is to suggest the use of simulation of events as tools for choice of software solution for concrete situation in production. The stress in this paper will be on creation of conceptual models for production system that uses basic principles of planning and production management.

**Key words:** production system, designing, simulation, production management.

<sup>1</sup> mr Dubravko Živković, lecturer, Visoka poslovna škola strukovnih studija Čačak, E-mail: dubravko@eunet.rs

<sup>2</sup> dr Zoran Čekerevac, v.prof., Fakultet za poslovno industrijski menadžment Univerziteta "Union" Beograd i Visoka poslovna škola strukovnih studija Čačak, E-mail: zoran.cekerevac@hotmail.com

<sup>3</sup> dr Svetlana Anđelić, Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije – ITS, svetlana.andjelic@its.edu.rs

## UVOD

Proizvodnja je jedna od najkompleksnijih poslovnih aktivnosti. Da bi se proizvodne aktivnosti odvijale u skladu sa planovima i ciljevima proizvodnih preduzeća, neophodni su instrumenti koji omogućuju efikasno planiranje i upravljanje. Savremena proizvodna preduzeća za to koriste računarske programe koji su projektovani na teoriskim osnovama jednog od tri osnovna postupka planiranja i upravljanja proizvodnjom (skraćeno PUP), njihovim derivatima ili hibridima. Cena ovih softverskih poslovnih rešenja je, po pravilu, veoma visoka, a nude ih brojni proizvođači softvera i njihovi agenti na veoma agresivan način. U takvoj situaciji, rukovodiocima proizvodnje i proizvodnih firmi je veoma teško da izaberu ono rešenje koje će u njihovoj sredini ostvariti najbolje rezultate. Sa druge strane, proces globalizacije sve više pooštava uslove na tržištu. Konkurencija postaje sve veća, a da bi opstala na tržištu, proizvodna preduzeća moraju, u svom poslovanju, pored ostalog, koristiti i savremene postupke planiranja i upravljanja proizvodnjom, odnosno odgovarajuća softverska rešenja. U tom „začaranom krugu“ donosioci odluka u proizvodnim preduzećima nemaju alate za pomoć pri izboru onog softverskog rešenja koje bi u njihovoj proizvodnoj sredini imalo najbolje rezultate. Takvi alati su im neophodni jer oni nisu u prilici da eksperimentišu sa ponuđenim rešenjima, pa da na osnovu rezultata tih ekspreimenata izaberu najpovoljnije.

Za rešenje problema izbora adekvatnog softverskog rešenja u određenoj proizvodnoj sredini, u ovom radu, se predlaže korišćenje simulacije diskretnih događaja. Alternativni postupak, korišćenje analitičkog modela, nije moguć zbog veoma velikog broja endogenih i egzogenih promenljivih koje utiču na rad proizvodnog sistema, a koje bi, na odgovarajući način, trebalo uključiti u model. (Tayfur, 2012)

## POSTUPCI PLANIRANJA I UPRAVLJANJA PROIZVODNJOM

Savremeni proizvodni sistemi koriste tri osnovna postupka planiranja i upravljanja proizvodnjom. Najstariji od njih je „Manufacturing Resource Planninig“, skraćeno MRP II, koji je razvijen iz „Material Requiremaents Planning, skraćeno MRP. Softverska rešenja koja su bazirana na MRP II i MRP su dominantna u praksi i većina proizvođača softvera svoja rešenja baziraju na ovoj paradigmi.

Dok je Zapad, Amerika i Evropa, bio zaokupljen razvojem i implementacijom MRP II-MRP rešenja, na Istoku, u Japanu, su razmišljali na drugi način. U tome je prednjačila Toyota, japanski gigant u automobilske industriji. Uspeh Toyote na tržištu rezultat je primene Just-in-Time (skraćeno JIT) postupka PUP, koji se svodi na proizvodnju onih proizvoda za kojima postoji realna tražnja tj. tražnja u tačno definisanim količinama, sa određenim kvalitetom i precizno određenim rokovima dovršetka. Ovaj sistem je razvio Taichi Ohno i poznat je i po nazivu Toyota Production System.

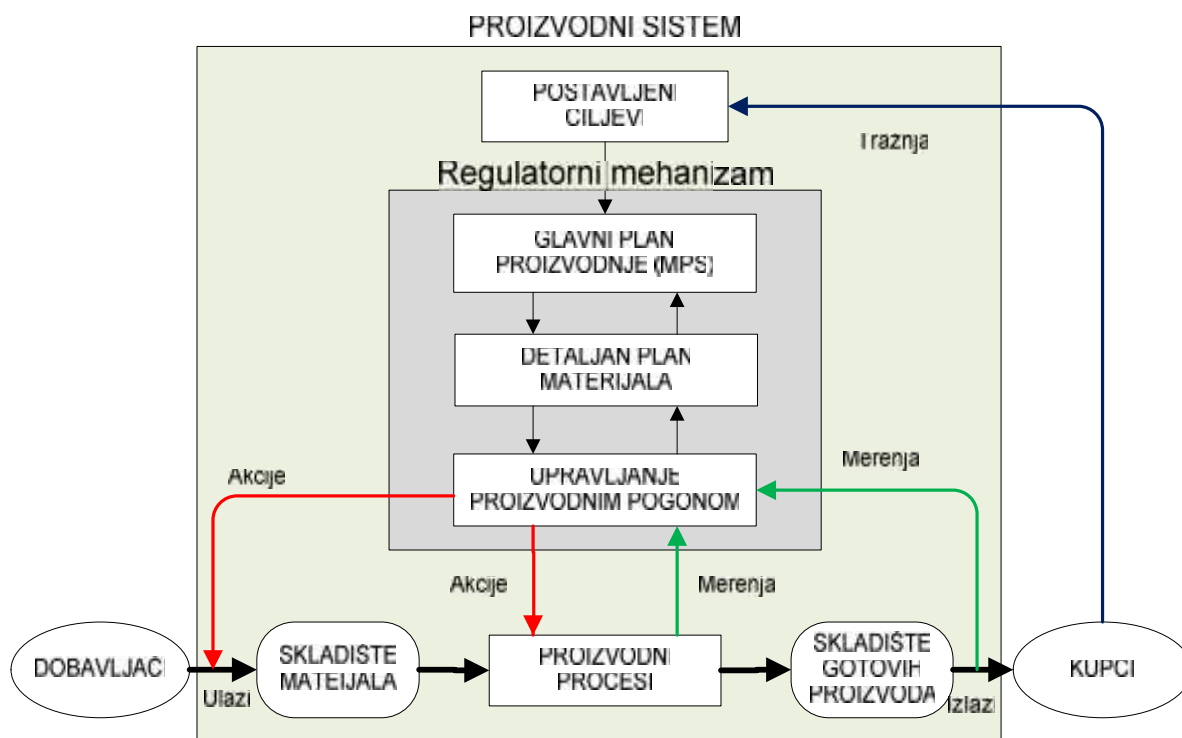
Teorija ograničenja (engl. Theory of Constraints – TOC) je najmlađi postupak PUP. Njen autor je izraelski fizičar Eliyahu Goldratt, koji ju je najpre predstavio u formi romana „The Goal“ (Goldratt, 2004). TOC je slična JIT u smislu da objedinjuje elemente filozofije i praktične primene. TOC filozofija je primenljiva u bilo kom tipu organizacije, dok se njeni praktični elementi primenjuju u organizacijama koje proizvode diskretne proizvode. Za potrebe proizvodnih firmi, u okviru TOC, razvijeno je rešenje za planiranje i raspoređivanje poslova u proizvodnom pogonu koje se naziva Drum-Buffer-Rope (DBR). Ovaj postupak je dobio naziv na osnovu analogije koja je korišćena u knjizi „Goal“ za objašnjenje rada tri ključna elementa: *drum* (bubanj) je raspored po kome radi ograničenje sistema koji generiše ritam rada ostalih resursa, *buffer* (bafer, amortizer) je zaštita resursa koje je ograničenje od stohastičkog ponašanja ostalih delova sistema, a *rope* (kanap) je signalni mehanizam za pravovremeno izuzimanje materijala u sistemu.

Pored ovih osnovnih postupaka PUP, postoje različiti njihovi derivati (npr. CONWIP (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990) koji je izvedeni iz JIT) i hibridi.

### Planiranje i upravljanje proizvodnjom

Funkcija proizvodnog sistema, u osnovi, je da ulaze (materijale, ali i energiju, informacije, kapital, rad) transformiše u izlaze (gotove proizvode) različitim tokovima materijala kroz proizvodni

sistem. Ključne reči u prethodnoj rečenici su „materijal“ i „tok“ materijala kroz proizvodni proces. Za funkcionisanje proizvodnog sistema veoma je važna brzina toka materijala koja mora biti usklađena sa brzinom potrošnje, odnosno tražnje. Jasno je da se ovo usklađivanje ne može postići bez uključivanja nekog regulatornog mehanizma, koji se uobičajeno naziva „postupak planiranja i upravljanja proizvodnjom“. Na slici 1 prikazan je odnos regulatornog mehanizma, odnosno postupka PUP, prema ostalim funkcijama proizvodnog sistema. Čitav sistem radi tako što se vrši merenje indikatora performansi proizvodnog sistema, koji se zatim porede sa postavljenim ciljevima. Ako se utvrde odstupanja od ciljeva, pokreću se procedure saglasne definisanim politikama, sa namerom da se proizvodni sistem dovede u stanje koje je saglasno postavljenim ciljevima.



Slika 1. Uopštena struktura odnosa postupka planiranja i upravljanja proizvodnjom u proizvodnom sistemu, prilagođeno iz (Vollmann, 1997)

U suštini svakog postupka PUP su dva osnovna problema: prioritet i kapacitet. Drugim rečima to su odgovori na pitanja „Šta treba da se uradi?“ i „Ko treba da uradi posao?“. Ta pitanja vode ka terminiranju (engl. Scheduling) proizvodnje, a razumevanje terminiranja je preduslov za uspešnu izgradnju simulacionih modela.

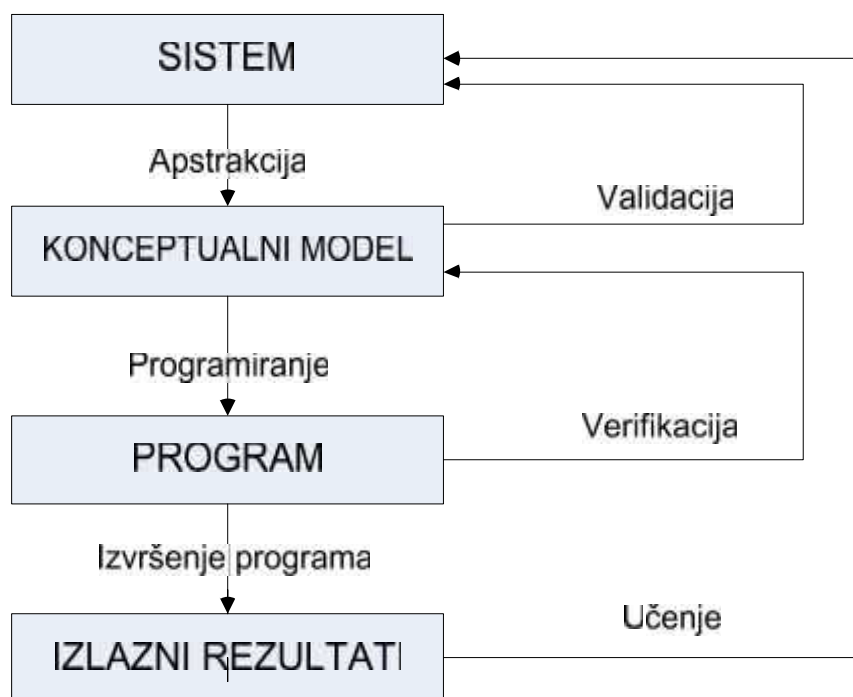
## SIMULACIJA PROIZVODNIH SISTEMA

Savremeni proizvodni sistemi su skupi i veoma složeni u svim domenima. Oni zahtevaju ulaganje kroz sve faze njihovog životnog ciklusa. Da bi ulaganja imala željene efekte, donosioci poslovnih odluka treba da imaju odgovarajuće alate. Donošenje ispravnih poslovnih odluka otežano je nemogućnošću eksperimentisanja sa realnim proizvodnim sistemom da bi se, nakon nekoliko eksperimenata, donela odluka koja će ispuniti očekivanja. U tim uslovima, kao pomoć u donošenju odluka, primenjuje se simulacija. Uopšteno govoreći proizvodnja je je oblast u kojoj se simulacija primenjuje izuzetno mnogo.

Opšti pristup računarskoj simulaciji je predstavljanje dinamičkih karakteristika sistema pomoću modela. Modeli se izgrađuju kroz proces apstrakcije tako što se biraju one osobine realnog sistema koje su karakteristične za proučavanje određenih aspekata rada sistema. Ovo je iterativni proces i ponavlja se sve dok se ne uradi zadovoljavajući model.

U literaturi se mogu pronaći različite podele modela. Jedna od podela je na materijalne i simboličke modele. Primer materijalnog modela je model atoma ili molekula. Simbolički modeli mogu biti matematički (model reda čekanja), konceptualni (model baze podataka) ili računarski (najčešće preveden neki konceptualni model na neki od programskih jezika).

Na slici 2 prikazan je proces izrade konceptualnog modela i njegovo prevođenje na računarski program.



Slika 2. Proces izgradnje simulacionog modela

Za prevođenje konceptualnih modela u računarski program koriste se različiti programski jezici, na primer, tzv. programski jezici opšte namene kakav je npr. Visual Basic, Pascal i sl., ali i specijalizovani programski jezici za potrebe izrade simulacionih programa kao što je GPSS (skraćenica od General Purpose Simulation System).

### Simulacija diskretnih događaja

Proučavanje sistema, u koje spadaju i proizvodni sistemi mogu se ostvariti korišćenjem različitih alata i tehnika, a jedna od njih je i simulacija. Proizvodni sistemi su dinamički sa stohastičkom prirodom. Kod njih se, u pojedinim vremenskim trenucima (diskontinuirano) menja stanje sistema. Za proučavanje sistema sa takvom prirodom, najpogodnija je simulacija diskretnih događaja. Alat za izgradnju modela omogućava prikaz strukture modela tj. entitete u realnom sistemu i njihove međusobne veze, kao i opis akcija entiteta. Logičke veze povezuju različite tipove entiteta, npr. entitet „Materijal“ obrađuje entitet „Mašina“.

Postoje tri različita pristupa implementaciji simulacije diskretnih događaja (Pidd, 2004 idr.) koji se u žargonu nazivaju „pogled na svet“ (engl. World view). Oni se međusobno razlikuju po tome kojem osnovnom konceptu simulacije se daje prioritet da utiče na promenu tzv. simulacionog časovnika koji je zadužen da održava aktuelno vreme u simulacionom modelu. Tako se razlikuju pristupi koji u središte stavljaju: događaje, aktivnosti ili procese.

### Konceptualni simulacioni model

Modelovanje je jedan od najvažnijih ali i najsloženijih i najdugotrajnijih delova simulacione studije. Činjenica da konceptualno modelovanje prethodi mnogim aktivnostima u simulacionom procesu ukazuje na značaj konceptualnog simulacionog modela. Neko može reći da napredak koji je

ostvaren u softveru za simulaciju, posebno uvođenjem Visual Interaktive Modeling System (VIMS), omogućuje modelaru da direktno izrađuje računarski simulacioni model, bez potrebe da radi konceptualni model. Međutim, stvari stoje tako da VIMS omogućava bržu izradu računarskog modela, ali ne smanjuje niti negira značaj izrade konceptualnog modela.

Za izradu konceptualnog modela koriste se različita sredstva: tekstualna, grafička i kombinovana. Neka od poznatijih grafičkih sredstava su dijagrami toka, Petrijeve mreže i UML dijagram aktivnosti, a u ovom radu detaljnije će se razmotriti dijagrami ciklusa aktivnosti (engl. Activity Cycle Diagram – ACD) (Pidd 2004).

### Dijagrami ciklusa aktivnosti

Dijagrami ciklusa aktivnosti su postali sastavni deo mnogih simulacionih studija. Zbog njihove jednostavnosti, ali velikim kapacitetom modelovanja uzeta je kao primer alata za izradu konceptualnih simulacionih modela. U tipičnom ACD, simulacioni model se posmatra kao skup entiteta (objekata) koji su u međusobnoj interakciji. Entiteti se u modelu posmatraju kroz njihov životni ciklus. U tom životnom ciklusu uočavaju se vremenski intervali u kojima su entiteti aktivni i u kojima nisu. Ako su entiteti aktivni, angažovani su, često i sa drugim entitetima istog ili različitog tipa, na aktivnostima koje imaju kraće ili duže trajanje. U tom slučaju se kaže da su entiteti u *aktivnom* stanju. Kada entiteti nisu aktivni (nisu u aktivnom stanju) kaže se da su u *pasivnom* stanju odnosno u stanju čekanja u redu. U svakom redu čekanja može biti proizvoljan broj entiteta istog tipa. Entiteti mogu biti u stvarnim (fizičkim) ili zamišljenim (pomoćnim, fiktivnim, logičkim) redovima čekanja. Stvarni redovi čekanja postoje u proizvodnom sistemu koji se opisuje modelom, dok zamišljene redove čekanja u model vodi istraživač da bi zadovoljio pravila izrade modela ili iz nekih drugih razloga. Dok su u pasivnom stanju, entiteti nisu uključeni u interakciju sa drugim entitetima u sistemu, jer je to stanje u kome entiteti čekaju da se nešto dogodi, da nastupi *dogadjaj* koji će stvoriti uslove za početak aktivnosti. Entiteti se u modelu opisuju skupom *atributa* (osobina, karakteristika). Atributi su, na primer, naziv entiteta, prioritet i sl. U toku simulacije sadržaj pojedinih atributa se može menjati, npr. stepen realizacije narudžbine kupca. Vrednost pojedinih atributa utiče na tok simulacije. Na primer, kada je proizvedena ona količina gotovih proizvoda koju je kupac naručio, narudžbina je realizovana, pa se proizvedena količina upućuje kupcu, a angažovani resursi oslobađaju.

Trajanje pasivnog stanja entiteta se ne može odrediti. Sa druge strane, trajanje aktivnosti je uvek unapred definisano jer se u modelu izračunava pre početka aktivnosti. Izračunavanje se vrši bez obzira da li je trajanje aktivnosti deterministička ili stohastička veličina. Ako je trajanje aktivnosti stohastička veličina, ona se izračunava generisanjem slučajnih varijabli, izvlačenjem vrednosti trajanja aktivnosti saglasno njihovim verovatnoćama iz prethodno definisane raspodele verovatnoća. Sabiranjem poznatog vremena početka aktivnosti sa izračunatim vremenom njenog trajanja, dobija se planirano vreme završetka aktivnosti. Vreme koje entitet provodi u redu čekanja ne može se unapred odrediti jer zavisi od ostvarenja određenih uslova za početak aktivnosti. Uslovi za početak aktivnosti svode se na to da su raspoloživi svi entiteti koji učestvuju u dotičnoj aktivnosti. Prema tome, vreme čekanja u redu je posledica dinamike sistema koje se ostvaruje u toku simulacije.

Dijagrami ciklusa aktivnosti crtaju se korišćenjem pravougaonika koji simbolišu aktivnosti i krugova koji simbolišu redove čekanja. Osim pravougaonika i krugova, neki autori (Čerić, 1993) uvode poseban simbol za red čekanja koji prikazuje okruženje, a koji se predstavlja sa dva kruga koji se preklapaju. Ovi simboli prikazani su na slici 3.



Slika 3. Simboli kojima se u ACD predstavlja aktivnost, red čekanja i okruženje

Da bi se napravio ACD nekog (proizvodnog) sistema, posebnim dijagramima se predstavljaju se životni ciklusi (ciklus aktivnosti) svakog entiteta koji se želi modelovati. Životni ciklus entiteta predstavlja se naizmeničnim smenjivanjem aktivnosti i redova čekanja. Da bi se zadovoljio uslov naizmeničnog smenjivanja aktivnosti i redova čekanja, ponekad se u model uvode zamišljeni (engl.

dummy) redovi čekanja. Po pravilu ciklusi aktivnosti su zatvoreni. U model se posebno uvodi entitet koji omogućava uvođenje eksternih entiteta u sistem, npr. prispeće narudžbine kupca u preduzeće. To je logički tip entiteta i ima samo jednu instancu (pojavljivanje). Na početku simulacije on je u svom redu čekanja u kome čeka izvršavanje aktivnosti „dolazak“ (u sistem) eksternog entiteta. Kada počne izvršavanje aktivnosti „dolazak“, njegov red čekanja se prazni, pa je sada jedina instanca tog entiteta u aktivnom stanju.

### **Softverski alati za izradu simulacionih modela**

Kada je izrađen konceptualni simulacioni model, potrebno ga je prevesti na računarski modela koji će se koristiti za provođenje simulacionih eksperimenata i generisanje rezultata. Ovaj proces se sastoji od dve faze. U prvoj fazi istraživač treba da odluči koji tip softvera želi da koristi za izradu računarskog modela. U drugoj fazi se vrši prevođenje konceptualnog modela u računarski model pisanjem odgovarajućih simulacionih programa.

### **ZAKLJUČAK**

Simulacija diskretnih događaja je jedini alat koji istraživačima stoji na raspolaganju radi proučavanja uticaja različitih postupaka PUP na efikasnost proizvodnih sistema. Pomoću simulacije moguće je precizno odrediti opseg promenljivih koje definišu karakteristike procesa proizvodnje u kome efikasnost jednog postupka PUP prelazi u efikasnost drugog. Ona omogućava rukovodstvu proizvodne firme da izabere najprikladniji postupak PUP imajući u vidu karakteristike proizvodnog procesa u njihovom preduzeću. Kada je izvršen izbor postupka PUP, izvršen je najsloženiji posao u fazi izbora. Posle toga preostaje izbor najpovoljnijeg dobavljača softvera koji je baziran na izabranom postupku PUP koji se vrši po uobičajenim, manje složenim postupcima i procedurama.

### **LITERATURA**

1. Čerić V., (1993), Simulacijsko modelovanje, Školska knjiga, Zagreb
2. Čekerevac Z., Živković D., (2012), Manufacturing discrete events simulation using MS Excel and VBA, Collection of scientific articles, Economic sciences, Issue 8, Chernivtsi Books XXI, Chernivtsi, Ukraine, ISSN 2219-5378
3. Goldrat M. E., Cox J., (2004), The Goal, A process of Ongoing Improvement, Nort River Press
4. Pidd M., (2004), Computer Simulation in Management Science, John Wiley & Sons
5. Spearman, Woodruff, & Hopp, (1990), CONWIP: a pull alternative to kanban, INT. J. PROD. RES., vol.28, No. 5, 879-894, <http://webuser.bus.umich.edu/whopp/reprints/CONWIP%20-%20A%20Pull%20Alternative%20to%20Kanban.pdf>, pristupljeno 23.03.2012
6. Tayfur A., (2012), Simulation modeling and analysis with arena, <http://www.filesonicsearch.com/download/45hoFNb9cA6CldGhxFXyOB/Simulation-Modeling-and-Analysis-with-ARENA-By-Tayfur-Altiok-Benjamin-Melamed.html>, pristupljeno 27.03.2012.