

MODEL ANALIZE I SINTEZE PERFORMANSE SIGURNOSTI FUNKCIONISANJA

Dr Miloš Tanasijević, dipl. inž.
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Doc dr Dejan Ivezić, dipl. inž.
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Prof.dr Slobodan Ivković, dipl. inž.
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Implementacija performanse sigurnosti funkcionisanja detaljno je razradjena standardom ISO-IEC 300. U ovom radu daje se mogućnost njene sintezne analize na bazi egzaktnih matematičkih modela u prvom redu na osnovama teorije fazi skupova. Ovaj matematičko-konceptijski pristup prvenstveno je zahvalan za sagledavanje i apsorpciju informacija vezanih za upotrebni kvalitet mašine sa stanovišta pre svega logističkih pokazatelja ali i konstrukcijskih koji se po definiciji daju u vidu numeričkih pokazatelja ali sa dosta praktičnih poteškoća. Praktično svi oni jedino mogu da se izraze na bazi ekspertskih mišljenja tj. sublimiranog znanja i iskustava. U radu se daje konkretan primer primene ove koncepcije za evaluaciju sigurnosti funkcionisanja mehaničkih sistema na rotornom bageru, koji može bez suštinskih izmena da se koristi i za ostale kompleksne tehničke sisteme.

Ključne reči: sigurnost funkcionisanja, fazi skupovi, rotorni bager

UVOD

Razvoj sistemskih nauka praktično počinje sa II Svetskim ratom. Pri tome, svo vreme se tragalo za odgovarajućom terminologijom koja bi na odgovarajući način izražavala karakteristična svojstva tehničkog sistema. U odgovarajućoj tehničkoj i naučnoj literaturi /1-2/ najprepoznatljiviji su sigurno: pouzdanost kao pokazatelj ponašanja tehničkog sistema tokom vremena u rada i pogodnost održavanja kao pokazatelj ponašanja tehničkog sistema tokom vremena u otkazu, čije su implementacije doživele najprogresivniji razvoj. Kasnije se definiše i pojam efektivnost, koji pokušava da obuhvati celokupno ponašanje tehničkog sistema i tokom vremena u radu kao i otkazu uz sagledavanje: pouzdanosti, raspoloživosti i funkcionalne pogodnosti datog konstrukcijskog rešenja mašine. U ovom pristupu paralelno se posmatraju pouzdanost i raspoloživost, iako je u osnovi pouzdanost sadržana u raspoloživosti, što dosta otežava parcijalno sagledavanja ovih pokazatelja i njihovu sintezu.

Krajem XX veka pojam efikasnosti se pokazuje kao nedovoljno prikladan za sagledavanje ukupnih svojstava određenog tehničkog sistema, pre svega zbog nejasne implementacije pojma u praksi. Zahvaljujući seriji standarda ISO-IEC 300 /3/, konačno se razvija pojam sigurnost funkcionisanja koji se vezuje za već postojeći pojam raspoloživost kao njegova mera; kao i pojam podrška održavanju koji postaje sastavni deo pojma sigurnost funkcionisanja uz već pomenute pojmove pouzdanosti i pogodnosti održavanja (prvenstveno njene konstrukcijske karakteristike). Implementacija pojma sigurnost funkcionisanja detaljno je razrađena pomenutom serijom standarda IEC-300 sa posebnim akcentom na značaj stepena zadovoljenja korisnika odgovarajućim proizvodom, definišući zahteve za sigurnošću funkcionisanja kao i elemente programa vezane za organizaciju proizvođača sa organizacijom korisnika. Pomenuti standardi su suštinska dopuna već dovoljno poznatom standardu ISO 9000, koji se pitanjem kvaliteta na ovaj način ne bavi.

Može se zaključiti kako je performansa sigurnosti funkcionisanja, najpotpuniji pojam koji opisuje raspoloživost posmatranog tehničkog sistema, odnosno predstavlja najpotpuniju meru

njegovog upotrebnog kvaliteta. Implementacija pojma sigurnost funkcionisanja suštinski obuhvata informacije vezane za stanje sistema u toku vremena u radu i u otkazu, kako sa stanovišta konstrukcijskih, tako i logističkih pokazatelja. Konkretno, informacije vezane za performanse: pouzdanosti, pogodnosti održavanja i podrške održavanju, kako je definisano aktuelnim standardom ISO-IEC 300.

EVALUACIJA PERFORMANSE SIGURNOSTI FUNKCIONISANJA

Prema pomenutom standardu, sigurnost funkcionisanja se definiše kao zajednički pojam pominjanih triju performansi: pouzdanosti, pogodnosti održavanja i podrške održavanju. Metode analize pouzdanosti i pogodnosti održavanja najčešće se izražavaju u kvantitativnom obliku na bazi teorije verovatnoće, odnosno u obliku funkcije verovatnoće pojave bilo odgovarajućeg otkaza, za pouzdanost; ili u obliku funkcije verovatnoće trajanja određene operacije održavanja, za pogodnost održavanja. U ovakvim analizama, pogotovu kod kompleksnih mašinskih sistema, kao što su, npr. sistemi kontinualne eksploatacije na površinskim kopovima lignita, javlja se često problem u definisanju strukture sistema u smislu pouzdanosti, karakterizacije delimičnog otkaza, takođe i posebno izražen problem u dobijanju i samom kvalitetu potrebnih informacija u smislu nepreciznošću i uopštenošću u beleženju odgovarajućih fenomena, itd. Ne tako retko, u cilju identifikacije pouzdanosti i pogodnosti održavanja ostaje jedino mogućnost ekspertske procene na bazi sublimiranih znanja i iskustava zaposlenih u eksploataciji i održavanju posmatranih tehničkih sistema. Sa druge strane, analiza podrške održavanja kao pokazatelja sigurnosti funkcionisanja, jedino suštinski može da se zasniva se na ekspertske proceni, odnosno na način koji daje ocenu performanse u lingvističkoj formi, a ne u obliku recimo funkcije verovatnoće ili nekih numeričkih pokazatelja.

Postavlja se problem kako sinergetski posmatrati pokazatelje sigurnosti funkcionisanja, i izvršiti sintezu njihovih vrednosti do njenog nivoa. Izvesno je da je neophodno formiranje pogodnog matematičkog aparata razvijenog za tretiranje u prvom redu nedovoljno preciznih pojmova i fenomena (npr. logistika i sl.), koje se ne mogu modelirati na bazi teorijskih modela sa numeričkim ulaznim veličinama. Takođe, model analize i sinteze na

nivou sigurnosti funkcionisanja trebalo bi da obezbedi i mogućnost kvalitetnog i sistemskog sagledavanja međuzavisnosti koje postoje između pojedinih promenljivih, odnosno datih performansi ponašanja tehničkog sistema.

Modeli na bazi višekriterijumske analize tj. višeatributivne ocene /4/, ovakve probleme rešavaju uvođenjem referentnih indikatora, u ovom slučaju bi to bili pouzdanost, pogodnost održavanja i podrška održavanju, i sinteznih faktora ili pondera koji bi definisali strukturu uticaja referentnih indikatora na samu sigurnost funkcionisanja. Pri tome, bez obzira na oblik informacija koje predstavljaju referentne indikatore, oni bi se predstavili u numeričkom obliku u odgovarajućem sistemu vrednovanja (npr. 0 – 1 ili od 0 – 100 %). Sintezne faktore bi trebalo odrediti na bazi ekspertske procene obično u intervalu od 0 do 1.

$$D = x_R \cdot R + x_M \cdot M + x_L \cdot L \quad (1)$$

- sigurnost funkcionisanja – D ;
- referentni indikatori: R – pouzdanost, M – pogodnost održavanja i L – podrška održavanju;
- sintezni faktori: x_R , x_M , x_L , pridruženi odgovarajućim referentnim indikatorima, respektivno,

pri čemu je: $x_R + x_M + x_L = 1$.

Na bazi ovakve postavke razvijen je niz matematičko-koncepcijskih modela /5/, koji su unapređeni u smislu relativizacije subjektivnosti mišljenja analitičara koji procenjuje ulazne informacije.

Modeli na bazi teorija fazi skupova /6-10/ su razvijeni za sagledavanje pre svega nedovoljno preciznih pojava i fenomena, i karakteristični su po tome što daju mogućnost računanja sa lingvističkim vrednostima, odnosno opisima. U slučaju performansi sigurnosti funkcionisanja, ovaj kvalitet teorije fazi skupova posebno je primenljiv u analizi performanse podrške održavanju. U analizi logističkih parametara kao što je, upravo, podrška održavanja na nivou potrebnom za sagledavanje sigurnosti funkcionisanja, praktično i ne postoji druga mogućnost za njenu evaluaciju sem na bazi ekspertske procene u vidu lingvističkih opisa. Već je pisano da i performanse kao što su pouzdanost i pogodnost održavanja, takođe često mogu da se izraze jedino na nivou ekspertske procene, odnosno upravo na osnovama teorije fazi skupova.

Performansa sigurnosti funkcionisanja i fazi skupovi

Definisanje lingvističkih promenljivih predstavlja prvi korak u formiranje fazi modela evaluacije sigurnosti funkcionisanja. U tom smislu neophodno je da se one imenuju, da se odredi njihov broj, oblik i oblast pokrivenosti.

U radovima koji se bave tematikom fazi skupova i fazi odlučivanja ne postoje eksplicitne preporuke oko načina imenovanja odgovarajućih lingvističkih promenljivih. Često se koriste izrazi: odlična, vrlo dobra, prosečna, zadovoljavajuća, loša; eventualno se uvode još po dve lingvističke promenljive, npr. sa atributima izrazito (izrazito odlična i izrazito loša), sa dosta uskim intervalom pokrivenosti. Ovakve "radikalne" lingvističke promenljive uslovno mogu da predstavljaju i modifikovane prvo-avedene lingvističke promenljive. Sa druge strane mogu da se nađu radovi gde autori uvode promenljive koje direktno reprezentuju analizirane fenomene. U slučaju pouzdanosti, sa opisom verovatnoće pojave otkaza, kao npr.: visoko frekventna, frekventna, prihvatljivo frekventna, prosečna, prihvatljivo niska, niska i vrlo niska.

Prvo-avedeni način imenovanja lingvističkih promenljivih u načelu ima nedostatak u mogućnosti poistovećivanja opšte korišćenih pojmova kao što su odlično ili vrlo dobro, sa već stečenim predrasudama o istim na osnovu nekog nereprezentativnog ličnog iskustva, kod davanja ocena od strane analitičara. Takođe, ovakve lingvističke promenljive sa nedovoljnom preciznošću u nazivu, mogu kod korisnika opreme praktično da preslikaju način razmišljanja, npr. sa same pouzdanosti na ukupan kvalitet razmatrane komponente. U tom smislu, može da se izvede zaključak da bi lingvističke promenljive trebalo da budu što preciznije, odnosno da koriste reči koje direktno navode na fenomen koji se analizira.

Što se tiče broja lingvističkih promenljivih, u literaturi može da se pronađe preporuka da je sedam maksimalan broj racionalno sagledivih ocena koje čovek može da razgraniči u datom trenutku /10/. Međutim, zbog velikog broja mogućnosti koje pruža analiza na bazi fazi skupova u smislu pokrivenosti svih fenomena, pa čak i onih koji na prvi pogled ne pripadaju ni jednoj lingvističkoj promenljivoj, kao i u smislu mogućnosti davanja prelaznih ocena u okviru ekspertske procene, sasvim je dovoljno dati i manji broj lingvističkih promenljivih u cilju identifikacije razmatranog fenomena.

Istraživanja i projektovanja za privredu 17/2007

Postavlja se i problem definisanja jedinice mere kojom se reprezentuje nivo kvaliteta analiziranog fenomena, odnosno kojima se mere intenziteti lingvističkih promenljivih tj. odgovarajućih fazi skupova. Što se tiče pouzdanosti, ona je po definiciji bezdimenzionalna i obično se izražava u intervalu 0...1, ili od 0 do 100 %. Načelno, isto važi i za pogodnost održavanja a za podršku održavanja u smislu bezdimenzionalnosti. Međutim, u slučaju analize na bazi ekspertske procene, kao jedinica mera u pogledu sva tri pokazatelja sigurnosti funkcionisanja može se uvesti pojam klasa kao često korišćen pojam koji reprezentuje performanse kvaliteta. U ovom slučaju bi trebalo ispoštovati pominjanu preporuku o sedam racionalno sagledivih nivoa analize.

Sinteza između parcijalno posmatranih pokazatelja, odnosno između: pouzdanosti (R), pogodnosti održavanja (M) i podrške odražavanja (L) do nivoa sigurnosti funkcionisanja (D) ostvaruje se na bazi odgovarajuće fazi kompozicije fazi skupova ili fazi relacija. U ovom slučaju se koristi tzv. "max-min" kompozicija, definisana na sledeći način:

$$D = R \circ M \times L \quad (2)$$

Vežnik "i" odnosno proizvod sa operatorom (\circ), koristi se u slučaju kad fazi skupovi ili fazi relacije istovremeno postoje /6/, odnosno načelno nisu funkcionalno zavisne. U ovom slučaju ovakav proizvod se koristi za slučaj performanse vremena u radu i vremena u otkazu, tj. pokazatelja pouzdanosti (R) i održavanja (dato kao kartenzijanski proizvod $M \times L$), respektivno. Sa druge strane pogodnost održavanja (M) i podrška održavanju (L) funkcionalno zavise, odnosno tehnološki mogu međusobno da se uslovljavaju.

Za razmatrani slučaj, kartenzijanski proizvod dva skupa M i L kao pokazatelja vezanih za održavanje, tj. vezanih za vreme dok je sistem u zastoju, odnosno odgovarajuća funkcija pripadnosti definisana je na sledeći način:

$$\mu_{M \times L} = (\mu^i_{M \times L})_{n \times n}, \quad (3)$$

gde je u ovom slučaju:

$$\mu^i_{M \times L} = \min(\mu^i_M, \mu^i_L) \quad (4)$$

pri tome su funkcije pripadnosti za skupove M i L date na sledeći način:

$$\begin{aligned} \mu_M &= (\mu^1_M, \mu^2_M, \dots, \mu^n_M), \\ \mu_L &= (\mu^1_L, \mu^2_L, \dots, \mu^n_L). \end{aligned} \quad (5)$$

Kompozicija, za date funkcije pripadnosti za skup R i za kartenzijanski proizvod skupova M i L , funkcija pripadnosti za skup D može biti dobijena na sledeći način:

$$\mu^D = \mu^{R \circ M \times L} = (\mu^j_D)_{1 \times n}, \quad (6)$$

gde je u ovom slučaju:

$$\mu^j_D = \max(\min(\mu^{1R}, \mu^{1j_{M \times L}}), \dots, \min(\mu^{nR}, \mu^{nj_{M \times L}})), \quad (7)$$

$$j = 1, 2, \dots, n.$$

Ovako definisana "max-min" kompozicija postavlja fazi skup L kao "kritičan", drugim rečima u slučaju da posmatrani element ima visoku pouzdanost R i pogodnost održavanja M a izraženo nisku performansu podrške održavanju L , ocena sigurnosti funkcionisanja D biće isto na niskom nivou i to u daleko većoj meri nego u nekoj drugoj kombinaciji vrednosti R , M i L . "Max-min" kompozicija zbog ovog svojstva

često se naziva i "pesimistička", i često je korišćena u analizama raznih fenomena na tehničkim sistemima.

Kao izlaz fazi kompozicije dobija se sigurnost funkcionisanja u obliku gde se daje zavisnost od klasa. Ovako definisanu sigurnost funkcionisanja treba transformisati u oblik koji definiše pripadnost odgovarajućim fazi skupovima sigurnosti funkcionisanja. Pre svega treba definisati te fazi skupove, odnosno imena lingvističkih promenljivih, kao i oblik i položaj, što je dato preko tablice 1. Trebalo bi napomenuti da postavke koje važe za imenovanje fazi promenljivih u slučaju pouzdanosti, pogodnosti održavanja i podrške održavanju, ovde ne važe jer se ocene dobijaju računskim putem a ne na osnovu procena analitičara.

Lingv. prom. / klasa	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Loša	0	0	0	0	0	0.75	1.0
Prosečna	0	0	0	0.5	1.0	0.25	0
Dobra	0	0.25	1.0	0.5	0	0	0
Odlična	1.0	0.75	0	0	0	0	0

Tablica 1. Vrednosti funkcije pripadnosti $\mu(D)$ za fazi skupove sigurnosti funkcionisanja i pojedine klase

Transformacija izraza za D koji definiše stepen pripadnosti klasama u oblik koji definiše i stepen pripadnosti fazi skupovima: loš, prosečan, dobar i odličan, odvija se postupkom koji se naziva identifikacija, odnosno u ovom slučaju identifikacija sigurnosti funkcionisanja. Metoda koju koristi postupak identifikacije, naziva se "best-fit" i koristi rastojanje između dobijene vrednosti stepena pripadnosti μ metodom "max-min" i vrednosti definisane oblikom i položajem fazi skupa prema tablici 1, posebno za sva četiri fazi skupa.

$$d_{i1}(D_i, \text{loša}) = \sqrt{\sum_{j=1}^7 (\mu^{j_{D_i}} - \mu^{j_{\text{loša}}})^2} \quad (8)$$

$$d_{i2}(D_i, \text{pros.}) = \sqrt{\sum_{j=1}^7 (\mu^{j_{D_i}} - \mu^{j_{\text{pros.}}})^2} \quad (9)$$

$$d_{i3}(D_i, \text{dobra}) = \sqrt{\sum_{j=1}^7 (\mu^{j_{D_i}} - \mu^{j_{\text{dobra}}})^2} \quad (10)$$

$$d_{i4}(D_i, \text{odl.}) = \sqrt{\sum_{j=1}^7 (\mu^{j_{D_i}} - \mu^{j_{\text{odl.}}})^2} \quad (11)$$

Rastojanje d ima vrednost jednaku nuli, ukoliko je stepen pripadnosti, dobijen "max-min" metodom, nekoj klasi jednak vrednosti za tu klasu prema tablici 1, za dati fazi skup: loš, ..., odličan.

Dalje, uvodi se veličina α_i , koja predstavlja relativno rastojanje, relativizirano u odnosu na najmanje d_i , odnosno jednaka je jedinici ukoliko je odgovarajuće rastojanje d_i jednako najmanjem od navedena četiri rastojanja u svakom fazi skupu.

$$\alpha_i = \frac{1}{d_i / \min(d_i)}, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (12)$$

Relativna rastojanja se dalje normalizuju, na sledeći način:

$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\sum_{j=1}^4 \alpha_j}, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (13)$$

Na ovaj način dobijen je stepen pripadnosti navedenim fazi skupovima (loš, ..., odličan), u rasponu $0 \leq \beta \leq 1$, i pri tome je:

$$\sum_{j=1}^n \beta_j = 1 \quad (14)$$

Na osnovu izloženog modela, dobija se sigurnost funkcionisanja za odgovarajuću komponentu (veza reduktora i pogonskog bubnja), u skladu sa lingvističkim promenljivama, za sračunato $\beta_i = \mu_i$ u obliku:

$$D = \{(\mu_1, \text{"loša"}), (\mu_2, \text{"prosečna"}), (\mu_3, \text{"dobra"}), (\mu_4, \text{"odlična"})\} \quad (15)$$

Na ovaj način je definisana sigurnost funkcionisanja određene komponente datog tehničkog sistem na bazi fazi skupova: pouzdanosti, pogodnosti održavanja i podrške održavanju.

PROCENA SIGURNOSTI FUNKCIONISANJA MAŠINSKIH SISTEMA NA ROTORNOM BAGERU

Analiziraju se mašinski sistemi na rotornom bageru SchRS 630, JPRB Kolubara–Tamnava zapadno polje.

Proizvođač bagera je nemačka fabrika O&K. Bager je počeo sa radom 1994. godine na jalovini i već sledeće godine prebačen je na uglj i trenutno radi. U radu je proveo 34.469 sati i za to vreme proizveo 37.484.246 t uglja i 4.594.498 m³ jalovine, sa ostvarenim kapacitetom od 1258,8 m³, t/h. Teoretski kapacitet je 4100 m³/h. Koeficijent prosečnog vremenskog iskorišćenja pri tome je 0,47, a kapacitativnog 0,32. Udeo mašinskih zastoja u odnosu na ukupne je 3,4 %, sa strukturom po kalendarskim godinama datom u tablici 2 /11/. Trebalo bi napomenuti da operacije održavanja iz domena mašinskog održavanja nisu sadržane samo u ovom relativno malom procentu, već i u okviru zastoja tehnološke prirode i sl., takođe ponekad zastoji ne mogu jasno da se diferenciraju u smislu njihove prirode. U svakom slučaju, jasno se vidi da je bager načelno visoke sigurnosti funkcionisanja, tj. visoke pouzdanosti i kvalitetno održavan.

	2005.	2004.	2003.	2002.	2001.	2000.	1999.	1998.	1997.	1996.	1995.	1994.
Ukupni zastoji, h	4255	4287	4617	3705	4273	5193	6368	5279	4941	5804	4574	758
Mašinski, h	60	30	41	52	222	236	50	373	295	229	854	77

Tablica 2. Prikaz strukture vremena u zastoju u periodu 1994-2005. na bageru SchRs630.25/6

Na osnovu konstrukcijsko-funkcionalnih celina mogu da se izdvoje sledeći sistemi: za kopanje, za transport materijala, za transport bagera, za dizanje strele i za okretanje gornje gradnje. Postoje još i sistemi: noseća konstrukcija i pomoćna konstrukcija kao i elektro upravljanje i elektro snabdevanje, koji neće biti obuhvaćeni ovom analizom.

Prvi korak predstavlja definisanje fazi skupova pouzdanosti. Uvode se pet lingvističkih promenljivih koje reprezentuju pouzdanost sa bližim opisom performanse: izuzetno pouzdan, vrlo pouzdan, srednje pouzdan, prihvatljivo pouzdan, nepouzdan. Pouzdanost se teorijski izražava kao verovatnoća rada bez otkaza t , tj.

u obliku funkcije $R = f(t)$. Sedam klasa kao jedinice mere koje reprezentuju nivo kvaliteta pouzdanosti mogle bi da se raspodele tako da pokrivaju vremenske intervale od 0 do t tj. od $f(t) = 0 \dots 1$. U tom slučaju neophodno je da se sprovede odgovarajuće istraživanje koje za rezultat ima funkciju pouzdanosti posmatranog tehničkog sistema. U istraživanjima pouzdanosti, mogu da se dobiju i podaci na bazi ekspertske procene. Ovde se pripadnost datog fazi skupa određenoj klasi dobija se isto na bazi ekspertske procene.

Generalno za uvedene lingvističke promenljive i klase kao jedinice mere, mogu da se daju opisi kroz fazi skupove, na sledeći način, tablica 3:

Lingv. prom. / klasa	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Nepouzdan	0	0	0	0	0	0.25	1.0
Prihvatljivo pouzdan	0	0	0	0	0.5	1.0	0
Srednje pouzdan	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0
Vrlo pouzdan	0	1.0	0.5	0	0	0	0
Izuzetno pouzdan	1.0	0.25	0	0	0	0	0

Tablica 3. Vrednosti funkcije pripadnosti $\mu(R)$ za fazi skupove pouzdanosti i pojedine klase

Pogodnost održavanja pre svega se odnosi na konstrukcijsku prilagođenost akcijama održavanja. Kao i u slučaju pouzdanosti, evaluacija performanse pogodnosti održavanja može da se sprovede kako na bazi funkcije verovatnoća trajanja operacije održavanja t_0 , tj. u obliku funkcije $M = f(t_0)$, kao i na bazi ekspertske procene. S tim u vezi, može da se definiše i pripadnost datog fazi skupa određenoj klasi.

Generalno mogu da se identifikuju sledećih pet slučajeva pogodnosti održavanja:

- Maksimalno povoljno za održavanje; Ova lingvistička promenljiva se odnosi na praktično automatizovane sisteme održavanja, npr. demontaže ili drugih operacija održavanja, gde nije potreban nikakav dodatni alat, pristupačnost mesta gde se obavlja akcija održavanja ne dolazi do izražaja. Ovakvi sistemi se uglavnom javljaju kod elektro-sistema.

- Lako za održavanje; U načelu ova lingvistička promenljiva pokriva praktično najpovoljnije slučajeve što se tiče operacija održavanja, s obzirom da teško koji deo bagera može da se proceni sa maksimalno povoljnom, odnosno pomenuto automatizovanim.
- Prosečnih mogućnosti za održavanje.
- Uz česte poteškoće u procesu održavanja; Teško tehnološki izvodljive operacije održavanja, javljaju se i nepotrebne komplikacije pri održavanju, ali ipak mogu da se ocene kao očekivane u određenoj meri odnosno prepoznatljivije su.
- Izuzetno teško za održavanje; Pored već teško tehnološki izvodljive operacije održavanja, gotovo uvek i nepredviđene komplikacije održavanju.

Lingv. prom. / klasa	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Izuzetno teško za ...	0	0	0	0	0	0.25	1.0
Uz česte poteškoće	0	0	0	0	0.5	1.0	0
Prosečne mogućn.	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0
Lako za održavanje	0	1.0	0.5	0	0	0	0
Max povoljno ...	1.0	0.25	0	0	0	0	0

Tablica 4. Vrednosti funkcije pripadnosti $\mu(M)$ za fazi skupove pogodnosti održavanja i pojedine klase

Analizom uslova održavanja koji uobičajeno vladaju na srpskim kopovima lignita i uopšte u okviru velikih industrijskih sistema načelno mogu da se razgraniče četiri izražena slučaja podrške održavanju:

- održavanje putem servisa od strane proizvođača ili ovlašćenog servisera,
- održavanje razvijeno od strane korisnika,
- održavanje postoji ali sa dosta ograničenja, odnosno odvija se na zahtev,
- ne postoji.

Prva dva slučaja ponekad teško mogu da se razgraniče po efikasnosti. Posebno je to karak-

teristično za već pominjane srpske rudnike, iz razloga još nedovoljno formiranih kriterijuma za ekonomsko vrednovanje rada, vremena i materijalnih dobara. Održavanje razvijeno na nivou servisa od strane proizvođača ili ovlašćenog servisera, karakteristično je za savremene koncepcije održavanja u industriji uopšte, kada proizvođač opreme ili ovlašćeni serviser garantuje za ispravan rad opreme. Podrška održavanju razvijena od strane korisnika dosta je prisutna na velikim rudarskim mašinama kao što su rotorni bageri, posebno u zemljama sa nekadašnjom netržišnom ekonomijom. Ne ulazeći u pominjanu ekonomsku opravdanost ovakve koncepcije održavanja,

ona se može oceniti kao dosta uspešna pre svega iz razloga vezanosti službe održavanja i konstrukcijskog razvoja i modernizacije ovakvih mašina i tokom perioda eksploatacije.

Slučaj kada održavanje postoji ali sa dosta ograničenja, odnosno obavlja se na zahtev, načelno može da se okarakteriše kao pre svega dosta inertna koncepcija. I pored toga ona je uslovno rečeno uredna, odnosno zadovoljava potrebe u ograničenom obimu redovnih aktivnosti neophodnih za održavanjem sistema u raspoloživom stanju. Posledice ove inertnosti, odnosno nedostatka pravovremene i organizovane akcije održavanja, posebno mogu da budu izražene kod tehničkih sistema sa velikom jediničnom cenom tehnološkog procesa koji obavljaju. Karakteristično je da ovakva koncepcija ima dosta subjektivnih činilaca, te će i njen fazi skup imati izraženo široki opseg.

Slučaj kada održavanje ne postoji, karakteristično je pre svega za delove noseće konstrukcije, vratila i zupčanike velikih dimenzija i sl., zatim komponente koje nisu često zastupljene na kopu, odnosno nalaze se na mašinama koje su uslovno rečeno jedinstvene, kao i mehaničke komponente čije eventualno skladištenje kao rezervnog dela izaziva velike troškove što zbog visoke sopstvene cene, tako i zbog realno manje verovatnoće za iznenadnim otkazom. Karakteristično je da otkazi elementa iz ove grupe mogu da izazovu izuzetno velike troškove usled zastoja, što govori da navedeni troškovi nisu kriterijum za propisivanje strategije podrške održavanju u smislu kvaliteta.

S obzirom da su već diferencirane četiri koncepcije podrške održavanja, paralelno se mogu uvesti i četiri lingvističke promenljive. Za slučaj dve efikasnije koncepcije, mogu se uvesti

lingvističke promenljive visoko razvijeno i dobro razvijeno. Već je objašnjeno kako se dve navedene koncepcije u dobroj meri prepliću, tako da koncepcije i navedene lingvističke promenljive ne moraju apriori da se poistovete. Drugim rečima, koncepcija Održavanje putem servisa od strane proizvođača ili servisera načelno može da se identifikuje kao Visoko razvijena, ali ne i sa potpunom sigurnošću, što važi i za koncepciju Održavanje razvijeno od strane korisnika i lingvističku promenljivu Dobro razvijena. Potpuno poistovećivanje koncepcije i lingvističke promenljive u dobroj meri bi neutralisalo prednosti analize na bazi fazi skupova. Drugim rečima, pružila bi se mogućnost direktne identifikacije lingvističke promenljive bez davanja kritičkog stava o istoj (konkretno, u kojoj meri je Visoko razvijena, odnosno koliko je i Dobro razvijena). Za ostale dve manje efikasne koncepcije podrške održavanju, uvode se lingvističke promenljive: sa dosta ograničenja i ne postoji. Pošto se ove dve koncepcije daleko lakše diferenciraju po nivou kvaliteta pri čemu koncepcija Sa dosta ograničenja ima široku rezonski sagledivu oblast pokrivenosti, i odgovarajuće lingvističke promenljive mogu da se poistovete sa njima, respektivno. Takođe u skladu sa navedenim i krajnje lingvističke promenljive Ne postoji i Vrlo razvijena, nisu simetrične međusobom tako što je Vrlo razvijena sa širim opsegom pokrivenosti.

Za navedene četiri lingvističke promenljive, i klasu kao jedinicu mere koja dovoljno nedvosmisleno reprezentuje kvalitet podrške održavanju (u intervalu 1 ... 7), modeliraju se sledeći fazi skupovi logističke podrške održavanju, tablica 5.

Lingv. prom. / klasa	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Ne postoji	0	0	0	0	0	0.25	1.0
Sa dosta ograničenja	0	0	0	0.5	1.0	0.5	0
Dobro razvijena	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0
Vrlo razvijena	1.0	0.75	0	0	0	0	0

Tablica 5. Vrednosti funkcije pripadnosti $\mu(L)$ za fazi skupove podrške održavanju i pojedine klase

Procena pokazatelja sigurnosti funkcionisanja daje se po sistemu "u najvećoj meri", odnosno sa pretežnom orijentacijom ka

promovisanom fazi skupu i prikazana je u tablici 6.

1. Sistem za kopanje		<i>Lingv. prom. / klasa</i>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
	R =	Vrlo pouzdan	0	1.0	0.6	0.2	0	0	0	
	M =	Lako za održavanje	0	1.0	0.5	0.1	0	0	0	
	L =	Sa dosta ograničenja	0	0	0.1	0.5	1.0	0.4	0	
	↓ <i>Max-min kompozicija</i> ↓									
	D =		0	0	0.1	0.5	1.0	0.4	0	
	↓ <i>Best-fit metod</i> ↓									
$D_1 = \{(0.08667, \text{"loša"}), (0.74204, \text{"prosečna"}), (0.09383, \text{"dobra"}), (0.07746, \text{"odlična"})\}$										
2. Sistem za transport materijala		<i>Lingv. prom. / klasa</i>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
	R =	Vrlo pouzdan	0.8	1.0	0.1	0	0	0	0	
	M =	Maks. povoljne ...	1.0	0.6	0	0	0	0	0	
	L =	Dobro razvijena	0.7	1.0	0.3	0	0	0	0	
	↓ <i>Max-min kompozicija</i> ↓									
	D =		0.7	0.8	0.3	0	0	0	0	
	↓ <i>Best-fit metod</i> ↓									
$D_2 = \{(0.13698, \text{"loša"}), (0.14358, \text{"prosečna"}), (0.18458, \text{"dobra"}), (0.53486, \text{"odlična"})\}$										
3. Sistem za transport bagera		<i>Lingv. prom. / klasa</i>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
	R =	Srednje pouzdan	0	0.3	0.7	1.0	0.2	0	0	
	M =	Lako za održavanje	0	1.0	0.4	0.1	0	0	0	
	L =	Dobro razvijena	0	0.3	1.0	0.5	0.2	0	0	
	↓ <i>Max-min kompozicija</i> ↓									
	D =		0	0.3	0.4	0.4	0.2	0	0	
	↓ <i>Best-fit metod</i> ↓									
$D_3 = \{(0.17272, \text{"loša"}), (0.24975, \text{"prosečna"}), (0.38150, \text{"dobra"}), (0.19602, \text{"odlična"})\}$										
4. Sistem za dizanje strele		<i>Lingv. prom. / klasa</i>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
	R =	Vrlo pouzdan	0.2	1.0	0.4	0	0	0	0	
	M =	Lako za održavanje	0.1	1.0	0.6	0	0	0	0	
	L =	Dobro razvijena	0.1	0.6	1.0	0.2	0	0	0	
	↓ <i>Max-min kompozicija</i> ↓									
	D =		0.1	0.6	1.0	0.2	0	0	0	
	↓ <i>Best-fit metod</i> ↓									
$D_4 = \{(0.14285, \text{"loša"}), (0.15506, \text{"prosečna"}), (0.52211, \text{"dobra"}), (0.17998, \text{"odlična"})\}$										
5. Sistem za okret gornje gradnje		<i>Lingv. prom. / klasa</i>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
	R =	Vrlo pouzdan	0	1.0	0.7	0.4	0.1	0	0	
	M =	Lako za održavanje	0	1.0	0.7	0.3	0	0	0	
	L =	Dobro razvijena	0	0.4	1.0	0.4	0.1	0	0	
	↓ <i>Max-min kompozicija</i> ↓									
	D =		0	0.4	1.0	0.4	0.1	0	0	
	↓ <i>Best-fit metod</i> ↓									
$D_5 = \{(0.08648, \text{"loša"}), (0.10292, \text{"prosečna"}), (0.71346, \text{"dobra"}), (0.09714, \text{"odlična"})\}$										

Tablica 6. Procena sigurnosti funkcionisanja na primeru mašinskih sistema na bageru SchRS 630, JPRB Kolubara – Tamnava zapadno polje

Na osnovu ovako interpretiranih rezultata evaluacije sigurnosti funkcionisanja mašinskih sistema na bageru, dolazi se do zaključka da sistem za kopanje predstavlja potencijalno slabo mesto, jer mu je sigurnost funkcionisanja procenjena u najvećoj meri od $0.7420 = 74\%$

sa prosečnom, odnosno sistem koji u najvećoj meri smanjuje raspoloživost na bageru. Ostali sistemi u najvećoj meri su dobre sigurnosti funkcionisanja, dok sistem za transport materijala na bageru u najvećoj meri ima čak odličnu sigurnost funkcionisanja i to u meri od 63% .

ZAKLJUČAK

Sigurnost funkcionisanja sigurno predstavlja najkompleksniji pokazatelj upotrebnog kvaliteta, tj. najpotpuniju meru raspoloživosti određenog tehničkog sistema. U tom smislu i više je nego potrebno praćenje kako same performanse sigurnosti funkcionisanja, tako i njenih pokazatelja. Posledice koje može da izazove praćenje ili nepraćenje ovakvih pokazatelja odnosno odgovarajuća analiza istih, posebno su izražene kod tehničkih sistema velikih investicionih vrednosti, velikih radnih učinaka, nedovoljne konstrukcijske razrađenosti tj. sklonih permanentnom razvoju konstrukcije mašine i tokom perioda korišćenja. Rotorni bager predstavlja posebno izražen primer.

Problem koji je izložen u radu vezan je za sintezu više raznovidnih pokazatelja sigurnosti funkcionisanja. Predstavljena su dva matematička modela, jedan na bazi višeatributivne ocene i drugi na bazi teorije fazi skupova. U prvom slučaju analizirala bi se tri pokazatelja sigurnosti funkcionisanja preko parcijalnih ocena, i svela na sinteznu ocenu sigurnosti funkcionisanja preko procenjenih sinteznih faktora koji reprezentuju nivo njihovih uticaja. Pri tome procene bi se davale u numeričkom obliku, što u startu smanjuje kvalitet analize fenomena koji jedino mogu da se identifikuju na bazi ekspertskih procena u lingvističkoj formi. U tom slučaju javlja se nemogućnost sagledavanja nepreciznih, dvosmislenih i sl. fenomena. Takođe, i direktno uvođenje sinteznih faktora u matematički model direktno reflektuje dozu subjektivnosti analitičara na konačnu sinteznu ocenu.

U slučaju primene fazi skupova, ovakvi problemi su u daleko manje izraženi, zahvaljujući samoj koncepciji teorijskih osnova fazi skupova u smislu mogućnosti apsorpcije svih oblika fenomena tj. ulaznih informacija pa i onih koje su rezultat sublimiranih znanja i iskustava i daleko većoj ustrojenosti ovakvog matematičkog modela u smislu sinteznog procesa. U radu je upravo prikazan matematičko-koncepcijski model evaluacije performanse sigurnosti funkcionisanja, čija je implementacija prikazana u sinteznoj analizi mašinskih sistema na rotornom bageru, koji radi u uobičajenim uslovima, tj. okruženju, karakterističnim za srpske kopove lignita.

LITERATURA

- /1/ Todorović J., Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Jugoslovensko društvo za motore i vozila, Beograd 1993.
- /2/ Ivković S., Otkazi elemenata rudarskih mašina, RGF-Beograd, 1997.
- /3/ Jovičić S., Todorović J., Sigurnost funkcionisanja – Standard IEC TC 56, Beograd 1996.
- /4/ Nikolić I., Borović S., Višekriterijumska optimizacija, Centar vojnih škola, Beograd 1996.
- /5/ Ebrahimipour V., Suzuki K., A synergetic approach for assessing and improving equipment performance in offshore industry based on dependability, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 91, 2006. Pages: 10-19.
- /6/ Subašić P., Fazi logika i neuronske mreže, Tehnička knjiga, Beograd, 1997.
- /7/ Wang J., Yang J.B., Sen P., Safety analyses and synthesis using fuzzy sets and evidential reasoning, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 47, 1995., Pages. 103-118.
- /8/ Bowles J.B., Pelaez C.E., Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis, Reliability Engineering and System Safety Vol. 50, 1995., Pages 203-213.
- /9/ Chaudhuri D., Suresh P.V., An algorithm for maintenance and replacment policy using fuzzy set theory, Reliability Engineering and System Safety Vol. 50, 1995., Pages 79-86.
- /10/ Tanasijević M., Ivezić D., Ivković S., Pouzdanost hidraulične instalacije mašina pomoćne mehanizacije – primena teorije fazi skupova i činjeničnog zaključivanja, Naučno stručni časopis Istraživanja i projektovanja za privredu, broj 13 – 2006., str. 37-45.
- /11/ Novaković D., Stanarević D., Analiza vremena mašinskih zastoja na rotornim bagerima i praktične smernice za njihovo smanjenje, MAREN'06, Beograd 2006., str. 426-431.
- /12/ Tanasijević M., Sigurnost funkcionisanja mehaničkih komponenti rotornog bagera, doktorska teza, RGF Beograd 2007.

MODEL FOR ANALYSIS AND SYNTHESIS OF DEPENDABILITY PERFORMANCE

Implementation of dependability performance was described in detail by standard ISO-IEC 300. In this paper possibility of dependability synthesis and analysis based to fuzzy sets theory is presented. Such conceptual and mathematic approach is appropriate for investigation and absorption of information related to machines' quality of service. Quality of service is analyzed primarily regard to logistics' indicators, but also regard to design

characteristics. Although these indicators and characteristics can be obtained as quantitative parameters, their most practical evaluation is by utilization of experts' opinions and judgments, i.e. by sublimated knowledge and experience use. Example for utilization of proposed conceptual approach to functionality of mechanical systems at bucket wheel excavator is presented in this paper. However, proposed model, without significant modification, is applicable to others complex technical systems.

Key words: dependability, fuzzy sets, bucket wheel excavator



Euromaintenance 2008

Organised by **BEMAS**  in Brussels, April 8th-10th 2008

We are not going to  you to **Belgium** with



but **convince** you to participate
at an **ambitious** conference on **maintenance**

Target: at least 500 participants
75 speakers – 12 half-day workshops
Dedicated program per industry / specialty
45 minute sessions for efficient knowledge transfer
Practical case studies presented by leading Maintenance Managers throughout Europe

in the **heart** of Western European **industry**



The central hub in the Western European pipeline network



Easy access by road, light speed train and airplane

