

# ***Pouzdanost hidraulične instalacije mašina pomoćne mehanizacije – primena teorije fazi skupova i činjeničnog zaključivanja***

**Mr Miloš Tanasijević**  
**Rudarsko-geološki fakultet Beograd,**

**Doc.dr Dejan Ivezić**  
**Rudarsko-geološki fakultet Beograd,**

**Prof. dr Slobodan Ivković**  
**Rudarsko-geološki fakultet Beograd**

*Analiza performansi odgovarajućeg tehničkog sistema na bazi fazi skupova i sinteza tih informacija putem tzv. činjeničnog zaključivanja, pruža mogućnost dobijanja sveobuhvatne slike o ponašanju određenog tehničkog sistema. Osnovni uslov je mogućnost razlaganja sistema po odgovarajućim hijerarhijskim nivoima, koji je skoro uvek ispunjen, i posedovanje odgovarajućeg inženjerskog i ekspertskeg iskustva u radu i održavanju tehničkih sistema. Drugi uslov takodje se može smatrati ispunjenim na primeru analize pouzdanosti u radu hidraulične instalacija na pomoćnoj mehanizaciji površinskih kopova lignita EPS-a.*

*Ključne reči: hidraulična instalacija, pouzdanost, fuzzy skupovi, činjenično zaključivanje*

## **UVOD**

Sistemi kontinualne eksploatacije lignita na površinskim kopovima EPS-a predstavljaju čestu temu za analizu parametara pouzdanosti, pogodnosti održavanja isl. Podršku ovakvim mašinama u procesu eksploatacije daju mašine koje spadaju u tzv. pomoćnu mehanizaciju, i to su najčešće utovarači, buldozeri, grejderi, cevopolagači, hidraulični bageri isl. Sa druge strane, istraživanja ovih mašina, u navedenom smislu, su dosta manje zastupljenja i to pre svega zbog njihove daleko niže jedinične cene. Medjutim uticaj mašina pomoćne mehanizacije često ima presudan značaj za efikasno izvršenje pojedinih tehnoloških operacija.

Jedan od ključnih podsistema kod navedenih mašina je hidraulična instalacija i njen eventualni otkaz izazvao bi i otkaz cele mašine. U tom smislu istraživanje pouzdanosti hidrauličkog sistema može da se okarakterise kao izuzetno važno za efikasan rad sistema eksploatacije na površinskom kopu.

## **ISTRAŽIVANJE POUZDANOSTI**

Stvaranje slike o ponašanju tehničkih sistema u procesu rada, predstavlja izmedju ostalog i proces kvantitativnog istraživanja pouzdanosti datog sistema, odnosno njenih komponenata i uslovljeno je posedovanjem svih relevantnih podataka o ponašanju sistema kako u eksploataciji tako i u procesu održavanja. Navedeni podaci se prikupljaju na osnovu uspostavljenog informacionog sistema koji podržava posmatrani tehnički sistem. Nekoliko godina posle početka eksploatacije sistema BTO u Srbiji počela su detaljnija istraživanja eksploatacione pouzdanosti sistema eksploatacije lignita u celini, ili pojedinih mašina u sistemu, pa i pojedinih funkcionalnih grupa i sklopova. Istraživanja su vršena na bazi dispečerskih podataka o radu i zastojima mašina, ali i na osnovu posebnih praćenja u svrhu određenog istraživanja. Dispečerski podaci, naime, nisu najpovoljniji za ovu vrstu istraživanja, zbog uopštenosti i većeg broja nepreciznog beleženja o tome šta se stvarno dogodilo. Takodje, pored ovakvog redovnog praćenja ponašanja mašina, organizovana su i posebna praćenja, i to za one delove sistema, za koje se na osnovu redovnih praćenja utvrdi da najviše doprinose zastojima. U svakom slučaju precizno, eksploataciono istraživanje

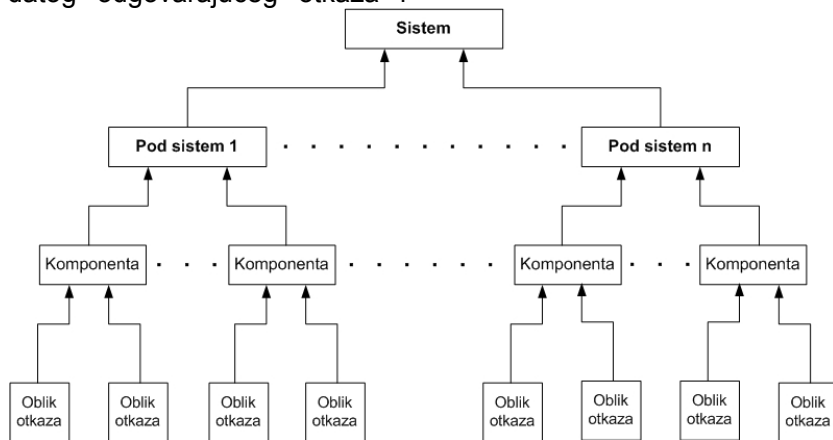
pouzdanosti na bazi eksplicitnih podataka prvenstveno o trajanju vremena u radu, nije lako ostvarivo. Da bi se došlo do realne slike o pouzdanosti određenog tehničkog sistema, pored tradicionalno korišćene kvantitativne ocena u obliku funkcije pouzdanosti koja se dobija adekvatnom obradom pomenutih podataka na bazi teorije verovatnoće, treba uzeti u obzir i iskustva zaposlenih kako na eksploataciji tako i na održavanju datih sistema. Iskustva, odnosno ekspertske procene prirodno se daju u obliku lingvističkih opisa u adekvatnom sistemu vrednovanja. Nije neophodno posebno isticati vrednost ovakvih iskustava u analizi upotrebnog kvaliteta, pouzdanosti i sl. nekog tehničkog sistema. Snaga ovakve ekspertske procene u analizi pouzdanosti je mogućnost sagledavanja i posledice pojave otkaza a ne samo verovatnoću pojave otkaza, odnosno pokazatelja koji teško da mogu kvantitativno da se opišu. Na taj način može da se dobije kompleksna ocena pouzdanosti sistema praktično sa stanovišta bezbednosti u radu, s obzirom na sagledani uticaj posledice.

U ovom radu za sintetizu datih ekspertskih ocena, odnosno za davanje konačne ocene ukupne pouzdanosti (termin koji će se uslovno koristiti da opiše pomenutu bezbednost u radu) datog sistema, koristi se teorija fazi skupova. Ekspertske ocene su date kroz tzv. lingvističke promenljive i koristiće se da opišu verovatnoću pojave određenog otkaza, ozbiljnost posledice usled pojave datog odgovarajućeg otkaza i

verovatnoću pojave posledice datog otkaza. Sinteza se zasniva na hijerarhijskoj strukturi, gde svaki tehnički sistem može da se razloži na odgovarajući broj od  $n$  podistema, dalje svaki podsystem na odgovarajući broj komponenti, pri čemu je za svaku navedenu komponentu karakterističan jedan ili više odgovarajućih oblika otkaza (slika 1.) koji se praktično inicijalno analiziraju i opisuju na osnovu teorije fazi skupova.

Kao što je pomenuto, za dati podsystem karakteristično je više oblika otkaza, te je neophodno da se izvrši dalja sinteza ocena do nivoa podsystema, odnosno celog hidrauličnog sistema. Sinteza se vrši na principima činjeničnog zaključivanja (eng. Evidential Reasoning), u daljem tekstu ER algoritam, odnosno agregatnim razmatranjem svakog pojedinačnog stanja otkaza koje karakteriše dati podsystem odnosno celokupni hidralični sistem. Suština ER algoritma je da je neka pretpostavka verovatnija ukoliko je više činjenica potkrepljuje, koja je operacionalizovana je ovom algoritmu i omogućava da se istovremeno procesiraju i precizni podaci i subjektivne ocene.

Karakteristično za ovakav pristup (za razliku od recimo višeatributivnog odlučivanja) je što se kvalitativni smisao promenljivih pri sintezi ocena elemenata od nivoa komponenti pa dalje preko podsystema ili celog sistema, pri tome ne gubi, odnosno i rezultat ostaje u lingvističkom obliku koji je definisan odgovarajućim funkcijama pripadnosti.



Slika 1: Hijerarhijska struktura tehničkog sistema korišćena za procenu pouzdanosti

### FORMIRANJE FAZI SKUPOVA

Analiza pouzdanosti odnosno verovatnoće pojave određenog otkaza, ozbiljnosti posledice usled pojave datog otkaza i verovatnoće pojave posledice datog otkaza, se dakle procenjuju za svaki oblik otkaza u sistemu vrednovanja prik-

zanom kroz sliku 2., odnosno kroz pripadnost odgovarajućem fazi skupu (upotrebljeni su trapezni fazi skupovi) koji je opet definisan funkcijom pripadnosti kroz sedam klasa pripadnosti. Ovde je klasa uvedena kao pojam koji praktično predstavlja jedinicu mere kojom se ocenjuju navedene lingvističke promenljive (1. klasa je najkvalitetnija, tj. najmanja verovatnoća pojave

otkaza sa najmanjim rizikom itd. ...), dok je uzeto sedam klasa, jer se to smatra kao maksimalan broj racionalno sagledljivih ocena koje čovek može da razgraniči u datom trenutka /1/.

Sintezom ocena određene komponente za promenljive  $L_i$ ,  $C_i$  i  $E_i$ , dobija se ocena pouzdanosti  $R_i$  date komponente, kompozicijom za date funkcije pripadnosti za skup  $C_i$  za kartenzijanski proizvod skupova  $E$  i  $L$  (iz teorije fazi skupova /3/), na sledeći način:

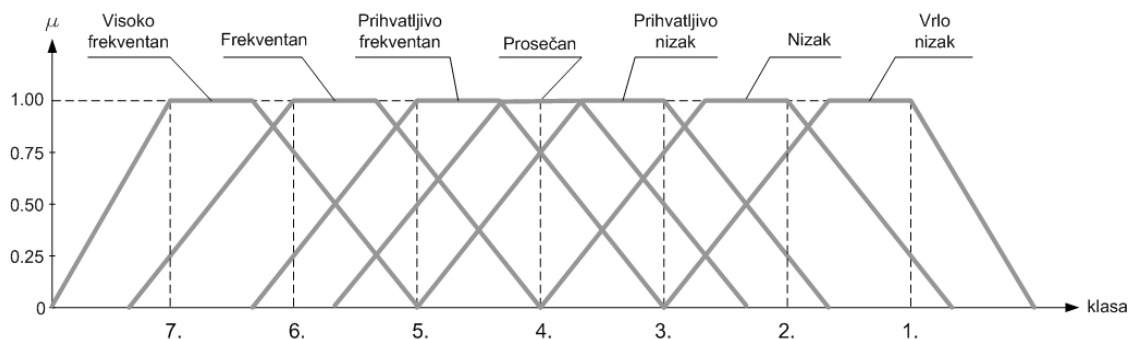
$$R_i = C_i \circ E_i \times L_i \quad (1)$$

Funkcija pripadnosti za skup  $R$  može biti dobijena na sledeći način:

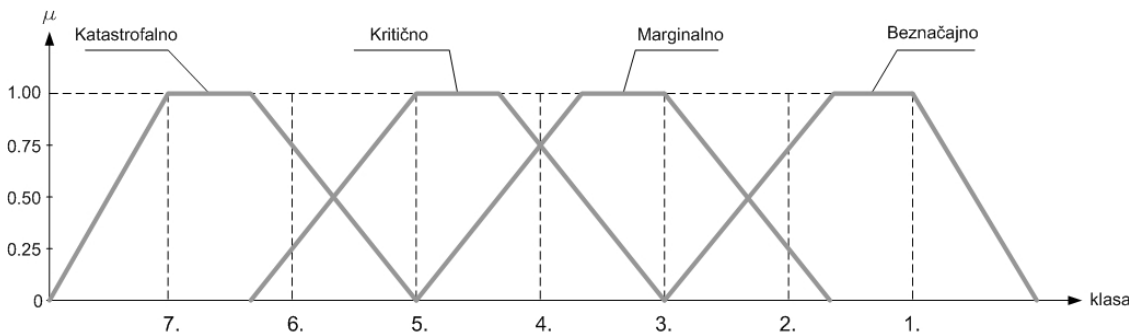
$\mu_R = \mu_{C \circ E \times L} = (\mu^j_R)_{1 \times n}$ , - gde je u ovom slučaju:

$$\mu^j_R = \max \left( \min(\mu^1_C, \mu^{1j}_{ExL}), \dots, \min(\mu^n_C, \mu^{nj}_{ExL}) \right), j = 1, 2, \dots, n.$$

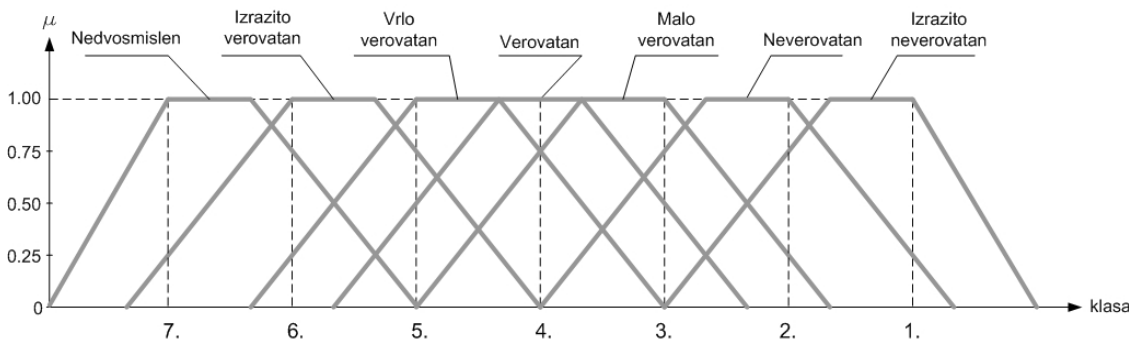
Na slikama 2a, 2b i 2c prikazani su fazi skupovi sa označenim klasama.



Slika 2a: Verovatnoća pojave otkaza -  $L_i$  -



Slika 2b: Ozbiljnost posledice -  $C_i$  -



Slika 2c: Verovatnoća pojave posledice otkaza -  $E_i$  -

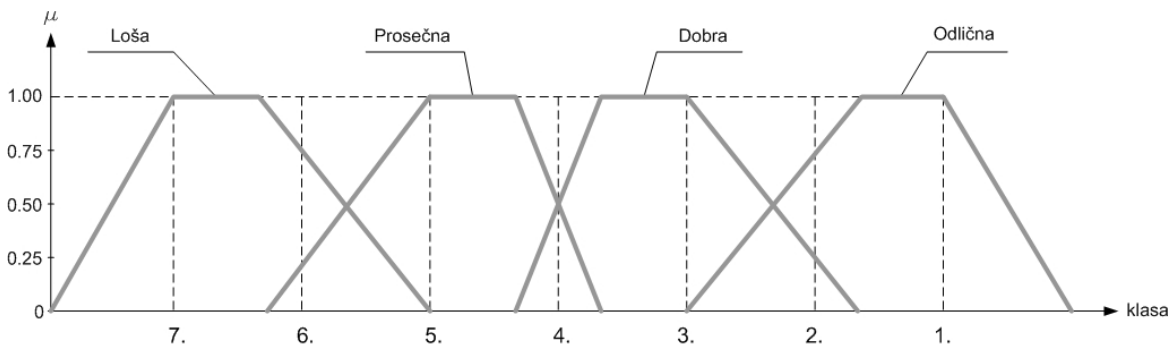
Navedena kombinacija operacija sa fazi skupovima, često se u literaturi navodi kao "max-min" metoda. Ocena pouzdanosti odgovarajuće komponente nekog tehničkog sistema prema odgovarajućem obliku otkaza, po izloženom modelu dobija se u sledećem obliku:

$R$  (određeni oblik otkaza) =  $\{1/(0...1.0), 2/(0...1.0), 3/(0...1.0), 4/(0...1.0), 5/(0...1.0), 6/(0...1.0), 7/(0...1.0)\}$

Pouzdanost razmatrane komponente je takođe data u "fazi" obliku preko odgovarajućih funkcija pripadnosti ( $\mu = (0...1.0)$ , odnosno  $0 \leq \mu \leq 1$ )

datim klasama, na način prikazan na slici 3. Fazi skupovi su trapeznog nesimetričnog oblika, sa sledećim karakteristikama:

- loše je opisano samo kao pripadajuća veličina koja se odnosi na klase 6 i 7;
- odlično je opisano samo kao pripadajuća veličina koja se odnosi na klase 1 i 2;
- funkcije pripadnosti dobro i prosečno nisu simetrične i odnose se na klase 3 i 5 respektivno, i ustvari one se nešto više protežu na klasu 4.



Slika 3: Fazi skupovi ukupne pouzdanosti sa označenim klasama

$$d_{i1}(R_i, loš) = \sqrt{\sum_{j=1}^7 (\mu^j_{R_i} - \mu^j_{loš})^2}$$

$$d_{i4}(R_i, odlič.) = \sqrt{\sum_{j=1}^7 (\mu^j_{R_i} - \mu^j_{odlič.})^2}$$

Navedene vrednosti dalje se relativiziraju u odnosu na najmanju vrednost, i konačno normalizuju na vrednost f. je pripadnosti  $\mu_{ij}$ , za

$$\sum_{j=1}^n \mu_{ij} = 1.$$

Na osnovu izloženog modela, dobija se ukupna pouzdanost u odnosu na mogućnost pojave odgovarajućeg oblika otkaza, u sledećem obliku:

$$R(\text{oblik otkaza, podsistem}) = \{(\mu_{ij1}, \text{"loše"}), (\mu_{ij2}, \text{"prosečno"}), (\mu_{ij3}, \text{"dobro"}), (\mu_{ij4}, \text{"odlično"})\}$$

### Sintezna procena pouzdanosti korišćenjem hijerarhijskog ER algoritma

Kako je ranije objašnjeno, uslovno rečeno pouzdanost komponente je određena pridruženim oblikom otkaza. Ako komponenta ima samo jedno stanje otkaza čija je pouzdanost apsolutno procenjena kao dobra, onda će i pouzdanost komponente biti dobra. Generalno, odgovarajuća komponenta može imati više stanja otkaza. Ako su nivoi pouzdanosti koji se tiču datog oblika otkaza svi apsolutno ( $\mu=1.0$ ) procenjeni kao dobri onda će i ukupna

U sledećem koraku, funkcija pouzdanosti koja daje stepene pripadnosti razmatranim klasama, transformiše se u oblik koji definiše stepen pripadnosti fazi skupovima: loš, prosečan, dobar i odličan. Postupak se često naziva identifikacija, odnosno u ovom slučaju identifikacija pouzdanosti. Metoda koju koristi postupak identifikacije, naziva se "best-fit" i koristi rastojanje izmedju dobijene vrednosti stepena pripadnosti  $\mu$  metodom "max-min" i vrednosti date za fazi skupove pouzdanosti (slika 3.).

pouzdanost komponente biti dobra. Na žalost, takva tačna i konzistentna procena se teško može očekivati u stvarnoj analizi pouzdanosti. Problem se onda javlja u tome kako sintetizovati neodređne i nekonzistentne ocene pouzdanosti svih oblika otkaza date komponente, da bi se dobila njegoja ukupna pouzdanost. Problem se maksimalno upoštava, ukoliko je potrebno odrediti pouzdanost sistema sa hijerarhijskom strukturom prikazanom na slici 1. Kako je ranije objašnjeno, neophodno je ostvariti proces hijerarhijske evaluacije da bi se na prihvatljiv način rešili takvi problemi.

Ovaj evaluacijski proces je zasnovan na D-S teoriji (Dempster-Shafer theory), koja je vrlo pogodna za postupanje sa nepotpunom ocenom neodređenosti. D-S teorija opisuje blizinu skupa hipoteza u zavisnosti od prikupljenih dokaza. Drugim rečima, verovatnije je da je data hipoteza istinita ukoliko više pojedinačnih dokaza podržavaju tu hipotezu. Pouzdanost komponente, bilo da je odlična, dobra, prosečna ili loša, može se smatrati za hipotezu (pretpostavku). Dobijena ocena pouzdanosti jedan oblik otkaza može smatrati za jedan, pojedinačni deo dokaza ocene. Ukoliko je pouzdanost vezana za odgovarajući oblik otkaza do izvesnog stepena procenjena kao dobra, onda će pouzdanost vezana za komponentu u kojoj se može javiti taj otkaz biti u nekoj meri takođe dobra. Proces hijerarhijske evaluacije obezbe-

đuje sistematski pristup sintezi takvih neodređenih ocena pouzdanosti višestrukih stanja otkaza u cilju dobijanja ocene za komponentu na koju se odnose.

Za primenu D-S teorije, uslovi međusobne isključivosti i iskorišćenosti (iscrpljenosti) svih hipoteza je neophodno da budu zadovoljeni. Zbog toga je neophodno da sve lingvističke promenljive koje opisuju pouzdanost sistema budu definisane kao odvojeni nivoi. tj., ako je jedna promenljiva apsolutno sigurna (potvrđena), sve ostale su apsolutno nesigurne; ukoliko je više od jedne promenljive istovremeno sigurno, ukupni uslovno rečeno stepen sigurnosti je manji ili jednak jedinici. Lingvističke promenljive definisane kroz sliku 2./3. zadovoljavaju zahteve isključivosti i iskorišćenosti. Ovo dozvoljava da koristimo ER algoritam razvijen za potrebe sinteze neodređenih ocena pouzdanosti, generisanih za odgovarajuće oblike otkaza korišćenjem fazi skupova (sl. 2./3.).

Konkretno, pouzdanost i-tog podsistema/sistema dobija se u obliku:

$$R(i) = \{(\mu_{si}^j, H_j), j = 1..N\}$$

Veličina H predstavlja skup lingvističkih promenljivih za opis pouzdanosti i neka je H<sub>j</sub> j-ta lingvistička promenljiva:

$H = \{H_1, \dots, H_j, \dots, H_N\}$ , gde je N broj lingvističkih promenljivih.

U konkretnom primeru H za ukupnu pouzdanost ima sledeći oblik:

$$H = \{\text{loš, prosečan, dobar, odličan}\}$$

Veličina  $\mu_{ki}^j$  predstavlja f-ju pripadnosti datom fazi skupu pouzdanosti, i za neki oblik otkaza L<sub>k</sub> (ili podsistem s u drugom koraku sinteze), dobija se na sledeći način:

$$\{H_j\}: \mu_n^j = m^j_{1k(i+1)} / (1 - m^j_{1k(i+1)}), j = 1, \dots, N$$

$$\{H\}: \mu_H^j = m^H_{1k(i+1)} / (1 - m^H_{1k(i+1)})$$

- gde je:

$$\{H_j\}: m^j_{1k(i+1)} = K_{1k(i+1)} (m^j_{1k(i)} m^j_{1k(i+1)} + m^j_{1k(i)} m^H_{1k(i+1)} + m^H_{1k(i)} m^H_{1k(i+1)}), j = 1, \dots, N$$

$$\{H\}: m^H_{1k(i+1)} = K_{1k(i+1)} m^H_{1k(i)} m^H_{1k(i+1)},$$

$j = 1, \dots, N$

$$K_{1k(i+1)} = \left[ 1 - \sum_{n=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N m^n_{1k(i)} m^j_{1k(i+1)} \right]^{-1}, i = 1, \dots, L_{k-1}$$

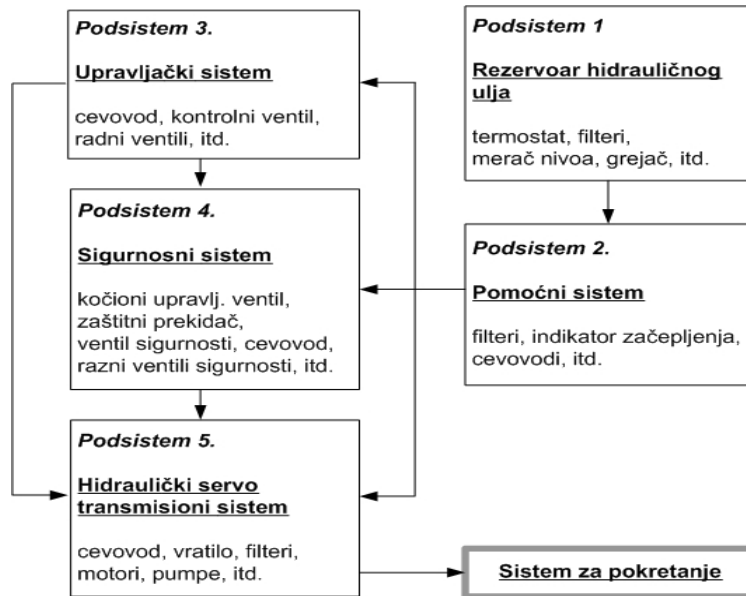
Veličina  $m^j_{ki}$  je realan broj, koji se odnosi na iznos stepena poverenja (osnovne verovatnoće) i predstavlja stepen u kome dobijena ocena pouzdanosti i - tog oblika otkaza podržava hipotezu da je pouzdanost k-te komponente sigurno H<sub>j</sub>. Onda,  $m^j_{ki}$  se dobija kao proizvod:

$$m^j_{ki} = \lambda^k_i \times \mu^i_j,$$

Neka je  $\lambda^k_i$  normalizovan relativni težinski ponder stanja otkaza i pri oceni komponente k, dobijen na bazi ekspertske procene, u intervalu  $0 \leq \lambda^k_i \leq 1$ .

### PRIMER: HIDRAULIČNI PRENOSNI SISTEM

Hidraulični prenosni sistemi mašina tzv. pomoćne mehanizacije na kopovima uglja su u suštini identični, pogotovu ako se radi o različitim mašinama istog proizvođača. Funkcionalna šema ovakvog sistema je prikazana na slici 4. Ovaj sistem se koristi za upravljanje pokretanjem radnog organa mašina, npr. utovarnom lopatom, kašikom, plugom, odnosno operacijama dizanja ili spuštanja, kao i eventualnog zakretanja, pražnjenja. Navedeni sistem se sastoji od pet podsistema: rezervoara hidrauličnog ulja, pomoćnog sistema, upravljačkog sistema, sigurnosnog sistema i hidrauličnog servo transmisionog sistema. Za svaki podsistem je moguće definisati nekoliko karakterističnih vrsta - oblika otkaza. Pojava svake pomenute vrste otkaza, vezane za odgovarajući podsistem može rezultovati nizom mogućih posledica u sklopu, sa odgovarajućom ozbiljnošću i verovatnoćom pojave odgovarajuće posledice određenog otkaza, zavisno od prirode oblika otkaza i međusobnog uticaja samih podsistema. Pri tome ocenu pouzdanost vezanu za stanje otkaza svakog podsistema, dodatno usložnjava to što mašine rade u promenljivim radnim uslovima.



Slika 4: Shema hidrauličkog prenosnog sistema

Stanja otkaza se mogu identifikovati za svaku pojedinu komponentu sistema, na osnovu strukture sistema datog shemom na slici 4. Za rezervoar hidrauličnog ulja (podsistem 1) identifikovana su četiri stanja otkaza: otkaz merača nivoa, neadekvatna temperatura ulja (previsoka ili preniska), curenje ulja, nedovoljna količina ulja u izlaznom cevovodu. Za prvonavedeni oblik otkaza - otkaz merača nivoa (1MN), gde se identifikuju verovatnoća pojave otkaza na nivou "prihvatljivo nizak", ozbiljnost posledice  $C1_{MN}$  je razmotrena na nivou "marginalan" i verovatnoća pojave posledice usled otkaza merača nivoa  $E1_{MN}$  razmatrana je na nivou "malo verovatan". Na osnovu slike 2., verovatnoća pojave otkaza  $L1_{MN}$  je modelirana kao:

$$L1_{MN} = \{1/0, 2/0.25, 3/1.0, 4/0.75, 5/0, 6/0, 7/0\}$$

$$C1_{MN} = \{1/0, 2/0.25, 3/1.0, 4/0.75, 5/0, 6/0, 7/0\}$$

$$E1_{MN} = \{1/0, 2/0.25, 3/1.0, 4/0.75, 5/0, 6/0, 7/0\}$$

Fazi ocena pouzdanosti rezervoara ulja, s obzirom na otkaz merača nivoa se sada može odrediti na osnovu izraza (1), na sledeći način:

$$R1_{MN} = C1_{MN} \circ E1_{MN} \times L1_{MN} = \{1/0, 2/0.25, 3/1.0, 4/0.75, 5/0, 6/0, 7/0\},$$

Dobijeni rezultat predstavlja ocenu pouzdanosti preko definisanih klasa, čija transformacija u funkcije pripadnosti fazi skupa pouzdanost, daje informaciju o pouzdanosti rezervoara ulja s obzirom na otkaz merača nivoa:

$$R1(MN) = \{(0.09603, \text{"loše"}), (0.11592, \text{"prosečno"}), (0.68581, \text{"dobro"}), (0.10223, \text{"odlično"})\}$$

$$\lambda1_{MN} = 0.46$$

U daljem tekstu daju se prikaz ostalih oblika otkaza za sve podsisteme sa f-jama pripadnosti samo za ukupnu pouzdanost, izraženo analogno kao i za merač ulja.

- neadekvatna temperatura ulja (1NT):

$$L1_{NT} = \text{Prihvatljivo nizak}, C1_{NT} = \text{Beznačajan}, E1_{NT} = \text{Malo verovatan}$$

$$R1(NT) = \{(0.20061, \text{"loše"}), (0.23737, \text{"prosečno"}), (0.33569, \text{"dobro"}), (0.22632, \text{"odlično"})\}$$

$$\lambda1_{NT} = 0.92$$

- curenje ulja (CU)

$$L1_{CU} = \text{Nizak}, C1_{CU} = \text{Marginalan}, E1_{CU} = \text{Verovatan}$$

$$R1(CU) = \{(0.17513, \text{"loše"}), (0.18368, \text{"prosečno"}), (0.36737, \text{"dobro"}), (0.27382, \text{"odlično"})\}$$

$$\lambda1_{CU} = 0.92$$

- nedovoljna količina ulja u izlaznom cevovodu (NK)

$$L1_{NK} = \text{Nizak}, C1_{NK} = \text{Beznačajan}, E1_{NK} = \text{Izrazito neverovatan}$$

$$R1(NK) = \{(0.18103, \text{"loše"}), (0.18858, \text{"prosečno"}), (0.33380, \text{"dobro"}), (0.29659, \text{"odlično"})\}$$

$$\lambda1_{NK} = 0.23$$

- Ukupna pouzdanost za rezervoar hidrauličnog ulja (podsistem 1)

$$R1 = \{(0.1638, \text{"loše"}), (0.1855, \text{"prosečno"}), (0.4272, \text{"dobro"}), (0.2235, \text{"odlično"})\}$$

$$\lambda1 = 0.24$$

### **Pomoćni sistem (podsystem 2)**

- zaprljanost (ZP)

$L_{2ZP}$  = Prihvatljivo frekventan,  $C_{2ZP}$  = Marginalan,  $E_{2ZP}$  = Malo verovatan

$R2(ZP)$  = {(0.0223, "loše"), (0.68581, "prosečno"), (0.11592, "dobro"), (0.09603, "odlično")}

$\lambda_{2ZP} = 0.25$

- zagušenje filtera (ZF)

$L_{2ZF}$  = Nizak,  $C_{2ZF}$  = Marginalan,  $E_{2ZF}$  = Malo verovatan

$R2(ZF)$  = {(0.18103, "loše"), (0.18858, "prosečno"), (0.33380, "dobro"), (0.29659, "odlično")}

$\lambda_{2ZF} = 0.25$

- nefunkcionisanje indikatora začepljenja (NI)

$L_{2NI}$  = Prihvatljivo nizak,  $C_{2NI}$  = Marginalan,  $E_{2NI}$  = Neverovatan

$R2(NI)$  = {(0.09603, "loše"), (0.11592, "prosečno"), (0.68581, "dobro"), (0.10223, "odlično")}

$\lambda_{2NI} = 0.25$

- nedovoljna količina ulja na izlaznom cevovodu (NK)

$L_{2NK}$  = Prihvatljivo nizak,  $C_{2NK}$  = Marginalan,  $E_{2NK}$  = Neverovatan

$R2(NK)$  = {(0.09603, "loše"), (0.11592, "prosečno"), (0.68581, "dobro"), (0.10223, "odlično")}

$\lambda_{2NK} = 0.25$

- znatno curenje (ZC)

$L_{2ZC}$  = Nizak,  $C_{2ZC}$  = Marginalan,  $E_{2ZC}$  = Malo verovatan

$R2(ZC)$  = {(0.18103, "loše"), (0.18858, "prosečno"), (0.33380, "dobro"), (0.29659, "odlično")}

$\lambda_{2ZC} = 0.8$

- pumpa za upravljanje ne radi (PU)

$L_{2PU}$  = Nizak,  $C_{2PU}$  = Marginalan,  $E_{2PU}$  = Malo verovatan

$R2(PU)$  = {(0.18103, "loše"), (0.18858, "prosečno"), (0.33380, "dobro"), (0.29659, "odlično")}

$\lambda_{2ZP} = 0.8$

- Ukupna pouzdanost za pomoćni sistem (podsystem 2)

$R2 =$  {(0.1458, "loše"), (0.2127, "prosečno"), (0.3970, "dobro"), (0.2444, "odlično")}

$\lambda_2 = 0.24$

### **Upravljački sistem (podsystem 3)**

- znatno curenje (ZC)

$L_{3ZC}$  = Nizak,  $C_{3ZC}$  = Kritičan,  $E_{3ZC}$  = Vrlo verovatan

$R3(ZC)$  = {(0.18103, "loše"), (0.18858, "prosečno"), (0.33380, "dobro"), (0.29659, "odlično")}

$\lambda_{3ZC} = 0.8$

- nedovoljna količina ulja na izlaznom cevovodu (NK)

$L_{3NK}$  = Prihvatljivo frekventan,  $C_{3NK}$  = Beznačajan,  $E_{3NK}$  = Neverovatan

$R3(NK)$  = {(0.13417, "loše"), (0.58484, "prosečno"), (0.15630, "dobro"), (0.12469, "odlično")}

$\lambda_{3NK} = 0.2$

- nema odgovarajućeg izlaza kad se zahteva (NI)

$L_{3NI}$  = Prihvatljivo frekventan,  $C_{3NI}$  = Marginalan,  $E_{3NI}$  = Verovatan

$R3(NI)$  = {(0.13417, "loše"), (0.58484, "prosečno"), (0.15630, "dobro"), (0.12469, "odlično")}

$\lambda_{3NI} = 0.4$

- izlazni ventil pri upravljanju spuštanjem ne može da se zatvori kada je potrebno (IS)

$L_{3IS}$  = Nizak,  $C_{3IS}$  = Katastrofalan,  $E_{3IS}$  = Verovatan

$R3(IS)$  = {(0.23911, "loše"), (0.26089, "prosečno"), (0.26089, "dobro"), (0.23911, "odlično")}

$\lambda_{3IS} = 0.8$

- izlazni ventil pri upravljanju dizanjem ne može da se zatvori kada je potrebno (ID)

$L_{3ID}$  = Prosečan,  $C_{3ID}$  = Katastrofalan,  $E_{3ID}$  = Verovatan

$R3(ID)$  = {(0.23911, "loše"), (0.26089, "prosečno"), (0.26089, "dobro"), (0.23911, "odlično")}

$\lambda_{3ZC} = 0.8$

- Ukupna pouzdanost za upravljački sistem (podsystem 3)

$R3 =$  {(0.1962 "loše"), (0.2992, "prosečno"), (0.2767, "dobro"), (0.22279 "odlično") }

$\lambda_3 = 0.8$

### **Sigurnosni sistem (podsystem 4)**

- otkaz sklopke za preopterećenje (OS)

$L_{4OS}$  = Prihvatljivo nizak,  $C_{4OS}$  = Marginalan,  $E_{4OS}$  = Verovatan

$R4(OS) = \{(0.12469, \text{"loše"}), (0.15630, \text{"prosečno"}), (0.58484, \text{"dobro"}), (0.13417, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{4OS} = 0.32$

- otkaz uređaja za vraćanje pri podizanju (OU)

$L_{4ou} = \text{Nizak}, C_{4ou} = \text{Katastrofalan}, E_{4ou} = \text{Verovatan}$

$R4(ou) = \{(0.23911, \text{"loše"}), (0.26089, \text{"prosečno"}), (0.26089, \text{"dobro"}), (0.23911, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{4OU} = 0.32$

- prestanak napajanja (PN)

$L_{4PN} = \text{Prihvatljivo frekventan}, C_{4PN} = \text{Beznačajan}, E_{4PN} = \text{Neverovatan}$

$R4(PN) = \{(0.13417, \text{"loše"}), (0.58484, \text{"prosečno"}), (0.15630, \text{"dobro"}), (0.12469, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{4PN} = 0.64$

- nedovoljna količina ulja na izlaznom cevovodu (NK)

$L_{4NK} = \text{Nizak}, C_{4NK} = \text{Katastrofalan}, E_{4NK} = \text{Izrazito verovatan}$

$R4(NK) = \{(0.17339, \text{"loše"}), (0.19828, \text{"prosečno"}), (0.41276, \text{"dobro"}), (0.21556, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{4NK} = 0.16$

- znatno curenje (ZC)

$L_{4ZC} = \text{Nizak}, C_{4ZC} = \text{Katastrofalan}, E_{4ZC} = \text{Vrlo verovatan}$

$R4(ZC) = \{(0.20373, \text{"loše"}), (0.22005, \text{"prosečno"}), (0.28811, \text{"dobro"}), (0.28811, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{4ZC} = 0.64$

- otkaz graničnika pri podizanju (OP)

$L_{4OP} = \text{Nizak}, C_{4OP} = \text{Katastrofalan}, E_{4OP} = \text{Verovatan}$

$R4(OP) = \{(0.23911, \text{"loše"}), (0.26089, \text{"prosečno"}), (0.26089, \text{"dobro"}), (0.23911, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{4OP} = 0.64$

- otkaz graničnika pri spuštanju (OS)

$L_{4os} = \text{Nizak}, C_{4OS} = \text{Katastrofalan}, E_{4OS} = \text{Malo verovatan}$

$R4(OS) = \{(0.23911, \text{"loše"}), (0.26089, \text{"prosečno"}), (0.26089, \text{"dobro"}), (0.23911, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{4OS} = 0.64$

- neispravnost prekidača za niske pritiske podizanja (NP)

$L_{4NP} = \text{Vrlo nizak}, C_{4NP} = \text{Katastrofalan}, E_{4NP} = \text{Verovatan}$

$R4(NP) = \{(0.23911, \text{"loše"}), (0.26089, \text{"prosečno"}), (0.26089, \text{"dobro"}), (0.23911, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{4NP} = 0.32$

- Ukupna pouzdanost za sigurnosni sistem (podsystem 4)

$R4 = \{(0.1935, \text{"loše"}), (0.3000, \text{"prosečno"}), (0.2964, \text{"dobro"}), (0.2101, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_4 = 0.48$

### **Hidraulični servo transmisioni sistem (podsystem 5)**

- znatno curenje (ZC)

$L_{5ZC} = \text{Prihvatljivo nizak}, C_{5ZC} = \text{Katastrofalan}, E_{5ZC} = \text{Vrlo verovatan}$

$R5(ZC) = \{(0.20061, \text{"loše"}), (0.23737, \text{"prosečno"}), (0.33569, \text{"dobro"}), (0.22632, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{5ZC} = 0.88$

- nedovoljna količina ulja na izlaznom cevovodu (NK)

$L_{5NK} = \text{Prihvatljivo frekventan}, C_{5NK} = \text{Beznačajan}, E_{5NK} = \text{Neverovatan}$

$R5(NK) = \{(0.13417, \text{"loše"}), (0.58484, \text{"prosečno"}), (0.15630, \text{"dobro"}), (0.12469, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{5NK} = 0.21$

- lom vratila (LV)

$L_{5LV} = \text{Nizak}, C_{5LV} = \text{Katastrofalan}, E_{5LV} = \text{Izrazito verovatan}$

$R5(LV) = \{(0.17513, \text{"loše"}), (0.18638, \text{"prosečno"}), (0.36737, \text{"dobro"}), (0.27382, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{5LV} = 0.44$

- motor ne daje izlaz (MN)

$L_{5MN} = \text{Frekventan}, C_{5MN} = \text{Katastrofalan}, E_{5MN} = \text{Verovatan}$

$R5(MN) = \{(0.23911, \text{"loše"}), (0.26089, \text{"prosečno"}), (0.26089, \text{"dobro"}), (0.23911, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{5MN} = 0.44$

- hidraulično prelivanje (HP)

$L_{5HP} = \text{Nizak}, C_{5HP} = \text{Katastrofalan}, E_{5HP} = \text{Nedvosmislen}$

$R5(HP) = \{(0.18103, \text{"loše"}), (0.18858, \text{"prosečno"}), (0.33380, \text{"dobro"}), (0.29659, \text{"odlično"})\}$

$\lambda_{5HP} = 0.44$



- blokada motora (BM)

$L_{5_{BM}}$  = Nizak,  $C_{5_{BM}}$  = Marginalan,  $E_{5_{BM}}$  = Malo verovatan

$R_5(BM)$  = {(0.17513, "loše"), (0.18368, "prosečno"), (0.36737, "dobro"), (0.27382, "odlično")}

$\lambda_{5_{BM}} = 0.44$

- pucanje cevi (PC)

$L_{5_{PC}}$  = Vrlo nizak,  $C_{5_{PC}}$  = Katastrofalan,  $E_{5_{PC}}$  = Izrazito verovatan

$R_5(PC)$  = {(0.10257, "loše"), (0.10771, "prosečno"), (0.11709, "dobro"), (0.67263, "odlično")}

$\lambda_{5_{PC}} = 0.21$

- Ukupna pouzdanost za hidraulični servo transmisioni sistem (podsystem 5)

$R_5 = \{(0.1795, "loše"), (0.2297, "prosečno"), (0.3165, "dobro"), (0.2744, "odlično")\}$

$\lambda_5 = 0.98$

Ukupna pouzdanost celokupnog hidrauličnog sistema (sačinjen od podistema: 1.,...,5.)

$R = \{(0.1765, "loše"), (0.2568, "prosečno"), (0.3245, "dobro"), (0.2423, "odlično")\}$

Na osnovu iznesenih rezultata, jasno je da četiri sistema (tj. rezervoar hidrauličnog ulja, pomoćni sistem, zaštitni sistem i hidraulični servo transmisioni sistem) u najvećoj meri su procenjeni sa "dobrim". Na primer, rezervoar hidrauličnog ulja je procenjen sa "dobrim" sa poverenjem od 42.72 %, pomoćni sistem u meri 39.70%, servo sistem u meri 32.45%, dok upravljački sistem i sigurnosni sistem su ocenjeni u najvećoj meri sa "prosečno" i u nešto manjoj meri sa "dobro". Pošto je pouzdanost hidrauličnog prenosnog sistema određena pouzdanošću podistema u sastavu, pouzdanost sistema trebalo bi da se oceni kao "dobra" u najvećoj meri. Ovo je i u skladu sa rezultatima koji su predstavljeni izrazom za pouzdanost celokupnog hidrauličnog prenosnog sistema, gde je pouzdanost procenjena sa "dobrom" u meri od 32.45%.

## ZAKLJUČAK

Korišćenje teorije fazi skupova i činjeničnog zaključivanja u analizi pouzdanosti tehničkih sistema, za razliku od drugih metoda analize, može da se okarakterise pre svega sa mogućnošću širokog ali i detaljnog razmatranja različitih elemenata koji definišu pouzdanost razmatranog sistema. Pri tome, istovremenim korišćenjem ekspertske procene u analizi ozbiljnosti posledice i verovatnoće

*Istraživanja i projektovanja za privredu 13/2006*

pojave ozbiljnosti date posledice, ali i klasične analize na osnovu teorije verovatnoće koja se može implementirati kroz ocenu verovatnoće pojave određenog oblika otakaza (u ovom radu izostavljena). Očigledno je da ovakav pristup analizi pouzdanosti daje sveobuhvatnu sliku o ponašanju određenog tehničkog sistema. Pri tome je ovo posebno značajno u procesu planiranja eksploatacije i održavanja navedenih tehničkih sistema, znajući za specifičnu cenu tehnološkog procesa eksploatacije uglja.

## LITERATURA

/1/ J. Wang, J. B. Yang, P. Sen, Multi-person and multi-attribute design evaluations using evidential reasoning based on subjective safety and cost analyses, *Reliability Engineering & System Safety*, 52(2), 113-128, 1996.

/2/ J.B. Yang, Y.M. Wang, D.L. Xu, K.S. Chin, The evidential reasoning approach for MADA under both probabilistic and fuzzy uncertainties, *European Journal of Operational Research*, 171(1), pp. 309-343, 2006.

/3/ P. Subašić, Fazi logika i neuronske mreže, Tehnička knjiga, 1997.

## **RELIABILITY OF HYDRAULIC INSTALLATION IN SERVICE MECHANIZATION – POSSIBILITY OF FUZZY SETS THEORY AND EVIDENTIAL REASONING APPLICATION**

*Performance analysis of technical systems by fuzzy sets utilization and synthesis of obtained information by evidential reasoning, give opportunity for deep understanding of considered technical system behavior. Basic condition, which is almost always satisfied, is possibility of system separation to different hierarchical levels. Another condition is appropriate experience of engineers and experts about technical system operation and maintenance. Second condition could be considered as satisfied for operation of hydraulic installation in Service Mechanization on open pit mines in the Public Company Serbian State Electricity.*

*Key words: Hydraulic Installation, Reliability, Fuzzy Sets, Evidential Reasoning*