

**ANALIZA OTKAZA GASNOG MOTORA****ANALYSIS OF GAS MOTOR FAILURE****Prof. dr Dobrivoje Čatić****Prof. dr Milan Despotović****Docent dr Vanja Šušteršić***Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac***REZIME**

*U radu su dati rezultati analize stabla otkaza gasnog motora. U prvom i drugom delu rada dat je kratak opis i postupak primene metode Analize stabla otkaza. Na osnovu dostupne literature izvršena je analiza strukture i načina funkcionisanja komponenti razmatranog objekta. Složenost gasnog motora uslovlila je poseban pristup pri formiranju i analizi stabla otkaza. U zaključku rada istaknut je značaj blagovremenog otkrivanja i otklanjanja potencijalnih uzroka otkaza gasnog motora.*

**Cljučne reči:** pouzdanost, analiza stabla otkaza, gasni motor

**SUMMARY**

*In this paper the results of gas motor fault tree analysis are presented. In the first two parts the brief description and procedure of fault tree analysis are given. On the basis of available literature the analysis of structure and kinds of functioning of observed object components is carried out. Complexity of gas motor caused particular approach in fault tree form and analysis. In conclusion the importance of duly detection and prevention of potential causes of gas motor failure is stressed.*

**Key words:** reliability, fault tree analysis, gas motor

**1. UVOD**

Za analizu otkaza elemenata tehničkih sistema najčešće se koristi metoda Analize stabla otkaza (Fault Tree Analysis – FTA) [1, 2]. To je deduktivna metoda kod koje se za definisani vršni događaj u obliku otkaza razmatrane strukturne celine ili sistema utvrđuju uzročni događaji koji do njega dovode. Osnovu analize stabla otkaza predstavlja prevodenje fizičkih sistema na strukturne logičke dijagrame.

Metoda Analize stabla otkaza razvijena je šezdesetih godina prošlog veka u SAD-u za analizu pouzdanosti i sigurnosti funkcionisanja sistema u vojnoj tehnici. Od svog nastanka do danas FTA je našla primenu za analizu otkaza najrazličitijih tehničkih sistema. Ova metoda je naročito pogodna za analizu pouzdanosti i sigurnosti sistema, čiji bi otkazi doveli do katastrofalnih posledica po ljude i životnu sredinu.

FTA najbolje rezultate daje u procesu razvoja novih proizvoda, jer se njenom primenom u startu

eliminšu ili smanjuju na najmanju moguću meru potencijalni uzroci otkaza. Uzročno definisanje stanja sistema koja dovode do otkaza može da se koristi za ocenu pogodnosti održavanja i za izradu plana održavanja tehničkog sistema. U fazi eksploatacije proizvoda, stablo otkaza može da posluži kao dijagnostičko sredstvo za utvrđivanje najverovatnijih uzroka nastalog otkaza.

Motor sa unutrašnjim sagorevanjem je mašina u kojoj se toplotna energija, nastala sagorevanjem goriva, pretvara u mehaničku energiju. Interesantno je napomenuti da su prvi motori sa unutrašnjim sagorevanjem kao pogonsko gorivo koristili plin [3].

U okviru rada izvršena je analiza potencijalnih načina otkaza četvorotaktnog Oto motora, koji kao gorivo koristi gas dobijen preradom otpadnih voda. Za sprovođenje detaljne analize uzroka i načina otkaza gasnog motora neophodno je poznavanje strukture, načina funkcionisanja i međusobnog odnosa sastavnih elemenata. Samo potpuno poznavanje načina funkcionisanja sistema i njegovih elemenata,

kao i poznavanje njihovih međusobnih veza, omogućava sprovođenje logičke analize kojom se određuju potrebni i dovoljni uslovi za pojavu otkaza objekta.

## 2. POSTUPAK ANALIZE STABLA OTKAZA

Analiza stabla otkaza se bazira na grafičkom prikazivanju međuzavisnosti otkaza elemenata sistema i strukturnih celina višeg nivoa. Postupak analize stabla otkaza tehničkih sistema obuhvata [1, 2, 4]:

1. definisanje tehničkog sistema;
2. utvrđivanje granica i ciljeva sistema;
3. definisanje vršnog događaja;
4. sistematsko prikupljanje podataka o sistemu i njihovu analizu;
5. formiranje stabla otkaza za utvrđeni vršni događaj;
6. proveru i usvajanje stabla otkaza;
7. kvalitativnu i/ili kvantitativnu analizu;
8. razmatranje rezultata i proveru njihove kompletnosti i podudarnosti sa zahtevanim;
9. usvajanje rezultata i
10. prezentiranje rezultata i predlog korektivnih mera.

Na početku analize pouzdanosti tehničkog sistema metodom Analize stabla otkaza, daje se definicija i utvrđuju se granice i ciljevi sistema.

Vršni događaj u stablu otkaza, u zavisnosti od analiziranog sistema, može da bude opšti (u obliku otkaza sistema), ili specifičan (ukoliko uključuje samo neke otkaze sistema ili njegovih komponenti).

Od analitičara se zahteva da pre nego što pristupi formiranju stabla otkaza, veoma dobro prouči sistem sa stanovišta strukture, načina funkcionisanja i međusobnog odnosa sastavnih elemenata.

Formiranje stabla otkaza tehničkih sistema vrši se pomoću simbola za događaje, logičke kapije i prenos [2, 4]. Za događaje se koristi veći broj različitih simbola, koji pokazuju da li se radi o složenim ili o bazičnim inicirajućim događajima. Za složene događaje koristi se pravougaonik. Od simbola za bazične događaje najčešće se koristi krug, koji označava stanje elementa sistema uslovljeno njegovim karakteristikama, i romb koji označava nerazvijeni događaj. Broj simbola u obliku romba u stablu otkaza pokazuje dubinu sprovedene analize.

Logički simboli u stablu otkaza označavaju međusobnu uslovljenost i povezanost događaja nižeg i višeg nivoa. Tako na primer, "ILI" logička kapija proizvodi izlaz ako se desi jedan ili više ulaznih događaja. Za razliku od nje, "I" logička kapija proizvodi izlaz samo ako se dese svi ulazni događaji.

Simboli za prenos u obliku trouglova, sa identifikacionom oznakom u vidu slova unutar njih, omogućavaju formiranje složenih stabala otkaza u vidu matičnog stabla i određenog broja podstabala.

Kada je stablo otkaza kompletirano, ono se sistematski analizira radi razumevanja logike povezanosti događaja i boljeg uvida u različita stanja sistema.

Po usvajanju stabla otkaza, u zavisnosti od krajnjeg cilja primene FTA metode, može se vršiti kvalitativna i/ili kvantitativna analiza.

Na osnovu dobijenih i usvojenih rezultata posredstvom stabla otkaza, daju se predlozi korektivnih mera sa ciljem otklanjanja uočenih nedostataka ili predlozi alternativnih rešenja.

U prethodno navedenom pristupu, formiranje stabla otkaza tehničkog sistema, analiza i eventualni predlozi u vezi korektivnih mera, predstavljeni su kao zasebni koraci. U praktičnoj primeni prisutna je velika interakcija između tih koraka. Kao rezultat, stablo otkaza se u toku čitavog postupka sprovođenja ove analize menja i prilagođava novim zahtevima, nastalim u smislu boljeg razumevanja različitih događaja i njihovih međusobnih veza.

## 3. STRUKTURA GASNOG MOTORA

U okviru rada razmatran je četvorotaktni Oto motor, koji kao gorivo koristi gas dobijen preradom otpadnih voda. To je vodom hlađeni motor sa 12 cilindara u konfiguraciji V-70, sa oznakom tipa motora JW 212 G austrijskog proizvođača JENBACHER WERKE AG (slika 1). U zavisnosti od zahteva kupca, ugrađuje se dodatna oprema.



Slika 1. Gasni motor tipa JW 212 G

Na osnovu dostupne literature izvršeno je detaljno upoznavanje strukture i načina funkcionisanja komponenta gasnog motora [5]. Gasni motor, kao složeni sistem, sastoji se od kućišta motora, sistema

---

---

za paljenje, sistema za podmazivanje, sistema za hlađenje, sistema za startovanje motora, elektro sistema, izduvnog sistema i drugih sastavnih celina.

Kućište motora se sastoji od bloka motora, koji je sa gornje strane zatvoren pojedinačno zamenljivim glavama motora, a sa donje strane koritom za ulje. Delovi kućišta motora su međusobno dobro zaprtiveni i čvrsto povezani odgovarajućim zavrtnjima.

Raspored cilindara u bloku motora je pod uglom od  $70^\circ$ , pa zbog toga ovaj tip motora nosi oznaku V-70. U cilindre bloka motora sa gornje strane montiraju se zamenjive, vodom hladene košuljice. Sa donje strane bloka motora izlivena su mesta za ležišta kolenastog vratila.

Korito za ulje zatvara donju stranu bloka motora. Na njemu se nalazi ventil za ispuštanje ulja. Pored toga, predviđen je priključak za dodatnu opremu, kao što je regulator nivoa ulja.

Glave cilindra opremljene su sa po jednim usisnim i izduvnim ventilom, svećicom i indukcionim kalemom. Presovana sedišta ventila mogu se zameniti. Pokretni delovi (usisni i izduvni ventil, klackalice) hermetički su zatvoreni poklopcem.

Na svakom rukavcu kolenastog vratila montiraju se po dve klipnjače. Kolenasto vratilo je dinamički balansirano. Opremljeno je kontra tegovima pričvršćenim zavrtnjima. Na jednoj strani vratila nalazi se zamajac snabdeven zupčastim vencem za startovanje motora, a na drugoj strani postavljen je prigušivač torzionih vibracija.

Klipnjače su u obliku dvostrukog T profila. Veza između klipnjače i kolenastog vratila ostvaruje se preko dvodelnih zamenljivih kliznih ležišta.

Klipovi motora snabdeveni su sa jednim kompresionim prstenom pravougaonog preseka, dva konusna kompresiona prstena i jednim podmazujućim prstenom.

Ceo zupčanički prenos motora za pokretanje bregastog vratila, pumpe za rashladnu tečnost i pumpe za ulje smešten je na strani zamajca. Spolja je hermetički zatvoren kućištem.

Bregasto vratilo je uležišteno u sedam zamenljivih kliznih ležišta. Obrtni moment dobija od kolenastog vratila preko sistema zupčanika. Klackalice usisnih i izduvnih ventila pokreću se putem bregaste osovine preko podizača i potisnih šipki. Zavrtnji za podešavanje, smešteni na klackalicama, omogućavaju tačno podešavanje ventila.

Sistem gasnog goriva varira u zavisnosti od primene motora. U principu sistem gasnog goriva obuhvata: ventile za gas, regulator pritiska gasa, filter za gas, uređaj za praćenje protoka gasa, razne cevi, zaustavne ventile i manometre.

Sistem paljenja motora sastoji se od jednog generatora paljenja, po jedne svećice i indukcionog

kalema po cilindru i potrebnih kablova za paljenje. Sistem paljenja svakog motora je fabrički podešen, dok fino podešavanje vrše mehaničari proizvođača motora nakon ugradnje. Bilo kakva nepravilna promena ove podešenosti ili bilo kakve nestručne intervencije na sistemu paljenja mogu dovesti do gubitka radne sposobnosti motora i većih oštećenja sastavnih komponenata. Regulacija ugaone brzine, odnosno broja obrtaja motora, vrši se mehaničkim ili elektonskim regulatorom brzine.

Sistem za podmazivanje motore obuhvata: zupčastu pumpu za ulje, ventil za regulisanje pritiska ulja, sigurnosni ventil, hladnjak za ulje, filter za ulje sa servisnim indikatorom i druge elemente. Zupčasta pumpa za ulje omogućava cirkulaciju ulja kroz motor pod određenim pritiskom. Iz zupčaste pumpe ulje odlazi u hladnjak za ulje (izmenjivač toplote), koji je povezan sa rashladnim sistemom motora. Ventil za regulaciju pritiska ulja služi za podešavanje radnog pritiska. Sigurnosni ventil je namenjen da zaštiti sistem za podmazivanje od natpritiska ulja (naročito pri hladnom startovanju motora).

Osnovni deo sistema hlađenja motora je zupčasta pumpa kapaciteta  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ . Njena uloga je da omogućí cirkulaciju rashladne tečnosti u motoru.

Sistem za startovanje gasnog motora sastoji se od elektropokretača snage  $9 \text{ kW}$ , akumulatora i kablova za vezu.

Električni sistem se projektuje prema narudžbi kupca.

#### 4. STABLO OTKAZA GASNOG MOTORA

Složenost gasnog motora uslovila je poseban pristup pri analizi i formiranju stabla otkaza. Na samom početku analize javio se problem definisanja vršnog događaja, koji će u punoj meri uključiti u razmatranje većinu potencijalnih načina otkaza elemenata gasnog motora. Pored toga, propisi o bezbednosti u radu nalažu korišćenje automatskih sistema kontrole i upravljanja, koji dovode do zaustavljanja gasnog motora u određenim situacijama. Ljudi koji su odgovorni za korišćenje motora mogu da na osnovu određenih pokazatelja i sopstvenih procena preventivno isključe motor. Ispravnost određenog broja komponenti utiče samo na mogućnost startovanja motora. Dalje, neispravnost ili nepodešenost nekih strukturnih celina dovodi do delimičnog otkaza gasnog motora, odnosno do smanjenja njegovog stepena iskorišćenja.

Zbog svega prethodno navedenog, analiza otkaza gasnog motora izvršena je tako što je formiran veći broj nezavisnih stabala otkaza za različite vršne događaje.

#### 4.1 Stablo otkaza za vršni događaj „isključenje gasnog motora“

Do prestanka rada gasnog motora može doći usled automatskog isključenja ili ručnog isključenja od strane operatera. Stablo otkaza za vršni događaj "Isključenje gasnog motora" prikazano je na slici 2.

Automatska kontrola rada i zaustavljanja gasnog motora odnosi se na trenutno isključenje motora u slučaju:

- niskog pritiska ulja u motoru;
- niskog nivoa ulja u motoru;
- niskog nivoa rashladne tečnosti;
- previsoke temperature rashladne tečnosti;
- niskog pritiska gasnog goriva ili
- povećanog ili sniženog broja obrtaja.

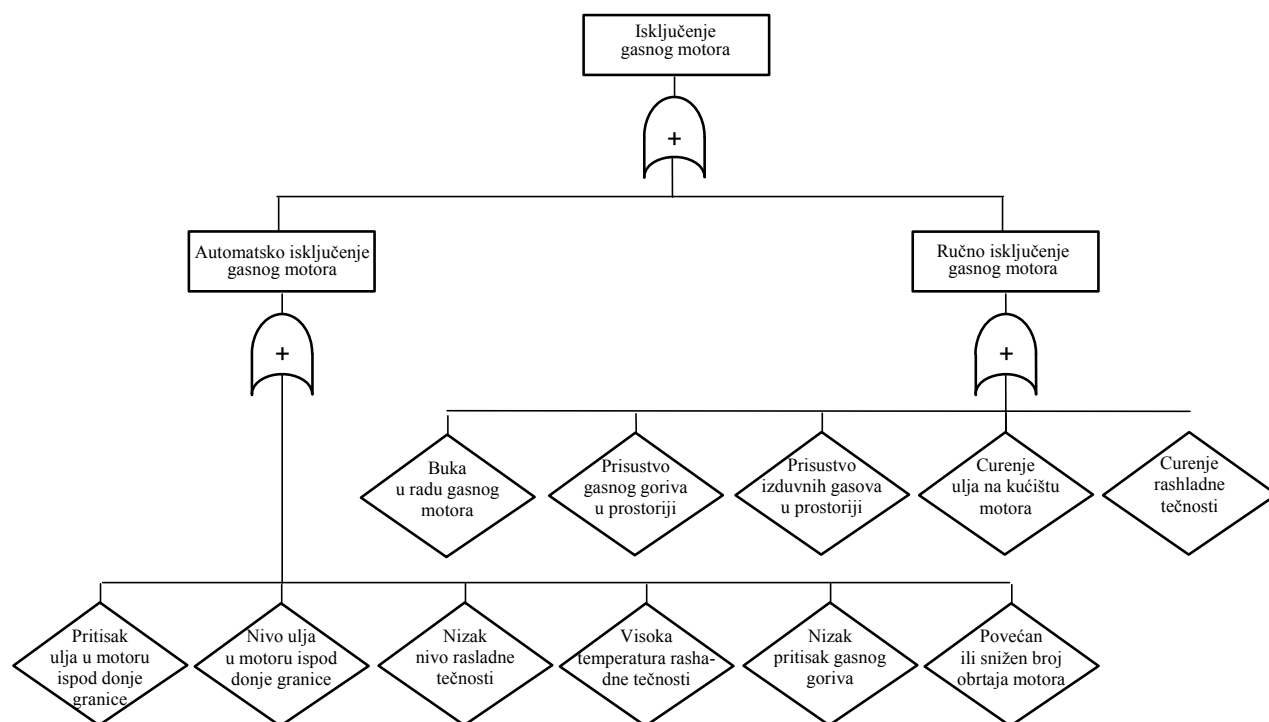
Zaustavljanje rada motora od strane operatera vrši se ukoliko se u toku rada javi buka u motoru ili oseti miris gasnog goriva ili izduvnih gasova u pro-

storiji gde je smešten motor ili ukoliko dođe do pojave curenja ulja za podmazivanje ili rashladne tečnosti na motoru.

Ukoliko se pojavi neobična buka pri radu gasnog motora, neophodno je trenutno zaustavljanje motora i aktiviranje sigurnosnog ventila za dovod gasa. Zatim se utvrđuju uzroci pojave buke.

Smeša gas-vazduh je jako zapaljiva i može da eksplodira. Kada se utvrdi prisustvo gasnog goriva unutar prostorije gde se nalazi motor, preporučuje se preduzimanjem sledećih hitnih radnji:

- osloboditi prostor, objekat ili zonu od svih prisutnih lica;
- provetravati ugroženi deo objekta otvaranjem prozora i vrata;
- koristiti svako moguće sredstvo da se eliminišu izvori paljenja;
- ako je moguće isključiti sva električna kola na udaljenim izvorima napajanja u cilju eliminisanja rada automatskih prekidača u opasnoj zoni.



Slika 2. Stablo otkaza gasnog motora za vršni događaj "Isključenje gasnog motora"

Izduvni gasovi motora su otrovni i mogu izazvati teže posledice po zdravlje ili smrt ljudi ako se udišu. Zbog mogućnosti da dođe do oštećenja elemenata izduvnog sistema i ispuštanja izduvnih gasova u prostoriju gde je smešten motor, neophodno je periodično ispitivanje zaptivanja na izduvnom vodu za gas. U vezi sa tim, sprovodi se vizuelna kontrola pojave naprslina, korozije i stanja zaptivnih elemenata. Propuštanje na izduvnim cevima za gas može se otkriti preko nagorevanja ili lakog prodora čađi.

U radu motora može doći do curenja ulja usled oštećenja hladnjaka za ulje, zaptivača glave motora, poklopaca kućišta motora, korita za ulje, zatim zaptivnog prstena vratila pumpe za rashladnu tečnost itd. U dodiru sa vrelinim delovima motora ulje se može zapaliti, pa je između ostalog i zbog toga neophodno preduzeti mere da ne dođe do curenja ulja za podmazivanje motora.

Curenje rashladne tečnosti može se utvrditi vizuelno ili preko gubitka pritiska u sistemu za



hlađenje motora. Za vreme rada motora rashladna tečnost je vruća i pod pritiskom. Zbog mogućnosti iznenadnog pucanja delova sistema za hlađenje i isticanja vrele tečnosti, oštećeni ili dotrajali elementi moraju se odmah zameniti.

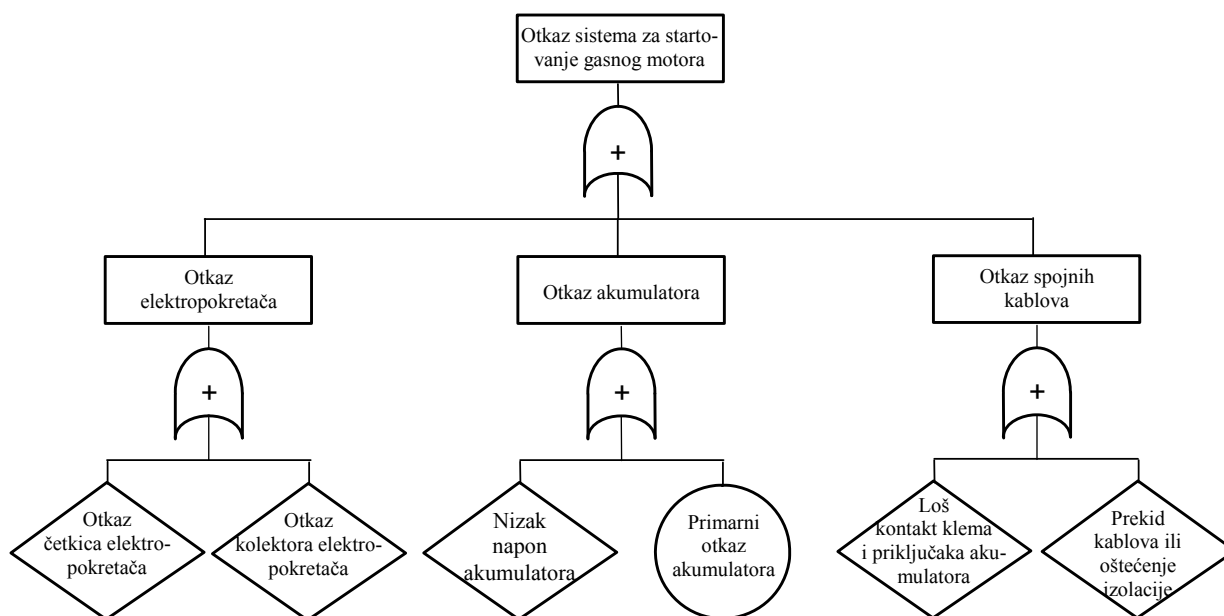
Do oštećenja elemenata sistema za hlađenje može doći usled visokog pritiska rashladne tečnosti. On se javlja ukoliko dođe do prodiranja gasova od sagorevanja u glavi ili bloku motora u kanale rashladnog sistema ili ukoliko dođe do oštećenja hladnjaka za ulje i mešanja ulja za podmazivanje sa rashladnom tečnošću.

Na osnovu uputstva za korišćenje gasnog motora, neophodno je održavati spoljne površine motora čistim i suvim. To omogućava blagovremeno otkrivanje curenja ulja za podmazivanje ili rashladne tečnosti. Kada je reč o motorima sa unutrašnjim sagoreva-

njem, u praksi je potvrđeno da se ozbiljna oštećenja motora otkrivaju preko curenja pogoskih sredstava.

#### 4.2 Analiza otkaza sistema za startovanje gasnog motora

Sistem za startovanje gasnog motora sastoji se od elektropokretača (startera), akumulatora i kablova za vezu. Bilo koji od otkaza strukturnih celina dovodi do nemogućnosti startovanja motora. Efektivno vreme rada sistema za startovanje je veoma malo u odnosu na vreme rada motora, pa se može pretpostaviti da je njegova pouzdanost u toku životnog veka gasnog motora zadovoljavajuća. Na sl. 3 prikazano je stablo otkaza sistema za startovanje gasnog motora.



Slika 3. Stablo otkaza sistema za startovanje gasnog motora

Otkaz elektropokretača može da nastane ukoliko dođe do otkaza četkica ili ako dođe do oštećenja kolektora motora. Pregorevanje namotaja statora i rotora retko se dešava u praksi, pa zbog toga nije uzeto u razmatranje.

Ako dođe do otkaza elektropokretača, prvo treba proveriti grafitne četkice da li su potpuno ispravne i da li se mogu lako pokretati u vodičama držača četkica. Četkica se menja kada se slomi, odlepi ili bilo kako ošteti, tako da opruga ili pletenica zalemljena za četkicu dodiruje držač četkice i onemogućava njen kontakt sa kolektorom. Ispravan kolektor elektropokretača mora da ima jednoličnu, glatku sivo-crnu površinu i da bude bez prašine, ulja i masti. Kolektori koji su izgrebani ili ekscentrični

usled habanja, obrađuju se u za to opremljenim radionicama.

Za kvalitetno startovanje motora neophodan je akumulator sa odgovarajućim karakteristikama. Postoji veći broj uzroka koji dovode do pojave niskog nivoa napona akumulatora i oni u ovom radu nisu detaljno razmatrani.

Akumulatori imaju svoj radni vek. Čak i u idealnim uslovima eksploatacije i održavanja, pre ili kasnije dolazi do primarnog otkaza akumulatora uslovljenog njegovim unutrašnjim karakteristikama.

Startovanje gasnog motora može da bude onemogućeno i otkazima vezanim za kablove za vezu akumulatora i elektropokretača. Prekid kablova za vezu retko se dešava. Postoji mogućnost oštećenja

izolacije ovih kablova u dodiru sa zagrejanim delovima motora i odvođenja struje na masu. Najčešći razlog neispravnosti je loš kontakt, odnosno labava veza klema i priključaka akumulatora.

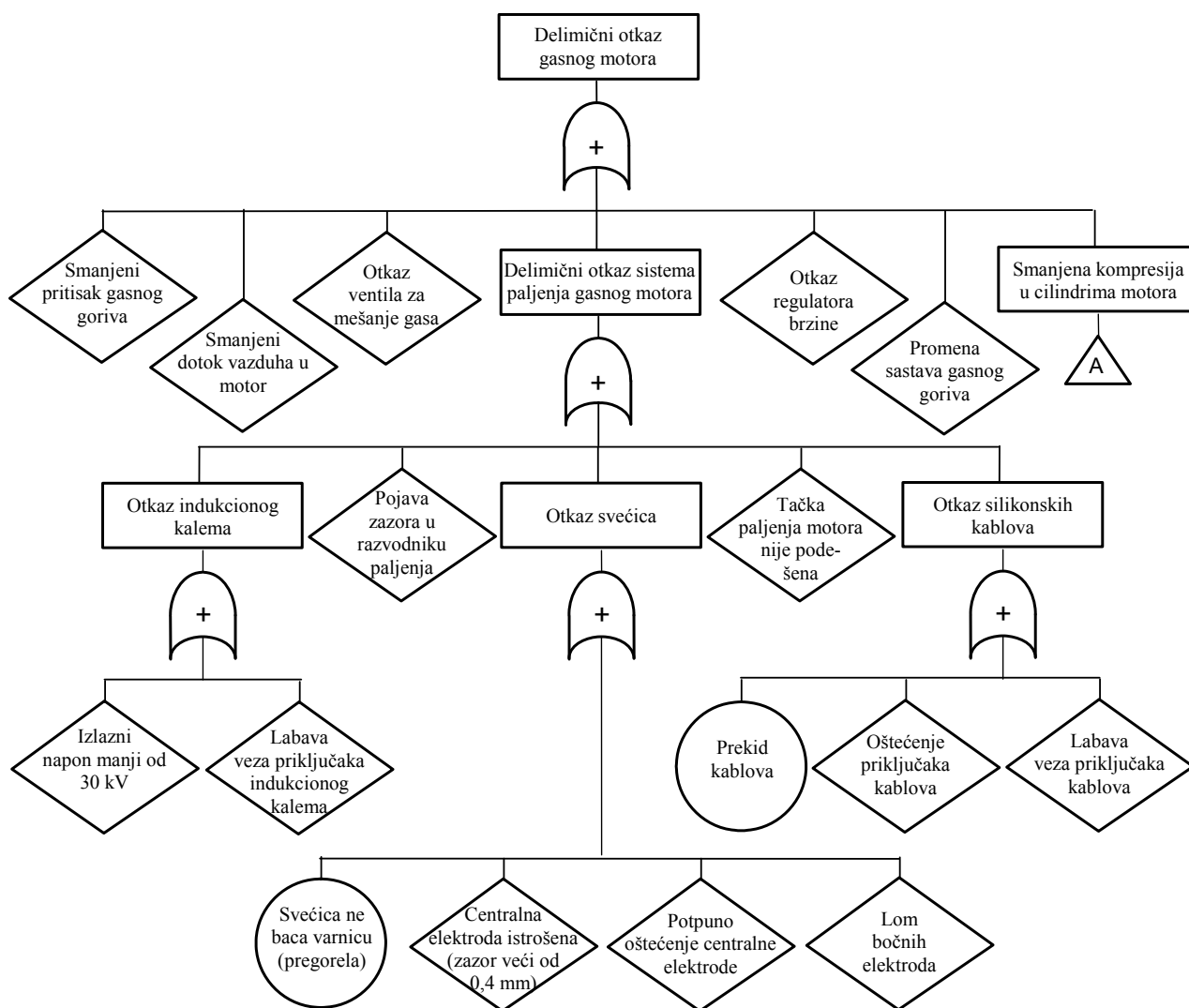
### 4.3 Delimični otkazi elemenata gasnog motora

Delimični otkazi elemenata gasnog motora dovode do smanjenja stepena korisnog dejstva, odnosno do smanjenja njegove energetske efikasnosti. Radi detaljne analize svih događaja koji dovode do smanjenja energetske efikasnosti, formirano je stab-

lo otkaza koje je prikazano na slici 4. Do pojave vršnog događaja u stablu otkaza doći će ako dođe do:

- smanjenja pritiska gasnog goriva;
- smanjenja dotoka vazduha u motor;
- otkaza ventila za mešanje gasa;
- delimičnog otkaza sistema paljenja motora;
- otkaza regulatora brzine;
- promene sastava gasnog goriva;
- smanjenja kompresije motora;

Smanjenje pritiska gasnog goriva na dovodu u motor može da nastane usled zaprljanosti filtera za gas ili otkaza regulatora pritiska gasa.



Slika 4. Stablo otkaza za vršni događaj "Delimični otkaz gasnog motora"

Ukoliko dođe do zaprljanosti filtera za gas, uložak filtera se pere u toploj vodi do 40° C pomešanoj sa malom količinom finog deterdženta. Pre montaže neophodno je da se uložak filtera osuši.

Obično se kod regulatoru pritiska gasa vrši zamena membrane regulatora, dok se ostali delovi

ispiraju u rastvaračima za čišćenje i suše komprimovanim vazduhom.

Smanjeni dotok vazduha u motor dovodi do veće potrošnje gasnog goriva, uz istovremeno smanjenje snage motora. Nedovoljna količina vazduha onemogućava potpuno sagorevanje usisanog gasa.

---

---

Tokom rada motora, ako se na servisnom indikatoru potpritiska na usisnom vodu za vazduh javi maksimalni potpritisak, motor se mora zaustaviti dok se ne očisti ili zameni uložak filtera.

Otkaz ventila za mešanje gasa utiče na stvaranje neodgovarajuće smeše gasno gorivo - vazduh, odnosno dovodi do lošeg sagorevanja. Ukoliko dođe do otkaza ovog elementa, vrši se njegovo čišćenje i zamena membrane ventila.

Sistem paljenja motora je u ispravnom stanju ukoliko svi cilindri motora rade korektno. Do delimičnog otkaza sistema paljenja motora dolazi ukoliko otkazu: indukcioni kalem, razvodnik paljenja, svećice, silikonski kablovi za vezu ili ako tačka paljenja motora nije podešena.

Pri ispitivanju indukcionog kalema, prvo treba pregledati i proveriti kontakte indukcionog kalema na niskonaponskoj i visokonaponskoj strani da li su dobro učvršćeni i čisti. Struja niskog napona mora da bude odgovarajuća. Indukcionni kalem u ispravnom stanju, pri praznom hodu motora, treba da daje napon od 30 *kV*. Ako je napon manji, indukcionni kalem se smatra oštećenim i mora se zameniti.

Pojava torzionog zazora u elastičnoj krstastoj ploči razvodnika paljenja može da dovede do poremećaja podešenosti tačke paljenja motora.

Uobičajeni znaci oštećenja svećice su:

- svećica ne baca varnicu;
- bakarno jezgro centralne elektrode istrošeno;
- centralna elektroda raspuknuta i može čak dodirnuti bočne elektrode;
- lom bočnih elektroda.

Prilikom kontrole, ako svećica baca varnicu, vrši se provera zazora između elektroda svećice. Optimalna veličina zazora u konkretnom slučaju iznosi 0,4 *mm*. Ako je usled istrošenosti centralne elektrode zazor veći, dozvoljeno je jedno podešavanje zazora svećice. Veći broj podešavanja zazora može da dovede do loma bočnih elektroda. Najbolje je izvršiti zamenu svećica koje pokazu znake oštećenja.

Optimalna tačka paljenja motora zavisi od vrste gasnog goriva, opreme motora i drugih uslova. Pri prvom puštanju u rad (prijemu) motor se fino podešava za korišćeni tip gasa. U zavisnosti od detonacione osetljivosti gasa, vrši se podešavanje paljenja i označavanje na motoru od strane stručnog lica.

Kad su u pitanju kablovi koji povezuju elemente sistema za paljenje motora, može doći do njihovog prekida, oštećenja ili labavih veza na priključcima. Zbog toga treba periodično proveravati stanje kablova. Spaljani (uglavnom pocrneli) ili nagoreli priključci dovode do smanjenja napona na svećici i lošeg sagorevanja smeše u cilindru. Oštećene kablove treba odmah zameniti.

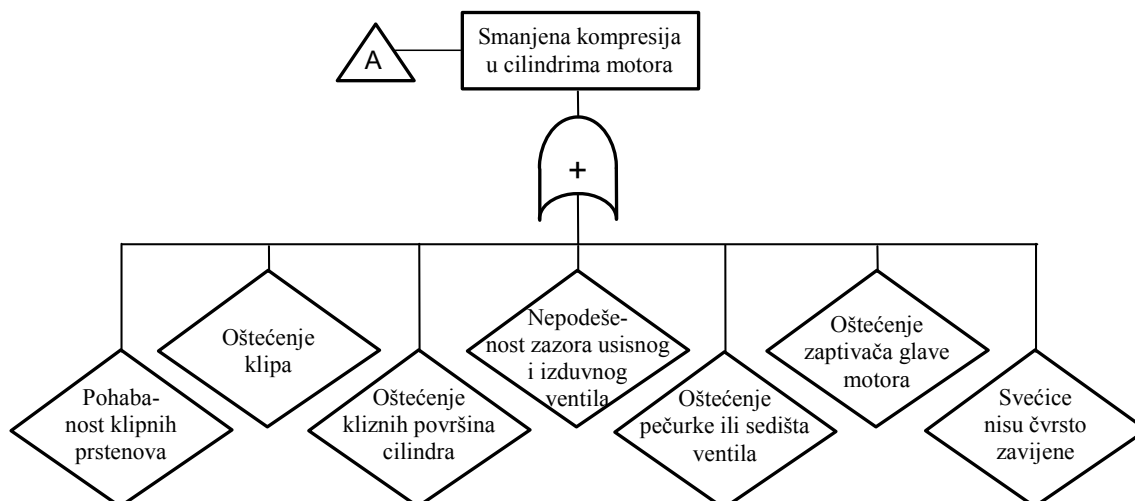
Otkaz regulatora brzine, odnosno gubitak njegove radne sposobnosti, odražava se na promenu broja obrtaja motora. Međutim, uzrok nekontrolisane promene broja obrtaja motora ne mora da bude uvek regulator brzine. Smanjenje broja obrtaja može da nastane usled povećanog opterećenja motora, koje prevazilazi njegove performanse, ili delimičnog otkaza motora u smislu da sistem paljenja jednog ili više cilindara motora nije ispravan. Kada se utvrdi da promena broja obrtaja motora nije uzrokovana povećanim opterećenjem ili lošim radom motora, pristupa se podešavanju regulatora brzine. Regulaciona poluga treba se kreće slobodno bez trenja i da nema zazora.

Popravku ili rad na podešavanju regulacionog sistema mogu izvoditi samo specijalizovana stručna lica. Nestručan rad na sistemu regulacije brzine može prouzrokovati oštećenje ili neefikasnost motora. U najgorem slučaju može doći do ozbiljnih oštećenja motora, usled prekoračenja maksimalno dopuštenog broja obrtaja.

Smanjenje kompresije u cilindrima motora dovodi do smanjenja snage motora uz istu potrošnju goriva, odnosno do njegove energetske neefikasnosti. Nezavisno podstablo otkaza za vršni događaj "Smanjena kompresija u cilindrima motora" prikazano je na slici 5. Pad pritiska u komorama za sagorevanje može da nastane usled većeg broja uzroka, kao na primer usled:

- pohabanosti klipnih prstenova;
- oštećenja klipa;
- oštećenja kliznih površina cilindra;
- nepodešenosti zazora usisnog i izduvnog ventila;
- oštećenja pečurke i sedišta ventila ili stvaranja naslaga;
- oštećenja zaptivača glave motora ili
- labave veze svećice.

Ispitivanje kompresije motora vrši se na sledeći način. Prvo se prekontroliše zazor na usisnim i izduvnim ventilima i po potrebi podešava. Posle toga, motor treba da radi dok ne postigne radnu temperaturu. Motor se isključuje i zatvara se dovod gasa. Svećice se jedna po jedna skidaju i na njihovo mesto postavlja se merač pritiska. Motor se startuje pomoću elektropokretača do dostizanja maksimalnog pritiska. Očitana vrednost pritiska na meraču predstavlja kompresiju za dati cilindar. Razlika pritiska između dva cilindra ne treba da iznosi više od 2 bara. Kod većeg odstupanja treba prekontrolisati glavu cilindra, zaptivanje glave cilindra, sedišta ventila, unutrašnji prečnik cilindra i eventualno klip i klipne prstenove.



Slika 5. Nezavisno podstablo otkaza za vršni događaj "Smanjena kompresija u cilindrima motora"

Pohabnost košuljice cilindra utiče na povećanje zazora između cilindra i klipa. U slučaju većih vidljivih oštećenja košuljice cilindra (kao npr. zarezi, pragovi na gornjem delu otvora) ili veće pohabnosti koja se utvrđuje merenjem prečnika cilindra, košuljica cilindra i klip treba da budu zamenjeni.

Nepravilnosti u radu motora i otkazi pojedinih komponenti mogu biti otkriveni merenjem temperature izduvnih gasova. Temperatura izduvnog gasa je važan pokazatelj kvaliteta sagorevanja i uopšte radnih uslova motora. Meri se pomoću termoparova, koji se zavijaju u izbušene otvore na izduvnim granama svakog cilindra. Na taj način, temperatura izduvnih gasova cilindara motora može se proveriti u bilo kom trenutku.

## 5. ZAKLJUČAK

Analiza pouzdanosti tehničkih sistema zasniva se na analizi otkaza njihovih elemenata. Formiranje

stabla otkaza gasnog motora omogućava detaljnu analizu razmatranog sistema sa stanovišta pojave otkaza, utvrđivanje uzročno-posledičnih veza između otkaza strukturnih celina različitih nivoa pripadnosti, evidentiranje najvećeg broja potencijalnih načina otkaza sastavnih elemenata, formiranje blok-dijagrama pouzdanosti itd.

Uz detaljnu analizu razlika u pogledu strukture i načina funkcionisanja, formirano stablo otkaza gasnog motora može da se koristi za analizu otkaza i drugih varijanti konstrukcionog izvođenja.

Trajnost, pouzdanost i ekonomičnost gasnog motora u velikoj meri zavise od pravilne eksploatacije i održavanja. Ispravnost i podešenost pojedinih komponenti motora značajno utiče na stepen iskorišćenja, odnosno na njegovu energetska efikasnost.

Praćenje i merenje i parametara funkcionisanja od presudnog je značaja za blagovremeno otkrivanje nedostataka kod gasnog motora. Na taj način dobija se informacija za preduzimanje mera održavanja, u cilju otklanjanja uzroka.

## LITERATURA

- [1] Barlow, R. E., Proschan, F.: Statistical Theory of Reliability and Life Testing Probability Models, Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York, 1975.
- [2] Lazor, J. D.: Failure mode and effects analysis (FMEA) and Fault tree analysis (FTA) (Success tree analysis – STA), In Handbook of Reliability Engineering and Management, McGraw-Hill, 1995., pp. 6.1-6.46.
- [3] Von Schwach, W.: Automotor – Stručna knjiga o automobilu, Zavod za udžbenike, Sarajevo, 1979.
- [4] Čatić, D.: Metode pouzdanosti mašinskih sistema, Univerziteti udžbenik, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2009.
- [5] Dokumentacija, katalogi i servisna uputstva fabrike gasnih motora JENBACHER WERKE AG iz Austrije.