

ANALIZA POUZDANOSTI MAŠINSKIH DELOVA I SISTEMA U OKRUŽENJU MICROSOFT EXCEL

RELIABILITY ANALYSIS OF MACHINE PARTS AND SYSTEMS IN ENVIRONMENT OF MICROSOFT EXCEL

Dragan Milčić, Miroslav Mijajlović, Dragoljub Živković, *Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija*

E-mail: milcic@masfak.ni.ac.rs, mijajlom@masfak.ni.ac.rs, dzivkovic@masfak.ni.ac.rs

Sadržaj – Karakteristike pouzdanosti mašinskih sistema se određuju na bazi empirijskih podataka o vremenu ispravnog rada do pojave otkaza. Ovi podaci se dobijaju praćenjem elemenata u realnoj eksploataciji ili sprovođenjem ispitivanja. Analizom pouzdanosti mašinskih delova i sistema treba ustanoviti koji od poznatih teorijskih zakona raspodele najviše odgovara empirijskim podacima, tj. kojim zakonom raspodele se najbolje mogu interpretirati rezultati koje posedujemo. Na Mašinskom fakultetu u Nišu je razvijen softver za analizu pouzdanosti koji je prikazan u ovom radu. Kao platforma za razvoj softvera usvojen je Microsoft Excel.

Abstract - Reliability characteristics of mechanical systems are determined on the basis of empirical data about time – to – failure. This data is collected during monitoring of systems during exploitation or during experiment. One of the tasks for reliability analysis is to determine what theoretical distribution might be suitable for the best interpretation of the collected empirical data. University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering has developed reliability analysis software capable to analyse empirical data and suggest suitable distribution for the input empirical data. As a platform for this software are used Microsoft Excel and Visual Basic for Applications.

1. UVOD

Zamisao o elektronskoj tabeli za skladištenje informacija i izvršavanje proračuna potiče još od Mattesicha (1961), iz vremena kada su postojali samo "veliki" računari (mainframes), ali programi za tabelarne proračune kakve mi poznajemo, proizvod su doba mikroročunara. Prvi program za tabelarne proračune, VisiCalc, imao je ograničenu funkcionalnost, ali je predstavio svetu novi koncept interaktivne elektronske tabele za proračune, odnosno, program koji memoriše podatke i vrši proračune u pravougaonom području ćelija i dozvoljava korisniku da interaktivno manipuliše vrednostima i formulama. Programi za tabelarne proračune koji su se pojavili kasnije, kao što su Lotus 1-2-3TM, Microsoft ExcelTM i Quattro ProTM, proširili su i razvili u velikoj meri svoje karakteristike, učinivši na taj način program za tabelarne proračune efikasnim alatom za modelovanje, izradu protoipova, analizu i prezentaciju.

Programi za tabelarne proračune su danas na raspolaganju za sve glavne operativne sisteme PC računara: Windows, Unix/Linux i Mac OS. Kako je Mac OS X izveden iz BSD Unixa, svi programi za tabelarne proračune za Unix (kao i sav ostali softver) će na kraju biti na raspolaganju za tu platformu. Danas je preovlađujući program za tabelarne proračune Microsoft ExcelTM, koji je deo skupa programa Microsoft OfficeTM. Većina drugih programa za tabelarne proračune radi na sličan način i ima približno iste karakteristike kao i Microsoft ExcelTM.

Programi za tabelarne proračune koriste mnogi ljudi. Kako se ideja o programima za tabelarne proračune začela u kontekstu računovodstva, prirodno je da se oni široko koriste

u poslovnom svetu. Međutim, većina poslovnih korisnika upotrebljava veoma mali podskup raspoloživih svojstava ovih programa. Inženjeri su relativno sporo prihvatili programe za tabelarne proračune kao platformu za proračunavanje i analizu, možda zato što su bili obučeni da koriste druge softverske alate, kao što je MATLABTM, koji su bili napisani posebno za matematičko modelovanje. Ti alati su veoma moćni i svakako mogu da se upotrebe za razvoj širokog opsega simulacionih modela, ali je program za tabelarne proračune u mnogo slučajeva jednostavniji i intuitivniji za upotrebu.

Većini programa za tabelarne proračune raspoložive sledećim karakteristikama, a što čini proces bržim i pouzdanijim:

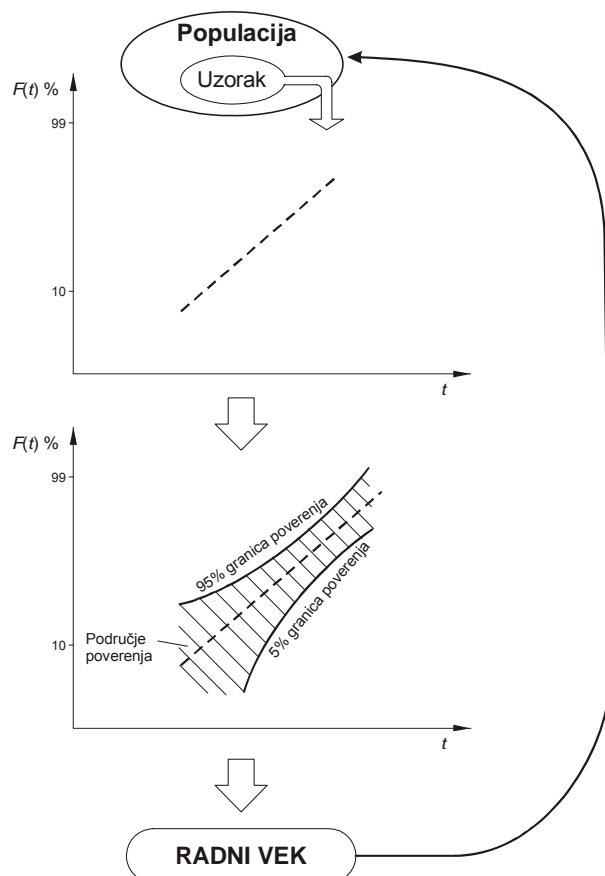
1. Veliki broj funkcija za izvršavanje matematičkih, statističkih, proračuna u vezi sa bazama podataka, datumom/vremenom, finansijskih i drugih proračuna.
2. Predstavljanje baza podataka i pristup bazama podataka.
3. Crtanje dijagrama i grafikona.
4. Prikaz i dokumentovanje svojstava kao što su fontovi, boje i geometrijski oblici, radi poboljšavanja prezentacije.
5. Automatizacija putem jezika za skriptovanje, kao što je VBA (u slučaju programa Microsoft ExcelTM).

2. ANALIZA POUZDANOSTI MAŠINSKIH DELOVA I SISTEMA

Programi za tabelarne proračune su veoma zgodni za analizu pouzdanosti mašinskih delova i sistema. U čemu se sastoji analiza pouzdanosti mašinskih sistema?

Pri istraživanju pouzdanosti elemenata i sistema, osnovu za analizu pouzdanosti čine empirijski podaci praćenja u eksploataciji različitih tehničkih sistema. Kao jedan od krajnjih ciljeva analize pouzdanosti je utvrđivanje teorijskog zakona raspodele slučajne promenljive, vremena U RADU tehničkog sistema. Preciznije rečeno, najviši cilj je da se ustanovi koji od poznatih teorijskih zakona raspodele najviše odgovara empirijskim podacima, tj. kojim zakonom raspodele se najbolje mogu interpretirati rezultati koje posedujemo. Parametri raspodele se određuju različitim grafičkim i analitičkim metodama. Osnovu za određivanje raspodele čine empirijski podaci o otkazima posmatranog elementa ili sistema. Empirijski podaci, kao podskup elemenata neke populacije na kome se određuju karakteristike pouzdanosti, moraju biti reprezentativni za ceo skup (Slika 1).

Obradom empirijskih podataka dobija se iskaz o otkazu uzorka. Ali od interesa je iskaz o raspodeli otkaza cele populacije. Ako je u pitanju uzorak malog broja ispitivanih delova, rezultati mogu jako da odstupaju od stvarnog ponašanja populacije. Zato se definiše područje poverenja, na slici 1 predstavljeno šrafiranom površinom, u kome se sa određenom verovatnoćom nalazi stvarna raspodela, odnosno teorijska raspodela koja aproksimira empirijske podatke. Područje poverenja se određuje pomoću rangova značajnosti.



Slika 1. Postupak određivanja radnog veka nekog proizvoda na osnovu analize pouzdanosti

U analizi pouzdanosti tehničkih sistema, kao jedan od krajnjih ciljeva je utvrđivanje teorijskog zakona raspodele slučajne promenljive, vremena u radu posmatranog elementa ili sistema. Preciznije rečeno, treba ustanoviti koji od

poznatih teorijskih zakona raspodele najviše odgovara eksperimentalnim - empirijskim podacima, tj. kojim zakonom raspodele se najbolje mogu interpretirati rezultati koje posedujemo. Ovo je vrlo osetljiva faza proračuna, jer njeni rezultati utiču na sve dalje zaključke i odluke vezane za njihovu praktičnu primenu.

Za određivanje teorijskog zakona raspodele koriste se grafičke i analitičke metode. Grafičke metode su veoma jednostavne i često se koriste u inženjerskoj praksi. Karakteristike Microsoft Excel dozvoljavaju jednostavnu primenu obe metode. Grafički način određivanja zakona raspodele, odnosno njihovih parametara, vrši se pomoću verovatnosnih papira, koji se na jednostavan način mogu generisati u programu Microsoft Excel. U verovatnosni papir se unose tačke sa koordinatama $[t_i, F(t_i)]$. Broj tačaka jednak je broju posmatranih elemenata n ili broju intervala z , ako su podaci intervalno dati. Ako se ucrtane tačke mogu dobro aproksimirati pravom linijom, pretpostavljeni model zakona raspodele je dobar. U protivnom se odbacuje hipoteza o zakonu raspodele. Korišćenjem grafičkih metoda može se oceniti valjanost pretpostavljenog modela zakona raspodele i proceniti parametri raspodele.

Mogućnosti programa Microsoft Excel u pravcu dobijanja različitih tipova dijagrama, koji su jako bitni u analizi pouzdanosti su izuzetno velike. Za anлізу pouzdanosti konstruišu se histogrami učestanosti pojave otkaza f i kumulativne učestanosti pojave otkaza F , dijagrami empirijskih i teorijskih funkcija učestanosti $f(t)$ i kumulativne učestanosti otkaza $F(t)$, funkcije pouzdanosti $R(t)$ i funkcije intenziteta otkaza $\lambda(t)$.

Analitičkim metodama mogu se nešto tačnije odrediti parametri raspodela nego grafičkim postupcima. Posebno u neuobičajnim situacijama su analitički postupci pogodni, npr. kada parametar oblika β , kod Weibulove raspodele, ima ekstremne vrednosti. Naravno, tabelarni proračuni u Microsoft Excel – u su vrlo pogodni za analitički pristup određivanju parametara raspodela.

Najpoznatije analitičke metode kojima se određuju parametri raspodela su:

- metoda najmanjih kvadrata (Regression analyse),
- metoda momenta,
- metoda maksimalne verovatnoće (Maximum-Likelihood-Methode).

Teorijske osnove i procedure neophodne za analizu pouzdanosti mašinskih delova i sisteme date su u [1 i 2].

3. TABELARNI PRORAČUNI U ANALIZI POUZDANOSTI MAŠINSKIH DELOVA I SISTEMA

Na Mašinskom fakultetu u Nišu su razvijene dve generacije softver za analizu pouzdanosti mašinskih delova i sistema. Kao platforma oba softvera usvojen je Microsoft Excel, zbog mogućnosti koje pruža ovaj softver za tabelarne proračune. U postupku analize pouzdanosti se polazi od podataka dobijenih praćenjem otkaza mašinskih delova ili sistema u eksploataciji ili od podataka dobijenih eksperimentalnim ispitivanjem u laboratoriji, simulirajući eksploatacione uslove.

Za analizu pouzdanosti empirijski podaci o vremenu ispravnog rada do otkaza mašinskih delova ili sistema moraju biti sređeni intervalno. Tabela 1 prikazuje primer ulaznih empirijskih podataka o vremenu ispravnog rada jednog mašinskog sistema. Na osnovu ulaznih podataka intervalno sređenih u 7 klasa sračunate su empirijske funkcije učestanosti otkaza $f_e(t)$, funkcije kumulativne učestanosti otkaza odnosno funkcije nepouzdanosti $F_e(t)$, funkcije pouzdanosti $R_e(t)$ i funkcije intenziteta otkaza $\lambda_e(t)$.

U softveru je implementiran grafički metod određivanja funkcije raspodele vremena ispravnog rada do otkaza. Grafički način određivanja zakona raspodele, odnosno parametara raspodele, vrši se pomoću verovatnosnih papira. U verovatnosne papire se unose tačkese koordinatama $[t_i, F(t_i)]$. Broj tačaka jednak je broju posmatranih intervala z . Za verovatnoću otkaza $F(t_i)$ uzima se vrednost medijalnog ranga MR_i , koja se može izračunati Bernardovom aproksimacijom:

$$MR_i = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100\% \quad (1)$$

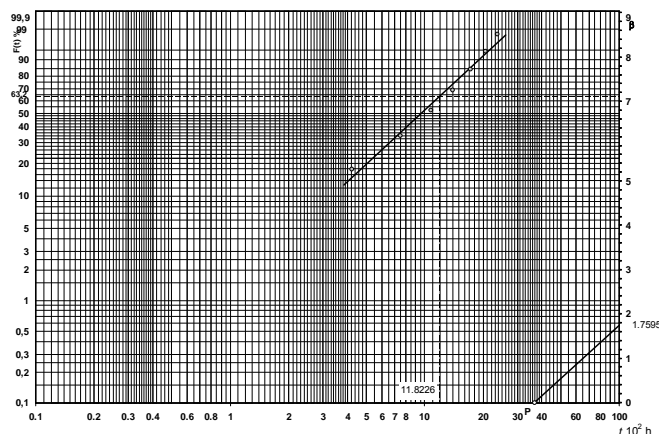
gde je: i – redni broj otkaza
 n – veličina uzorka.

Provlači se aproksimativna prava u svakom verovatnosnom papiru (Weibulov verovatnosni papir, verovatnosni papiri normalne, log-normalne i eksponencijalne raspodele) između ovako dobijenih tačaka i ako se tačke nalaze na pravoj liniji, ili se gomilaju oko nje, odabrani model može biti adekvatan za opisivanje zakona raspodele otkaza.

Tabela 1.

i	1	2	3	4	5	6	7
t, h	425	750	1075	1400	1725	2050	2375
$t / 100 h$	4.25	7.5	10.75	14	17.25	20.5	23.75
$N(\Delta t)$	8	7	8	7	7	4	2
$N(t)$	8	15	23	30	37	41	43
$n(t)$	35	28	20	13	6	2	0
$n(t - \Delta t)$	43	35	28	20	13	6	2
n	43	43	43	43	43	43	43
$MR, \%$	17.74	33.87	52.30	68.43	84.56	93.78	98.39
$F_e(t)$	0.19	0.35	0.53	0.70	0.86	0.95	1.0
$R_e(t)$	0.81	0.65	0.47	0.30	0.14	0.05	0.0
$\Delta t, h$	325	325	325	325	325	325	325
$f_e(t) \cdot 10^{-4}, h^{-1}$	5.72	5.01	5.72	5.01	5.01	28.62	1.43
$\lambda_e(t) \cdot 10^{-4}, h^{-1}$	6.31	6.84	10.26	13.05	22.67	30.77	61.54

U Sheet2 je konstruisan Weibulov verovatnosni papir (slika 2), u koji se unose podaci iz tabele 1, automatski aproksimira prava linija između unetih tačaka metodom najmanjih kvadrata i određuju parametri dvoparameterske Weibulove raspodele parameter oblika β i parameter razmere η .



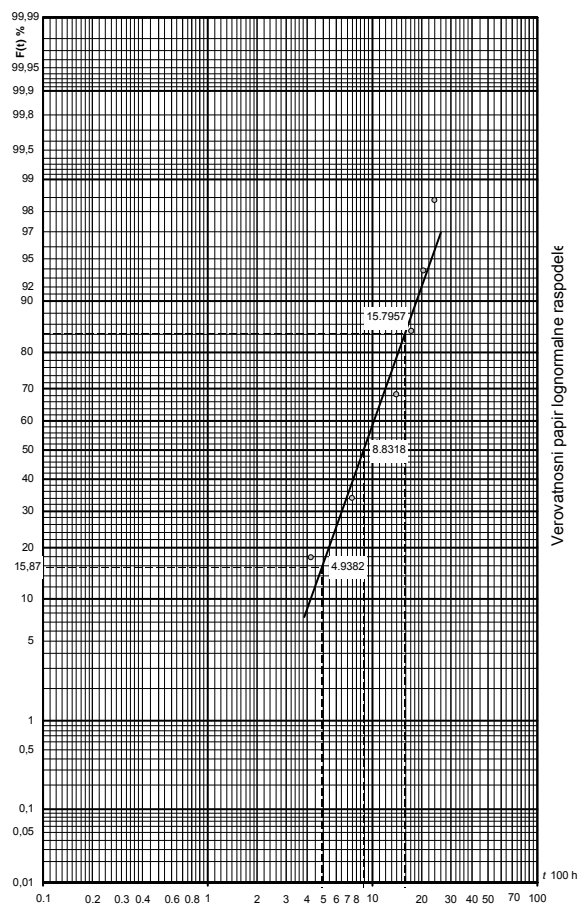
Slika 2. Weibulov verovatnosni papir

Iz papira se očitavaju parametri Weibulove raspodele:

$$\beta = 1.759466394$$

$$\eta = 1182.262271 h$$

U Sheet3 je konstruisan verovatnosni papir za logaritamsko-normalni zakon raspodele (slika 3), u koji se unose podaci iz tabele 1, automatski aproksimira prava linija između unetih tačaka metodom najmanjih kvadrata i određuju parametri raspodele: srednja vrednost m i standardna devijacija σ .

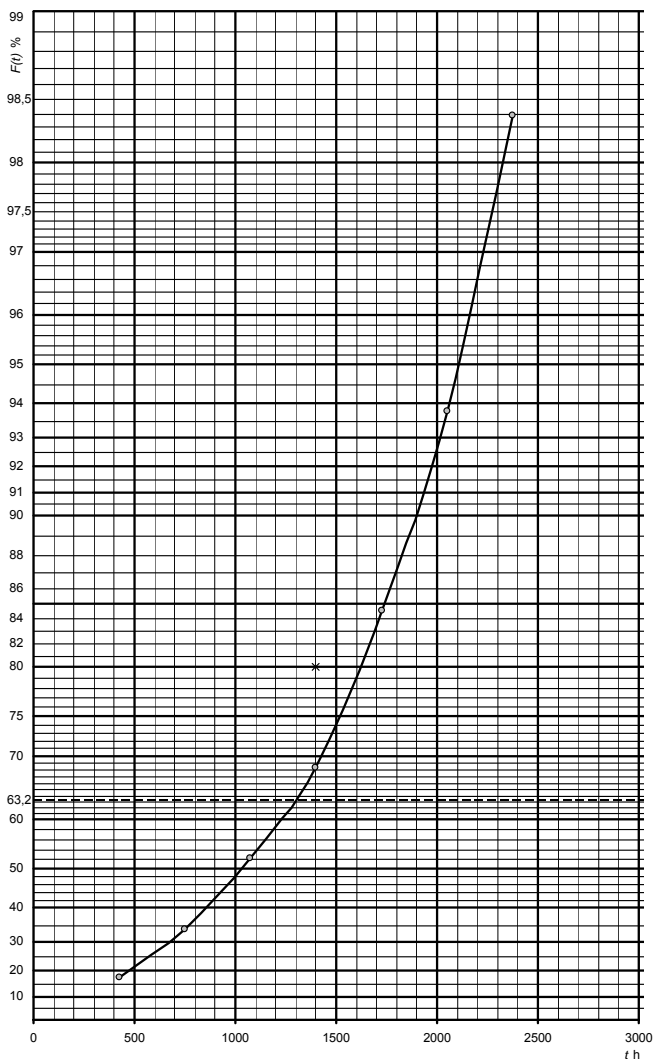


Slika 3. Verovatnosni papir log-normalne raspodele

$$m = 6.78353348$$

$$\sigma = 0.581371689$$

U Sheet4 je konstruisan verovatnosni papir za eksponencijalni zakon raspodele (slika 4), u koji se unose podaci iz tabele 1, automatski aproksimira prava linija između unetih tačaka metodom najmanjih kvadrata i određuju parametri raspodele: srednja vrednost m i parameter položaja γ ako se radi o dvoparametarskoj eksponencijalnoj raspodeli. Sa slike 4 se vidi da ne može da se dobro aproksimira prava linija, odnosno tačke su poređane na krivoj liniji, a iz toga se izvodi zaključak o odbacivanju eksponencijalnog zakona raspodele otkaza kao potencijalne hipoteze.



Slika 4. Verovatnosni papir eksponencijalne raspodele

U Sheet5 je konstruisan verovatnosni papir za normalni zakon raspodele (slika 5), u koji se unose podaci iz tabele 1, automatski aproksimira prava linija između unetih tačaka metodom najmanjih kvadrata i određuju parametri raspodele: srednja vrednost m i standardne devijacije σ . Sa slike 5 se vidi da može da se izuzetno dobro aproksimira prava linija.

Parametri raspodele su:

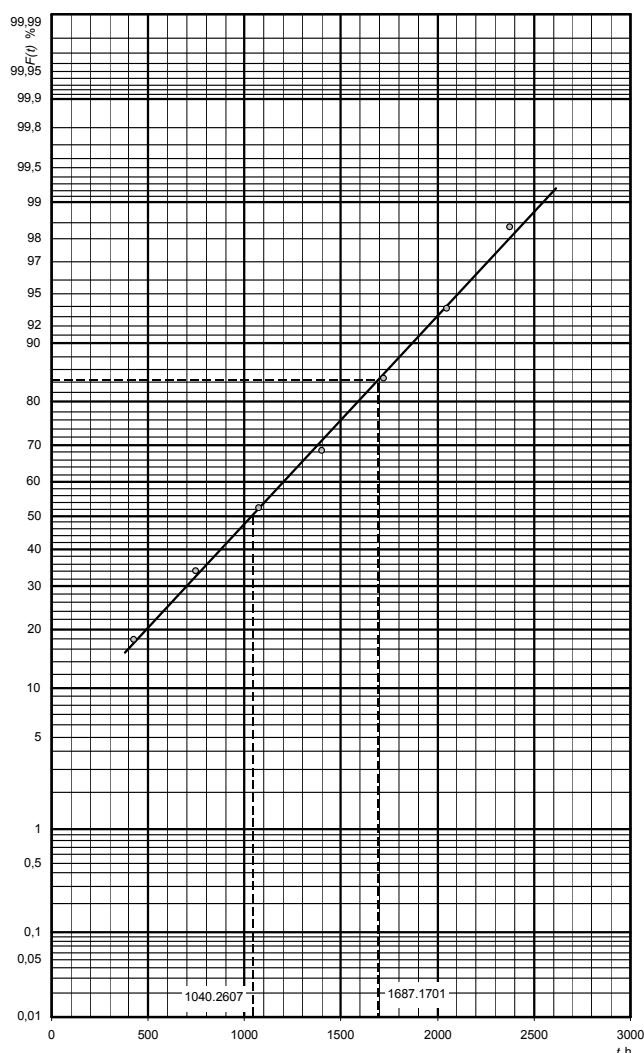
$$m = 1040.26067$$

$$\sigma = 646.909407 \text{ h}$$

Iz verovatnosnih papira se može zaključiti da se prava linija može aproksimovati na verovatnosnom papiru Weibulove raspodele, log-normalne raspodele i normalne

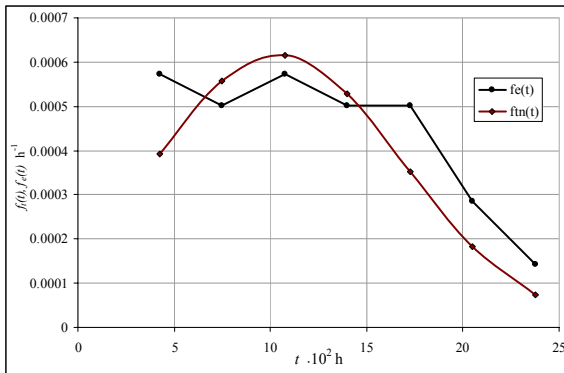
raspodele. Potvrda o prihvatanju raspodele se dobija primenom statističkih testova: test Kolmogorov-Smirnov (d_α -test) i Pirsonov χ^2 -test.

Softverom se proverava prihvatanja raspodele vrši d_α -testom, tako što se definiše apsolutna vrednost razlike $D = |F_e(t) - F_t(t)|$, određuje maksimalna vrednost, koja se zatim upoređuje sa tabličnom vrednošću koeficijenta Kolmogorov-Smirnov d_α .

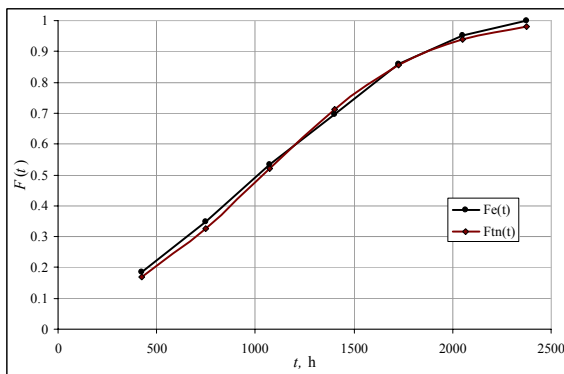


Slika 5. Verovatnosni papir normalne raspodele

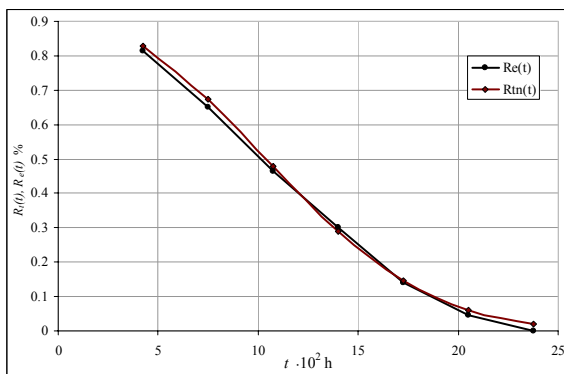
Softverom se dobijaju uporedni dijagrami empirijskih funkcija: gustine $f_e(t)$ (slika 6), verovatnoće otkaza $F_e(t)$ (slika 7), pouzdanosti $R_e(t)$ (slika 8) i intenziteta otkaza $\lambda_e(t)$ (slika 9) i adekvatnih teorijskih vrednosti funkcija za svaku raspodelu.



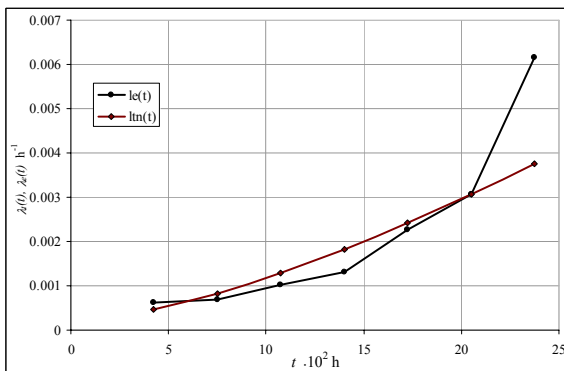
Slika 6. Uporedni dijagrami empirijske $f_e(t)$ i teorijske funkcije $f_i(t)$ gustine normalne raspodele



Slika 7. Uporedni dijagrami empirijske $F_e(t)$ i teorijske funkcije $F_i(t)$ verovatnoće otkaza normalne raspodele



Slika 8 Uporedni dijagrami empirijske $R_e(t)$ i teorijske funkcije $R_i(t)$ pouzdanosti normalne raspodele



Slika 9. Uporedni dijagrami empirijske $\lambda_e(t)$ i teorijske funkcije $\lambda_i(t)$ intenziteta otkaza normalne raspodele

4. ZAKLJUČAK

Karakteristike pouzdanosti mašinskih sistema se određuju na bazi empirijskih podataka o vremenu ispravnog rada do pojave otkaza. Ovi podaci se dobijaju praćenjem elemenata u realnoj eksploataciji ili sprovođenjem ispitivanja. Analizom pouzdanosti mašinskih delova i sistema treba ustanoviti koji od poznatih teorijskih zakona raspodele najviše odgovara empirijskim podacima, tj. kojim zakonom raspodele se najbolje mogu interpretirati rezultati koje posedujemo.

Preciznije rečeno, treba ustanoviti koji od poznatih teorijskih zakona raspodele najviše odgovara empirijskim podacima, tj. kojim zakonom raspodele se najbolje mogu interpretirati rezultati koje posedujemo.

Na Mašinskom fakultetu u Nišu se razvija softver za analizu pouzdanosti. Ovim softverom je omogućena brza analiza pouzdanosti sa mogućnošću dobijanja parametara teorijskih raspodela (Vejbulova, eksponencijalna, normalna i log-normalna) grafičkim postupkom i analitičkom metodom najmanjih kvadrata. Ocenjivanje polaznih hipoteza se u ovom trenutku vrši statističkim testom Kolmogorov-Smirnov ili d_α -testom. Za razvoj softvera usvojeno je Microsoft Excel okruženju, to su iskorišćene mogućnosti ovog softvera za simulaciju i dobijanje grafičkog prikaza empirijskih i teorijskih funkcija $f(t)$, $\lambda(t)$, $R(t)$ i $F(t)$, za dobijanje verovatnosnih papira: Vejbulove raspodele, normalne, log-normalne i eksponencijalne raspodele sa automatskim unošenjem tačaka $[t_i, MR(t_i)]$, aproksimativnim provlačenjem prave linije između tačaka primenom metode najmanjih kvadrata i dobijanjem parametara za svaku od navedenih raspodela.

LITERATURA

- [1] Milčić, D.: Pouzdanost mašinskih sistema, Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu, Niš, 2005.
- [2] Milčić, D., Mijajlović, M.: Pouzdanost mašinskih sistema – Zbirka rešenih zadataka, Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu, Niš, 2008.
- [3] Bertsche B., Lechner G.: Zuverlässigkeit im Maschinenbau – Ermittlung von Bauteil- und System-Zuverlässigkeiten. Springer-Verlag, 1990.
- [4] Vujanović N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema. Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1990.
- [5] Milčić, D., Veljanović, D.: Softver za analizu pouzdanosti mašinskih delova i sistema. Naučno-stručni skup IRMES '06, Banjaluka-Mrakovica, 21. i 22. septembar 2006., s. 411-416.
- [6] Milčić, D., Mijajlović, M., Veljanović, D.: Analysis Reliability Software, 8th International Conference „RESEARCH AND IN MECHANICAL INDUSTRY“ RaDMI 2008, Užice, 2008.
- [7] Mijajlović, M., Milčić, D.: Analiza fazi pouzdanosti mašinskih sistema, IMK-14 Istraživanje i razvoj, Časopis instituta IMK “14. Oktobar” Kruševac, Godina XV , Broj (30-31), 1-2. 2009., s. 107-114.