

12. SIMPOZIJUM TERMIČARA SRBIJE I CRNE GORE

12th SYMPOSIUM ON THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING OF SCG

Sokobanja, 18-21.10.2005.

ZBORNİK RADOVA



PLENARNA SESIJA

PLENARY SESSION

ENERGETSKE REPERKUSIJE OGRANIČAVANJA EMISIJA GASOVA SA EFEKTOM STAKLENE BAŠTE

M. Mesarović

**UTICAJ TERMOENERGETSKIH OBJEKATA NA KVALITET VAZDUHA
THE COMBUSTION PLANTS AIR QUALITY IMPACT**

G. H. Kanevče, Lj. P. Kanevče

THE SMALL HYDRO POWER PLANTS – NEW DEAL OF THE SERBIAN ENERGETIC

M. Babić, N. Pavlović, D. Milovanović, N. Jovičić, D. Gordić, M. Despotović, V. Šušterčić

FLUIDIZED BED COMBUSTION AS A RISK-RELATED TECHNOLOGY . A SCOPE OF SOME POTENTIAL PROBLEMS

J. Y. Hristov

UNAPREĐENJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U SRBIJI. PRISTUP, PROGRAMI I PROJEKTI

N. Pavlović

Tehnologije i postrojenja
Technologies and Plants

Prostiranje toplote i materije. Sagorevanje
Heat and Mass Transfer. Burning

Energetska efikasnost
Energy Efficiency

EEE

Novi i obnovljivi izvori energije
New and Renewable Energy Sources

Matematičko modeliranje i numeričke simulacije
Mathematical Modeling and Numerical Simulations

Zaštita životne sredine
Environment Protection

12. SIMPOZIJUM TERMIČARA SRBIJE I CRNE GORE
12th SYMPOSIUM ON THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING OF SCG
Sokobanja, 18-21.10.2005.

ZBORNİK RADOVA

**MATEMATIČKO MODELIRANJE I NUMERIČKE
SIMULACIJE**

MATHEMATICAL MODELING AND NUMERICAL SIMULATIONS



INTEROPERABILNOST SOFTVERA ZA ODRŽIVE ZGRADE
SOFTWARE INTEROPERABILITY FOR SUSTAINABLE BUILDINGS

M. Bojić, M. Todorović

KONCEPCIJA RAČUNARSKI PODRŽANOG NADZORNO-UPRAVLJAČKOG SISTEMA KOMPLEKSA ZA ODVODNJAVANJE POVRŠINSKOG KOPA UGLJA "DRMNO"

S. Vujić, T. Tanasković, Ž. Krstić, L. Cvetković, A. Petrovski, I. Miljanović

RAZVOJ PREDIKTORA ISPORUKE PRIRODNOG GASA U SISTEMU NIS-GAS
DEVELOPMENT OF NATURAL GAS DELIVERY PREDICTOR IN NIS-GAS SYSTEM

A. H. Hodžić, D. D. Kukulj, B. S. Atagić, M. Lj. Dražić

PROGRAMSKA APLIKACIJA ZA ANALIZU INDUSTRIJSKIH KOMPRESORSKIH RASHLADNIH POSTROJENJA
SOFTWARE FOR ANALYSIS OF INDUSTRIAL VAPOR COMPRESSION REFRIGERATION SYSTEM

D. Gvozdenac, M. Kljajić

UTICAJ NESTACIONARNOG TRENJA KOD PRELAZNIH PROCESA U HIDRAULIČKIM CIJEVNIM SISTEMIMA

INFLUENCE OF UNSTEADY FRICTION ON TRANSIENTS IN HYDRAULIC PIPELINE SYSTEMS

U. Karadžić, A. Bergant, I. Vušanović

MATEMATIČKA SIMULACIJA RADA MREŽE NAVODNJAVANJA KIŠENJEM
MATHEMATICAL SIMULATION OF SPRAY IRRIGATION

B. Bogdanović, J. Bogdanović-Jovanović, S. Milanović

MATEMATIČKI MODEL I NUMERIČKA SIMULACIJA PROCESA PROIZVODNJE U FABRICI AUTO GUMA TRAJAL KORPORACIJE U KRUŠEVCU

MATHEMATICAL MODEL AND NUMERICAL SIMULATION OF PRODUCTION PROCESS IN CAR TYRE FACTORY - TRAYAL CORPORATION FROM KRUŠEVAC

S. Živadinović

PRIMENA MONTE-KARLO SIMULACIJE U ANALIZI POUZDANOSTI SISTEMA
APPLICATION OF MONTE-CARLO SIMULATIONS TO SYSTEM RELIABILITY ANALYSIS

Dragan Milčić, Miroslav Mijajlović

THE SYSTEM OF UNIVERSAL EQUATIONS OF UNSTEADY MHD INCOMPRESSIBLE FLUID FLOW WITH VARIABLE ELECTRO CONDUCTIVITY ON HEATED MOVING POROUS PLATE

Z. Boričić, D. Nikodijević, D. Milenković, Ž. Stamenković

PRIMENA MATLAB® OKRUŽENJA ZA TERMIČKI PRORAČUN TOPLOVODNOG KOTLA ZA SAGOREVANJE DRVENIH PELETA

APPLICATION OF MATLAB® ENVIRONMENT FOR THERMAL CALCULATION OF HOT WATER BOILER FOR WOODEN PELLETS COMBUSTIONING

B. Stojanović, M. Protić, B. Blagojević, J. Janevski, M. Ignjatović

NUMERIČKA SIMULACIJA PROCESA U RAZLIČITIM GEOMETRIJAMA KANALA ZA AEROSMEŠU SA PLAZMENIM SISTEMOM POTPALE

NUMERICAL SIMULATION OF PROCESSES IN DIFFERENT GEOMETRIES OF PULVERIZED COAL-AIR MIXTURE DUCTS WITH PLASMA-SYSTEM FOR IGNITION

M. A. Sijerčić, S. V. Belošević, P. Lj. Stefanović

NUMERIČKA SIMULACIJA RASPODELE UGLJENOG PRAHA DUŽ KANALA AEROSMEŠE U ZAVISNOSTI OD POLOŽAJA USMERAVAJUĆIH LOPATICA

DISTRIBUTION OF COAL POWDER ALONG THE MIXTURE CHANNEL INFLUENCED BY VARIOUS SHUTTER ANGLES PRESENTED BY NUMERICAL SIMULATION

N. V. Živković, G. S. Živković, P. Lj. Stefanović

PARAMETARSKA ANALIZA STRUJANJA VAZDUHA KROZ KANAL AEROSMEŠE GORIONIČKOG PAKETA

PARAMETRIC COUPLED-FIELD ANALYSIS OF AIR FLOW THROUGH THE CHANNEL SECTION

Z. J. Marković, P. Lj. Stefanović, D. B. Cvetinović, Z. N. Pavlović, N. V. Živković, M. J. Paprika

LES TURBULENTNOG STRUJANJA U KANALU

LES OF TURBULENT CHANNEL FLOW

Z. Pavlović, S. Komori

UTICAJ GRANIČNIH USLOVA NA MODELIRANJE STRUJNO TERMIČKIH PROCESA U HORIZONTALNOM ISPARIVAČU

INFLUENCE OF BOUNDARY CONDITION ON THERMAL HIDRAULIC MODELING OF KETTLE REBOILER

M. Pezo, Ž. Stevanović, V. Stevanović

NUMERIČKA SIMULACIJA PRENOŠENJA TOPLOTE I PADA PRITISKA U KANALIMA IZMEĐU PARALELNIH PROFILISANIH PLOČA

M. Dobrnjac, G. Ilić, Ž. Stevanović, V. Turanjanin

CFD ANALIZA 3D KOMPLEKSNOG TURBULENTNOG STRUJANJA VAZDUHA U KOMORI ZA TALOŽENJE KAMENE VUNE

CFD BASED ANALYSIS OF 3D COMPLEX TURBULENT AIR FLOW IN CHAMBER FOR DEPOSITION OF STONE WOOL

P. Živković, G. Ilić, Ž. Sevanović, M. Vukić, D. Gavrilović, B. Antić

SIMULACIJA TERMO-STRUJNIH PROCESA NA LOKALNOM NIVOU U DOBOŠASTIM IZMENJIVAČIMA TOPLOTE

SIMULATION OF THERMAL AND FLOW PROCESSES ON LOCAL LEVEL IN SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGERS

M. Vukić, P. Živković, G. Vučković, N. Radojković, G. Ilić, Ž. Stevanović

NUMERIČKA SIMULACIJA PRENOSA TOPLOTE U RENDGEN CEVI

NUMERICAL SIMULATION OF HEAT TRANSFER IN RÖNTGEN-TUBE

M. Vukić, P. Živković, G. Vučković, N. Radojković, G. Ilić, Ž. Stevanović

MATEMATIČKI MODEL PIROLIZE ČVRSTE MATERIJE

PYROLYSIS MATHEMATICAL MODEL OF SOLID BIOMASS

B. Miljković, B. Stepanov, I. Pešenjanski

Plenarna sesija

Plenary Session

Tehnologije i postrojenja

Technologies and Plants

Prostiranje toplote i materije. Sagorevanje

Heat and Mass Transfer. Burning

EEE

Energetska efikasnost

Energy Efficiency

Novi i obnovljivi izvori energije

New and Renewable Energy Sources

Zaštita životne sredine

Environment Protection

PRIMENA MONTE-KARLO SIMULACIJE U ANALIZI POUZDANOSTI SISTEMA

APPLICATION OF MONTE-CARLO SIMULATIONS TO SYSTEM RELIABILITY ANALYSIS

Dr Dragan Milčić* i Miroslav Mijajlović**,**

**Mašinski fakultet Niš, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš*

***Stipendista Ministarstva nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, Nemanjina 22,
11000 Beograd*

Abstract: Monte-Carlo simulation uses statistics to create mathematical model of real process and determine probability of possible problem's solutions. Before execution of Monte-Carlo simulation, statistical distribution of times before failures and times of maintenances for all elements of considered system must be determined. This paper presents appliance of Monte-Carlo simulation on several thermo-energetic systems.

Key words: Monte-Carlo Simulation, Reliability, Thermo-energetic systems

1. UVOD

Ideja *Monte-Karlo* simulacije je da se, umesto opisa slučajne pojave pomoću analitičkih veza, izvede simulacija iste pojave u cilju realizovanja iste (dobijanje realizacije). Dobijanje realizacije se izvodi imitacionim modeliranjem ili simuliranjem, pomoću slučajnih brojeva. Nakon svakog ponavljanja postupka, u rezultatu se dobija po jedna realizacija proučavane slučajne pojave. Simulacija se izvodi određeni broja puta, a skup dobijenih realizacija predstavlja statistički materijal, koji se određenim statističkim metodama obrađuje i interpretira. Stoga se metoda *Monte-Karlo* naziva i metoda statističkih ispitivanja, a kao nedovoljno precizna definicija može se uzeti da je to numerička metoda kojom se modeliranjem pogodnih, slučajnih promenljivih rešavaju zadaci različitog (i stohastičkog i determinističkog) karaktera.

Svaki postavljeni problem, prethodno treba pokušati rešavati analitički jer se na taj način (ako je moguće) može doći do tačnog rešenja, dok će *Monte-Karlo* dati približno rešenje. Ako nije moguće doći do analitičkog rešenja, *Monte-Karlo* predstavlja koristan i veoma praktičan alat za dobijanje traženog rezultata.

Današnjica, kao prednost metodi *Monte-Karlo*, donosi računare velikih brzina obrade podataka, koji mukotrpan posao sračunavanja pojednostavljuju do minimalnih granica. Iako je ova metoda, u velikom broju slučajeva, znatno jednostavnija od primene analitičkih metoda, primena ove metode je ispravna samo u slučaju nemogućnosti modeliranja analitičke zavisnosti između parametara, ili radi provere analitičke metode.

Inače, *Monte-Karlo* simulacija je razvijena 1940. godine, kao deo programa atomske bombe. Naučnici u Los Alamos National Laboratory, u Americi, su je koristili da bi odredili slučajnu difuziju neutrona. Naučnici, koji su razvili ovu simulaciju, nazvali su je *Monte-*

Karlo, prema gradu u Monaku i njegovim mnogobrojnim kazinima. Danas, *Monte-Karlo* simulacija se koristi u širokoj oblasti, uključujući: fiziku, ekonomiju (finansije) i pouzdanost sistema.

2. OSNOVE MONTE-KARLO SIMULACIJE

Monte-Karlo analiza koristi statistiku da matematički modelira realni proces i zatim utvrđuje verovatnoću mogućih rešenja. Pre izvršenja *Monte-Karlo* simulacije, mora se utvrditi statistička raspodela vremena otkaza i vremena održavanja. U većini slučajeva, raspodela vremena do otkaza se najbolje prikazuje Veibulovom raspodelom, dok se lognormalna raspodela uglavnom koristi za prikazivanje raspodele vremena održavanja. Neki izuzeci, vredni pažnje, su elektronska kola, koja teže da imaju eksponencijalnu raspodelu vremena do otkaza (Times To Tailure -*TTF*) i modularni tip održavanja, koji češće ima eksponencijalnu raspodelu (Times To Repair -*TTR*). Jednom, kada se odrede raspodela vremena otkaza i raspodela vremena održavanja, *Monte-Karlo* simulacijom se može izmodelirati proces, zavisno od vremena. Da bi se izvela simulacija, generiše se slučajni broj, između 0 i 1, da predstavi verovatnoću pojave stanja u određenom trenutku. Iz verovatnoće, odgovarajuće vreme događaja se može izračunati, koristeći statističku raspodelu, odabranu za modelirani proces. Na primer, ako slučajno generisani broj 0.7785 povežemo sa stanjem u otkazu, *Monte-Karlo* simulacija će utvrditi verovatnoću stanja u otkazu 77.85%. Ako su stanja u otkazu, u ovoj situaciji, predstavljena Veibulovom raspodelom, sa parametrima $\beta=2$ i $\eta=10000$ sati, onda postoji šansa od 77.85% da će nastupiti stanje u otkazu posle 12275 sati vremena u radu (uz pretpostavku da smo vreme počeli da merimo od 0). Kao cilj, *Monte-Karlo* simulacija radi unazad od određene verovatnoće do određivanja vremena događaja.

Uključujući sličan model za stanje u radu, ciklus “stanje u radu”-“stanje u otkazu” se može simulirati za svaki vremenski period. Sledeća verovatnoća generisana slučajnim brojevima određiće vreme održavanja (popravke) za opremu u otkazu. Kalendar se zatim ažurira, i simulacija se nastavlja proračunavanjem sledećeg stanja u radu od trećeg slučajnog broja, napred objašnjenom metodom. Stoga, ako je simulirano vreme popravke bilo 12 sati i vreme narednog otkaza je 8900 sati, kalendar simulacije bi bio na $t=12275+12+8900=21187$ sati. Simulacija će se nastaviti ako je specificirano radno vreme veće nego trenutno kalendarsko vreme od 21187 sati. U drugom slučaju simulacija će biti zaustavljena.

Kombinujući, individualne jedinice za formiranje većih sistema, mogu se simulirati čitave fabrike. Kada su i ekonomska razmatranja uzeta u obzir, kao što je gubitak i cena popravke, *Monte-Karlo* simulacija može biti moćno oruđe za optimizaciju održavanja. Simulacije manjih sistema se mogu izvršiti korišćenjem bilo kog softvera, kao što je Microsoft Excel, sa obavezno ugrađenim statističkim funkcijama raspodele. Veći sistemi, vrlo brzo mogu postati suviše komplikovani za manipulisanje, bez pomoći softvera za simulaciju. Sledeći primeri ilustruju kako su simulacije *Monte-Karlo* primenjene na analizu pouzdanosti sistema.

3. PRIMERI PRIMENE MONTE-KARLO SIMULACIJE KOD TERMOENERGETSKIH SISTEMA

Primer 1:

Koristeći *Monte-Karlo* metodu, odrediti predviđenu raspoloživost parne turbine u periodu narednih 10 godina. Koliko otkaza treba očekivati u tom vremenskom periodu? Raspodele stanja u radu i stanja u otkazu data su izrazima

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{TTF}{1600 \text{ dana}}\right)^{3.2}} \quad (1)$$

$$P_r(t) = \text{Lognormal}\{\mu = \ln(6.2), \sigma = \ln(1.6)\} \quad (2)$$

Kako lognormalna raspodela nema rešenje za kumulativnu funkciju raspodele, napravljene su standardizovane tabele, od numerički dobijenih rešenja. Standardizovane tabele su korišćene prvi put, za izračunavanje parametra z , kao što sledi:

$$z = \frac{TTR - \ln(6.2)}{\ln(1.6)} \quad (3)$$

Rešenje:

1. Prvo odrediti nasumične brojeve za svaki proces (stanje u radu i stanje u otkazu). Najjednostavniji način za izvršenje ovoga, je korišćenje funkcije za slučajno biranje brojeva, ugrađene u matematički softver koji se koristi. Sledeći slučajno odabrani brojevi biće korišćeni u ovom primeru:

Prvi niz #1=0.647552, 0.420674, 0.435368

Drugi niz #2=0.034957, 0.773936, 0.719203

2. Izračunati prvo vreme otkaza. Da bi to uradili, jednačina 1 se mora rešiti za vreme stanja u otkazu:

$$TTF = (-\ln(1 - 0.647553))^{\frac{1}{3.2}} \cdot 1600 \text{ dana} = 1621.1 \text{ dana}$$

3. Izračunati ekvivalentno vreme u popravci. Kao u prethodnom koraku, jednačina 3 se mora rešiti za stanje u otkazu. Koristeći standardizovane tablice za normalnu raspodelu (ili program sa tabelama, preprogramiranim), za verovatnoću 0.034957 sledi $z = -1.085$.

$$TTR = \exp[-1.085 \cdot \ln(1.6) + \ln(6.2)] = 2.6 \text{ dana}$$

4. Zatim se ažurira kalendar da prikaže ukupno proteklo vreme.

$$\text{Now} = 1621.1 + 2.6 = 1623.7 \text{ dana}$$

5. Ponavlja se korak 2 sa drugim brojem iz prvog niza

$$TTF = (-\ln(1 - 0.420674))^{\frac{1}{3.2}} \cdot 1600 \text{ dana} = 1324.2 \text{ dana}$$

6. Ponavlja se korak 2 sa drugim slučajnim brojem iz drugog niza:

$$TTR = \exp[0.751783 \cdot \ln(1.6) + \ln(6.2)] = 8.8 \text{ dana}$$

7. Ažurira se kalendar

$$\text{Now} = 1623.7 + 1324.2 + 8.8 = 2956.7 \text{ dana}$$

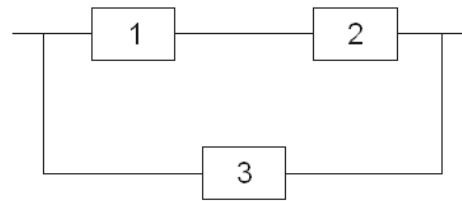
8. Ovaj proces se ponavlja sve do dostizanja ili preskakanja kriterijuma od 10 godina (3650 dana). Sledeće proračunato stanje u otkazu je 1343 dan, koji će izneti kalendar van granice od 10 godina. Stoga, očekivani broj otkaza tokom predviđenih 10 godina je dva. Očekivana raspoloživost je

$$A = \frac{TTF}{TTF + TTR} = \frac{(1621.1 + 1324.2)}{(1621.1 + 1324.2) + (8.8 + 2.6)} = 0.99614$$

Primer 2:

Ako se razmatra proizvoljan prost trokomponentni sistem dat na slici 1. Otkaz jednog od dve komponente koji obrazuju rednu vezu podsistema izaziva otkaz celog podsistema. Prva iteracija *Monte-Karlo* simulacije je testiranje stanja prve komponente podsistema pri generisanju slučajnog broja u opsegu [0,1]. Ako prva komponenta nije otkazala, onda se testira stanje druge komponente. Ako je redna veza podsistema otkazala, onda se testira

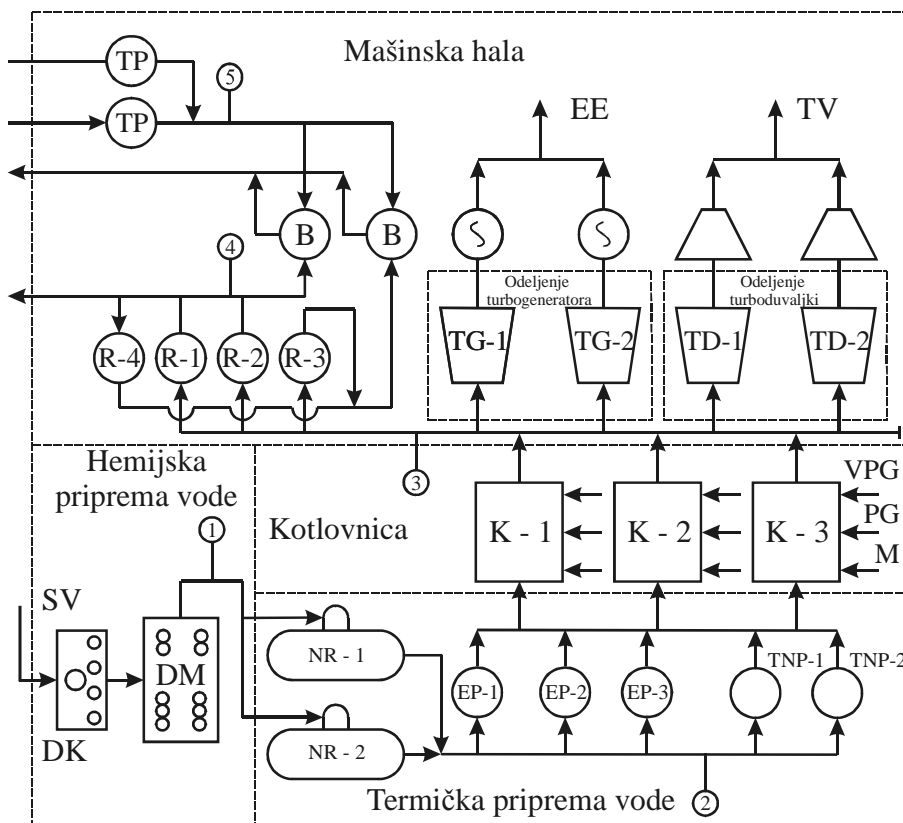
paralelna komponenta 3 datom podsistemu. Ako i komponenta 3 otkáže, to ujedno znači i otkaz sistema. Nakon određenog broja izvršenih simulacija, pouzdanost sistema se računa kao količnik broja simulacija pri kojima nije došlo do otkaza sistema prema ukupnom broju simulacija.



Slika 1.

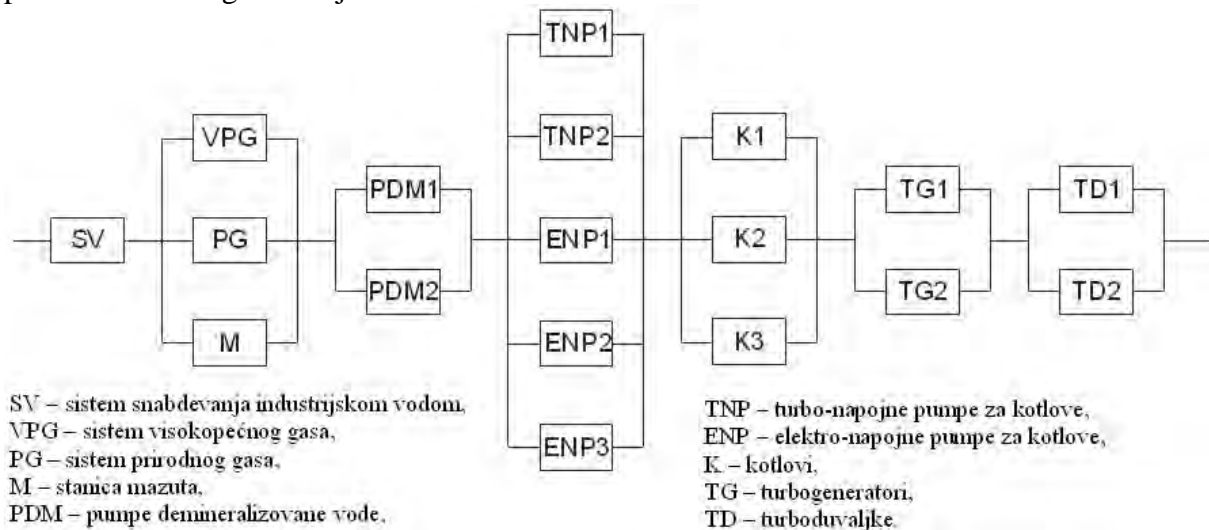
Kako *Monte-Karlo* simulaciju ima smisla primeniti samo na složenim sistemima, to će u daljem toku biti razmatrana energana Sartida u Smederevu, koja ima zadatak da snabdeva potrošače energijom i fluidima preko sledećih tehničkih sistema koji su međusobno povezani: termoenergetski sistem (energana), hidroenergetski sistem (pumpne stanice), gasnoenergetski sistem (gasne i mazutna stanica), elektroenergetski sistem (trafostanice i razvodna postrojenja). Tehnološka šema energane data je na slici 2 [4].

Energana (paro-vazдушna i elektrostanica) ima zadatak da, pre svega, snabdeva visoku peć sa vazduhom za tehnološki proces koji se u njoj odvija, da služi kao izvor električne energije za potrebe metalurškog kombinata, a naročito za kritične potrošače I kategorije na napon 6 kV, da služi za pripremu i snabdevanje metalurškog kombinata toplifikacionom vodom, čiji su parametri 130/70 °C, i da služi za pripremu i snabdevanje pojedinih pogona dekarbonizovanom vodom. Energana je jedinstvena tehnološko-građevinska celina koja se sastoji od: hemijske pripreme vode, termičke pripreme vode, kotlovnice i mašinske hale (odeljenja turbogeneratorske i turboduvaljske). Kao osnovno gorivo za kotlovnicu se koristi visokopećni gas, a zatim prirodni gas i mazut.



Slika 2.

Treba istaći, da su otkazi i poremećaji podsistema energane međusobno zavisni događaji, pa je teško odrediti vreme do otkaza i pouzdanost energane. Blok dijagram pouzdanosti energane dat je na slici 3.



Slika 3.

Ukoliko postoje podaci o pouzdanosti pojedinih podsistema (prikazanih na Slici 4.), pouzdanost celog sistema (energane) je relativno jednostavno odrediti. Sistem energane se dekomponuje na 7 podsistema, koji redno vezani, daju šemu identičnu energani.

$$R_1 = R_{SV};$$

$$R_2 = 1 - (1 - R_{PVG})(1 - R_{PG})(1 - R_M);$$

$$R_3 = 1 - (1 - R_{PDM1})(1 - R_{PDM2});$$

$$R_4 = 1 - (1 - R_{TNP1})(1 - R_{TNP2})(1 - R_{ENP1})(1 - R_{ENP2})(1 - R_{ENP3});$$

$$R_5 = 1 - (1 - R_{K1})(1 - R_{K2})(1 - R_{K3});$$

$$R_6 = 1 - (1 - R_{TG1})(1 - R_{TG2});$$

$$R_7 = 1 - (1 - R_{TD1})(1 - R_{TD2}).$$

Ukupna pouzdanost energane, računa se prema izrazu $R = \prod_{i=1}^7 R_i$, i za zadate podatke, daje vrednost

$$R = 0.56208062 \approx 0.562.$$

Izračunavanje srednjeg vremena do otkaza TTF je u ovom slučaju znatno komplikovanije nego izračunavanje pouzdanosti. Srednje vreme do otkaza (u satima) se računa kao:

$$TTF = \int_0^{\infty} R(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} \left(\prod_{i=1}^7 R_i(t) \right) \cdot dt, \text{ gde je: } R_i(t) = R_{SV}(t) = e^{-\lambda_{SV} \cdot t};$$

$$R_2(t) = 1 - (1 - R_{PVG}(t))(1 - R_{PG}(t))(1 - R_M(t)), R_{PVG}(t) = e^{-\lambda_{PVG} \cdot t}; \dots$$

gde su: $\lambda_{SV}, \lambda_{PVG}, \lambda_{PG}, \dots$ - intenziteti otkaza odgovarajućeg podsistema.

Ukoliko bi se svi članovi podsistema uveli u osnovni izraz za TTF , uvidelo bi se da je gotovo nemoguće sračunati ga, zbog velikog broja članova pod znakom integracije.

Kod ovakvih problema se, bez ikakvih ustručavanja, može iskoristiti metoda *Monte-Karlo*, i rešenje, koje se dobija simulacijom se može prihvatiti kao dovoljno tačno za dalja razmatranja ispravnosti rada sistema.

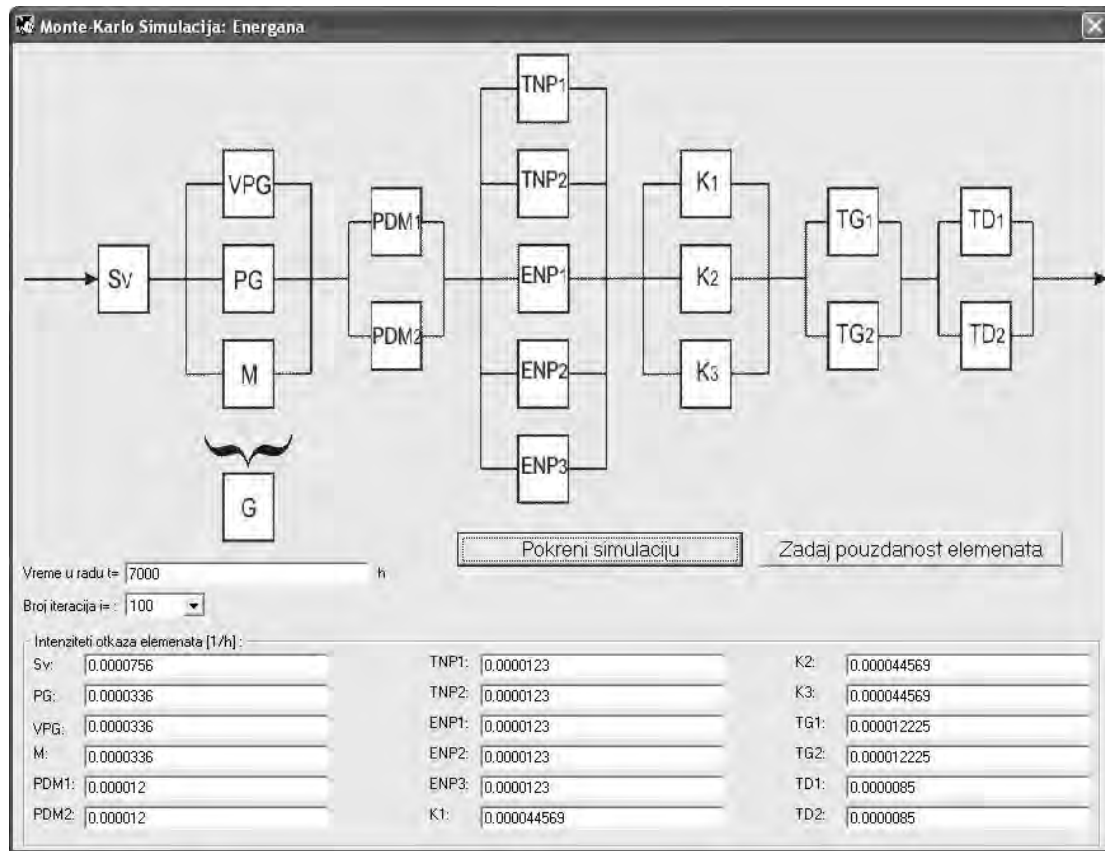
Na slikama 4, 5 i 6, prikazana je aplikacija kojom se vrši *Monte-Karlo* simulacija, od trenutka unosa polaznih podataka (pouzdanosti podsistema ili odgovarajućih intenziteta

Pouzdanost elemenata sistema			
R SV=	0.685	R ENP2=	0.94
R VPg=	0.845	R ENP3=	0.94
R PG=	0.845	R K1=	0.8
R M=	0.845	R K2=	0.8
R PDM1=	0.942	R K3=	0.8
R PDM2=	0.942	R TG1=	0.941
R TNP1=	0.94	R TG2=	0.941
R TNP2=	0.94	R TD1=	0.958
R ENP1=	0.94	R TD2=	0.958

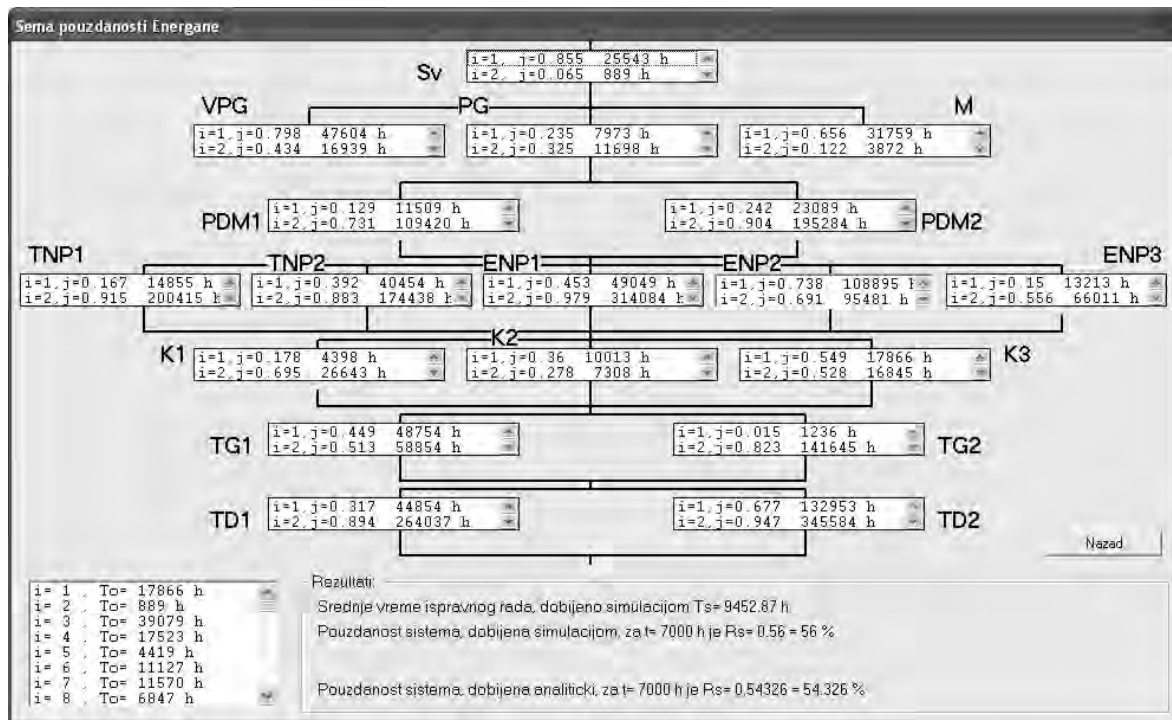
Potvrdi unos

Slika 4.

otkaza), preko željenog vremena u radu i broja ponavljanja simulacije do konačnih rezultata svakog ponavljanja i konačnog rezultata.



Slika 5.



Slika 6.

Za unešene vrednosti pouzdanosti (Slika 4.), srednje vreme u radu $T=7000$ sati i 100 ponavljanja, *Monte-Karlo* metoda, daje sledeće rezultate:

-Pouzdanost sistema..... $R= 0.56$

-Srednje vreme do otkaza..... $TTF= 9452.87$ sati.

Rezultati *Monte-Karlo* simulacije su prikazani na slici 6.

Korišćenjem programa *Matlab 7.01.*, za iste podatke, dobijaju se sledeći rezultati:

-Pouzdanost sistema..... $R= 0.56208$

-Srednje vreme do otkaza..... $TTF= 10301.41527$ sati.

Relativna greška *Monte-Karlo* simulacije u odnosu na analitičko rešenje je:

$$\varepsilon_R = \frac{|0.56 - 0.56208|}{0.56208} = 0.0037 = 0.37\%$$

Relativna greška srednjeg vremena do otkaza:

$$\varepsilon_{TTF} = \frac{|9452.87 - 10301.41527|}{10301.41527} = 0.08237 = 8.237\%$$

4. ZAKLJUČAK

Primena *Monte-Karlo* simulacije u predviđanju pouzdanosti tehničkih sistema ima smisla kod složenih sistema sa velikim brojem podsistema i sastavnih elemenata. Odnosno, ima smisla koristiti ovu metodu u slučajevima kada je analitičko rešavanje pouzdanosti sistema komplikovano ili čak neizvodljivo. Jedan takav sistem je termoenergetski sistem – energana, koji je razmatran u ovom radu.

Naravno, za primenu *Monte-Karlo* simulacije u prognoziranju pouzdanosti sistema, neophodno je poznavati raspodele vremena otkaza odnosno raspodele vremena popravke svih elemenata uzetih u obzir blok dijagramom pouzdanosti.

REFERENCE

- [1] Vukadinović, S., Popović, J.: *Metoda Monte-Karlo*, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1996.
- [2] Corver, B.: *The Monte-Carlo Method and Software Reliability Theory*, TR-94/1, 1994.
- [3] Milčić, D.: *Pouzdanost mašinskih sistema*, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet Niš, 2005.
- [4] Tomić, M., Adamović, Ž.: *Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema*, Tehnička knjiga, Beograd, 1986.