

Prof. dr Dobrivoje Ćatić

Prof. dr Milan Despotović

Docent dr Vanja Šušteršić

Mašinski fakultet u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac

UDK 621.313.533.004.64:62-843.3

ANALIZA UZROKA I NAČINA OTKAZA GASNOG MOTORA PRIMENOM FTA METODE

Sažetak

Primenom metode Analize stabla otkaza u radu je izvršena analiza uzroka i načina otkaza gasnog motora. U uvodnom delu rada dat je opis FTA metode i ukazano je na značaj razmatranja otkaza gasnog motora na bezbednos ljudi. Zatim sledi prikaz metodologije Analize stabla otkaza i objašnjenje najčešće korišćenih simbola za formiranje stabla otkaza. Na osnovu detaljne analize strukture i načina funkcionisanja elemenata razmatranog objekta i drugih relevantnih podataka, deduktivnom analizom formirano je stablo otkaza gasnog motora za usvojeni vršni događaj. U zaključku rada date su mogućnosti primene dobijenih rezultata.

Ključne reči: pouzdanost, analiza stabla otkaza, gasni motor

Summary

In this paper the analysis of causes and ways of failure of gas motor is carried out by means of fault tree analysis method. In the introductory part the description of the FTA method is given and the importance of considering gas motor failure to human safety is pointed out. Afterwards, the methodology of fault tree analysis and explanation of the most frequent symbols used in fault tree forming are presented. On the basis of detailed analysis of the structure and kind of functioning of elements of observed object and other relevant data, by means of deductive analysis the fault tree of gas motor with respect to adopted peak event is built. In conclusion the possibilities of application of obtained results are presented.

Keywords: reliability, fault tree analysis, gas motor

1. UVOD

Analiza stabla otkaza (Fault Tree Analysis - FTA) je jedna od osnovnih i najčešće korišćenih metoda za analizu sigurnosti i pouzdanosti tehničkih sistema (1, 2, 3). To je deduktivna metoda kod koje se za definisani vršni događaj u obliku otkaza razmatrane strukturne celine sistema utvrđuju uzročni događaji koji do njega dovode. Osnovu analize stabla otkaza predstavlja prevođenje fizičkih sistema na strukturne logičke dijagrame.

Metoda Analize stabla otkaza razvijena je ranih šezdesetih godina 20. veka u SAD-u. Idejni tvorac metode je Votson (H. A. Watson) iz firme "Bell Telephone Laboratories". On je u toku 1961. i 1962. godine razradio i primenio ovu metodu u analizi sigurnosti sistema za lansiranje raketa tipa "Minuteman", za potrebe ratnog vazduhoplovstva SAD-a (4, 5). Od sredine šezdesetih godina prošlog veka do danas metoda Analize stabla otkaza se široko primenjuje za istraživanje pouzdanosti, sigurnosti i za dijagnostiku otkaza velikog broja složenih tehničkih sistema.

FTA daje najbolje rezultate u procesu razvoja novih proizvoda, jer se njenom primenom u startu eliminisu ili smanjuju na najmanju moguću meru potencijalni uzroci otkaza. Isto tako može se koristiti u periodu eksploatacije za potrebe održavanja, dijagnostike uzroka otkaza, dobijanja povratne informacije za moguće modifikacije elemenata i sistema itd. Ova metoda je naročito pogodna za analizu pouzdanosti i sigurnosti sistema, čiji bi otkazi doveli do teških posledica po ljude i životnu sredinu.

U okviru rada izvršena je analiza potencijalnih načina otkaza četvorotaktnog Otto 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. To omogućava sprovođenje logičke analize kojom se određuju potrebni i dovoljni uslovi za pojavu otkaza objekta.

2. METODOLOGIJA ANALIZE STABLA OTKAZA

Analiza stabla otkaza se bazira na grafičkom prikazivanju međuzavisnosti otkaza elemenata sistema i strukturnih celina višeg nivoa. Metodologija analize stabla otkaza tehničkih sistema obuhvata (4, 5, 6, 7):

1. definisanje tehničkog sistema,
2. utvrđivanje granica i ciljeva tehničkog sistema,
3. definisanje vršnog događaja,
4. sistematsko prikupljanje podataka o sistemu i njegovu 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. Iz praktičnih razloga navode se sve pretpostavke, koje se odnose na sistem i koje će biti korišćene u daljem radu.

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). Brižljiv izbor vršnog događaja je veoma značajan za uspeh analize. Ako je događaj isuviše opšti, analiza postaje glomazna i njome se ne može upravljati. U suprotnom, ako je događaj isuviše specifičan, analiza ne obezbeđuje dovoljno dobar uvid u sistem.

Od analitičara se zahteva da pre nego što pristupi formirajući stablu otkaza, veoma dobro prouči sistem sa stanovišta strukture, načina funkcionisanja i međusobnog odnosa sastavnih elemenata. Osnova za to je skup informacija sadržanih u konstrukcionej dokumentaciji proizvođača, proračunima, izveštajima sa ispitivanja, katalozima, priručnicima za održavanje, reklamacijama korisnika itd. 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 realizaciju vršnog događaja.

Formiranje stabla otkaza vrši se pomoću simbola za događaje, logičke kapije i prenos. Najčešće korišćeni simboli za formiranje stabla otkaza dati su u tabeli 1 (1, 2, 3, 6). Snaga simbolike stabla otkaza leži u činjenici da se simboli za događaje, povezani logičkim kapijama, lako mogu prevesti u algebarske izraze.

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 uslovljenuost i povezanost događaja nižeg i višeg nivoa. Pored simbola logičkih kapija navedenih u tabeli 1, postoji čitav niz drugih manje korišćenih simbola, kao što su prioritetna "I" kapija, isključiva "ILI" kapija itd.

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. Pored toga, ukoliko postoje identični delovi stabla otkaza, korišćenjem ovih simbola izbegava se nepotrebno ponavljanje istih delova stabla, a samim tim postiže se ušteda u prostoru i bolja preglednost stabla.

Kada je stablo otkaza kompletirano, ono se sistematski analizira radi razumevanja logike povezanosti događaja i boljeg uvida u različita stanja sistema. Pri tome, proces analize trebalo bi da se fokusira na otkaze čija je verovatnoća pojave najveća. Ukoliko stablo otkaza ne odražava pravo stanje ili svi značajni događaji nisu obuhvaćeni ili ne postoji logička veza bazičnih i vršnog događaja, vrši se dodatno prikupljanje podataka o

sistemu i modifikacija stabla otkaza. Radi eliminisanja subjektivnosti, u ocenjivanju formiranog stabla otkaza učestvuju ljudi koji dobro poznaju korišćenu metodu i objekat istraživanja i koji nisu bili neposredno uključeni u izradu stabla.

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

Kvalitativna analiza stabla otkaza je širok pojam koji, pored formiranja i logičke analize stabla otkaza, podrazumeva određivanje skupa minimalnih preseka događaja, analizu zajedničkog uzroka i druge analize.

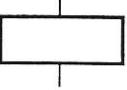
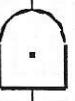
Naziv simbola	Grafički prikaz	Opis
Vršni ili posredni događaj		Pravougaonik označava događaj na izlazu iz logičke kapije (vršni ili posredni), koji se javlja kao posledica logičke kombinacije ulaznih događaja. Sadrži opis događaja.
Primarni bazični (izvorni) događaj		Krug označava bazični inicirajući događaj koji ne zahteva dalje razvijanje. Nezavisan događaj koji se koristi samo kao ulaz u logičku kapiju. Predstavlja završetak stabla otkaza u toj tački.
Sekundarni bazični (nerazvijeni) događaj		Romb označava događaj koji nije razvijen do sopstvenih uzroka zbog nedostatka potrebnih informacija, ili male značajnosti posledica, ili izbegavanja paralelnosti analize.
"ILI" kapija		Logička kapija koja proizvodi izlaz ako se desi jedan ili više ulaznih događaja. (Izlazni događaj kapije "ILI" dešava se ako se desi bar jedan ulazni događaj.) Grafički simbol sadrži identifikacioni znak "+" ili "ILI".
"I" kapija		Logička kapija koja proizvodi izlaz samo ako se dese svi ulazni događaji. (Izlazni događaj kapije "I" dešava se tada i samo tada kada se dese svi ulazni događaji.) Grafički simbol sadrži identifikacioni znak "-" ili "I".
Prenos "u"		Označava da je stablo otkaza dalje razvijeno na događaj odgovarajućeg prenosa "iz" označen istim identifikacionim velikim slovom (npr. na drugoj strani).
Prenos "iz"		Označava da se ovaj deo stabla otkaza mora pripojiti na odgovarajući prenos "u" označen istim identifikacionim velikim slovom.

Tabela 1. Simboli za događaje, logičke kapije i prenos

Ukoliko dobijeni rezultati kvalitativne i/ili kvantitativne analize nisu potpuni ili nastaju usled postojanja principskih grešaka, vrše se korekcije stabla otkaza u cilju otklanjanja uočenih nedostataka.

Na osnovu dobijenih i usvojenih rezultata posredstvom stabla otkaza, daju se predlozi korektivnih mera sa ciljem otklanjanja uočenih nedostataka ili predlozi alternativnih rešenja. Takođe, mogu se doneti odluke o kontroli proizvodnog procesa ili o preuzimanju rizika. Primenom odgovarajućih obrazaca dokumentuju se rezultati analize, čime se obezbeđuje da predložene mere budu i sprovedene.

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 I ULOGA SASTAVNIH CELINA GASNOG MOTORA

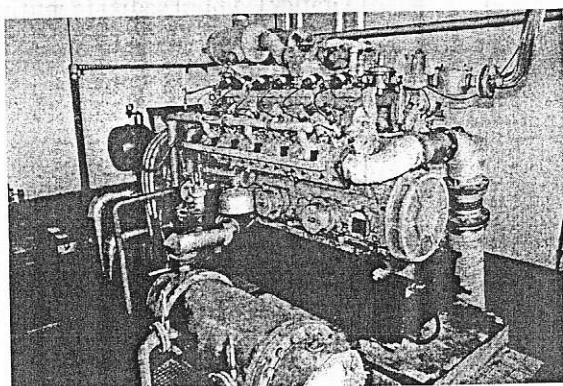
Motor sa unutrašnjim sagorevanjem je mašina u kojoj se toplotna energija, nastala sagorevanjem goriva, pretvara u mehaničku energiju. Ovaj mašinski sistem izumeo je Francuz Lenoar (Lenoir) 1860. godine. Nemac Nikolaus Otto (1876) značajno ga je poboljšao (8) Interesantno je napomenuti da su prvi motori sa unutrašnjim sagorevanjem kao pogonsko gorivo koristili plin.

U okviru rada razmatran je četvorotaktni Otto 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 proizvodača JENBACHER WERKE AG (slika 1). Zapremina motora je 24,906 l. Osnovna verzija motora se isporučuje kupcu spremna za rad. U zavisnosti od zahteva kupca, ugrađuje se dodatna oprema ili sklopovi. Uz motor se dostavlja prateća dokumentacija koja se odnosi na uputstva za rukovanje i održavanje. Trajnost, pouzdanost i ekonomičnost motora u velikoj meri zavise od pravilne eksploracije i održavanja motora. Na osnovu dostupne literature izvršeno je detaljno upoznavanje strukture i načina funkcionisanja komponenata gasnog motora (9). Šema raščlanjavanja gasnog motora prikazana je na slici 2. 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 zaptiveni i čvrsto povezani odgovarajućim zavrtnjima.

Raspored cilindara u bloku motora je pod uglom od 70° , pa zbog toga ovaj tip motora nosi oznaku V-70. Poređenja radi, dužina motora u V rasporedu cilindara je upola manja od linijskog rasporeda. U cilindre bloka motora sa gornje strane montiraju se zamenljive, vodom hlađene 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.

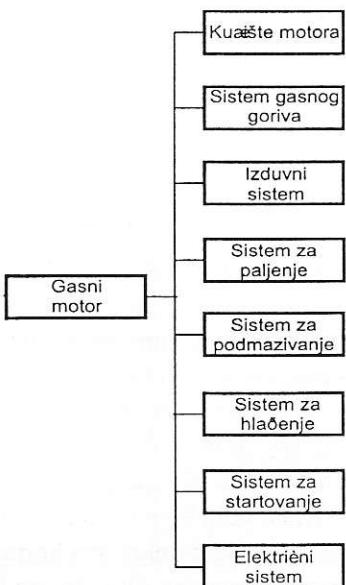
Svaka od pojedinačno zamenljivih, vodom hlađenih glava cilindra opremljena je sa po jednim usisnim i izduvnim ventilom, svećicom i indukcionim kalemom (bobinom). Oba ventila snabdevena su sa ventilskim rotacionim poklopцима. Presovana sedišta ventila mogu se zameniti. Pokretni delovi (usisni i izduvni ventil, klackalice) hermetički su zatvoreni poklopcem. Kanali za rashladnu tečnost i komora za sagorevanje su međusobno razdvojeni pomoću zaptivke glave cilindra.



Slika 1. Gasni motor tipa JW 212 G

Kolenasto vratilo se izrađuje livenjem. Svi rukavci kolenastog vratila su površinski okaljeni i najfinije izbrušeni. Na taj način smanjuje se habanje kliznih ležišta i povećava se njihov radni vek. 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, koji se montira na vratilu sa preklopom i osigurava klinom. Na suprotnom kraju postavljen je prigušivač torzionih vibracija. Podmazivanje ležišta kolenastog vratila vrši se na taj način što se kanalima izbušenim u bloku motora dovodi ulje pod pritiskom do svakog ležišta.

Klipnjače su u obliku dvostrukog T profila. Veza između klipnjače i kolenastog vratila ostvaruje se preko dvodelnih zamenljivih kliznih ležišta. Podmazivanje ležišta velike pesnice klipnjače vrši se preko kanala izbušenih u kolenastom vratilu, koji spajaju rukavce ležišta kolenastog vratila sa rukavcima ležišta klipnjače. Ležišne čaure na užem delu klipnjače (mala pesnica), kroz koje se provlači osovinica klipa, podmazuju se raspršivanjem ulja.



Slika 2. Šema raščlanjavanja gasnog motora

Klipovi motora snabdeveni su sa jednim kompresionim prstenom pravougaonog preseka, 2 konusna kompresiona prstena i jednim podmazujućim prstenom sa sigurnosnim oprugama. Prvi klipni prsten je najviše opterećen. Izrađuje se od specijalnog nodularnog liva sa visokim mehaničkim svojstvima. Konusni kompresioni prestenovi skidaju višak ulja sa zidova cilindra. Konusan oblik ovih prstenova omogućava brzo uhodavanje i prilagođavanje prstena cilindru. Podmazujući prsten izrađuje se od specijalnog sivog liva. Sigurnosna opruga naleže na prsten i prljubljuje ga uz zidove cilindra.

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. Svi zupčanici su sa helikoidnim ozubljenjem. Podmazivanje se vrši raspršivanjem ulja. Za podešavanje sinhronizacije rada sledeći zupčanici su označeni markerima: zupčanik kolenastog vratila, veliki međuzupčanik, mali međuzupčanik i zupčanik bregastog vratila.

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. Podizači kao i ležajevi klackalica podmazuju se uljem pod pritiskom iz potisnih šipki, koje su snabdevene prolaznim otvorima i služe za dovod ulja na klackalice. Podmazivanje svih ostalih pokretnih delova u glavi cilindra vrši se raspršivanjem ulja, koje se stvara na ležajevima klackalica.

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

Sistem paljenja motora sastoji se od jednog generatora paljenja, po jedne svećice i indukcionog kalema (bobine) po cilindru i potrebnih kablova za paljenje. Sistem paljenja svakog motora je fabrički podešen na ispitnom stolu ili pri primopredaji kupcu, 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 elektronskim 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 topote), koji je povezan sa rashladnim sistemom motora. Ventil za regulaciju pritiska ulja služi za podešavanje radnog pritiska. Sigurnosni ventil je namenjen da zaštitи 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 omogući cirkulaciju rashladne tečnosti u motoru.

Sistem za startovanje gasnog motora se sastoji se od elektropokretača snage 9 kW, akumulatora i kablova za vezu. Efektivno vreme rada sistema za startovanje je veoma malo u odnosu na vreme rada motora. Ovaj sistem radi samo pri pokretanju motora, pa se može pretpostaviti da je njegova pouzdanost u toku životnog veka gasnog motora zadovoljavajuća.

Električni sistem se projektuje prema narudžbi kupca. U svakom slučaju, treba posvetiti pažnju posebnim uputstvima za rad postrojenja.

4. FORMIRANJE I ANALIZA STABLA OTKAZA GASNOG MOTORA

Složenost gasnog motora uslovila je poseban pristup pri analizi i formiraju stabla otkaza. Na samom početku analize javio se problem definisanja vršnog događaja, koji će u punoj meri uključiti u razmatranje većinu potencijalnih načina otkaza 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 strukturalnih celina dovodi do delimičnog otkaza gasnog motora, odnosno do smanjenja njegovog stepena iskorišćenja.

Analiza stabla otkaza gasnog motora, koja je data u ovom radu, ograničena je samo na analizu otkaza komponenti koje dovode do delimičnog otkaza 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 stablo otkaza sa vršnim događajem "Delimični otkaz gasnog motora", koje je prikazano na slici 3. Razvijanjem vršnog događaja može se zaključiti da će do pojave vršnog događaja u stablu otkaza doći ako dođe do:

- smanjenja pritiska gasnog goriva,
- smanjenja dotoka vazduha u motor,
- otkaza ventila za mešanje gase,
- delimičnog otkaza sistema paljenja motora,
- otkaza regulatora brzine,
- promene sastava gasnog goriva ili
- smanjenja kompresije motora.

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

Ukoliko dođe do zaprljanosti filtera za gas, čišćenje filtera vrši se tako što se skine poklopac i izvuče uložak filtera. 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.

Kada se vrše popravke na regulatoru pritiska gase, treba otkačiti negativni pol na akumula-toru, a zatim onemogućiti stvaranje varnica i pokretanje motora. Zatvoriti glavni ventil za gas pre skidanja cevovoda ili delova. Obično se kod regulatoru pritiska gase vrši zamena membrane regu-latora, dok se ostali delovi ispiraju u rastvaračima za čišćenje i suše komprimovanim vazduhom.

Nakon sprovedenih aktivnosti na održavanju elemenata za dovod gasnog goriva, prostorija sa motorom treba da bude temeljno provetrena pomoću ventilatora u cilju uklanjanja ostataka gase pre ponovnog puštanja motora u rad.

Smanjeni dotok vazduha u motor dovodi do veće potrošnje gasnog goriva, uz istovremeno smanjenje snage motora. Nedovoljna količina vazduha onemogućava potpuno sagorevanje usisanog gase. Tokom rada motora, ako se na servisnom indikatoru potpritiska na usisnom vodu za vazduh javi maksimalni potpritisk, motor se mora zaustaviti dok se ne očisti ili zameni uložak filtera. U suprotnom, može doći do oštećenja turbopunjača u vidu preteranog aksijalnog pomeranja usled velikog gubitka pritiska.

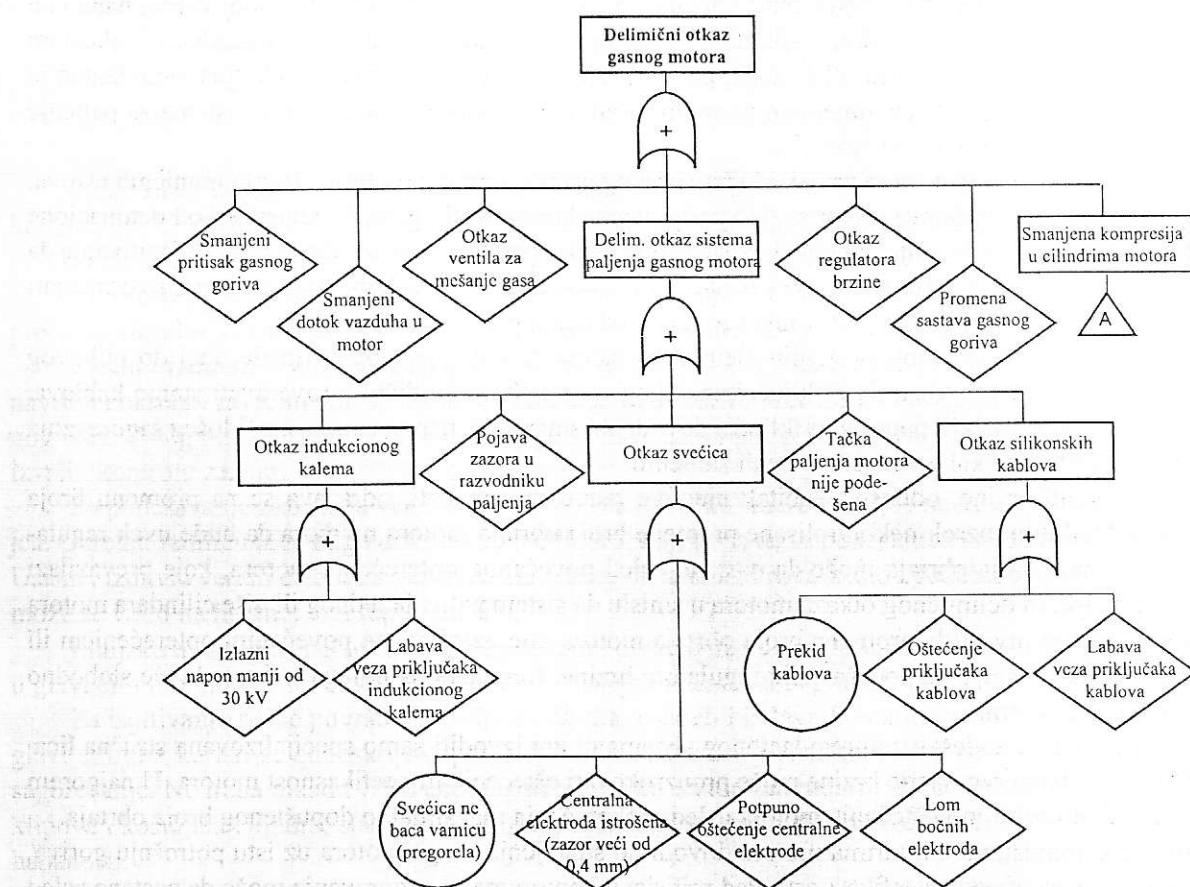
Pre čišćenja uloška filtera za vazduh, vizuelnom kontrolom proverava se da li uložak ima oštećenja na papirnom mehu, na gumenim zaptivkama ili deformacije na limenom delu. Oštećenja papirnog meha mogu se otkriti držanjem uloška prema svetlu. Ako je uložak filtera oštećen, neophodna je njegova zamena.

Čišćenje uloška filtera za vazduh vrši se tako što se izduva uložak filtera suvim vazduhom pod pritiskom do 5 bara sa unutrašnje prema spoljašnjoj strani. Zatim se potopi uložak u mlaku vodu sa specijalnim sredstvom za ispiranje tokom 10 minuta. Posle toga temeljno se ispira čistom vodom, centrifugira i suši na

sobnoj temperaturi. Ulošci se mogu prati do 5 puta (pri normalnom radnom opterećenju), odnosno 3 puta pri pulsacionom opterećenju. Posebno treba voditi računa o tome da uložak mora biti suv kada se ponovo montira. Uložak filtera ne sme se prati paročistačem, petrolejom, alkalnim rastvorom i slično, jer može doći do njegovog oštećenja.

Kućište filtera, naročito zaptivna površina uloška filtera, čisti se vlažnom krpom. Pri tome se vodi računa da prašina ne prodre u vod čistog vazduha i dalje u motor.

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. Nakon sprovedenih mera održavanja, neophodno je prostoriju dobro provetriti od ostataka gasnog goriva.



Slika 3. Stablo otkaza za vršni događaj "Delimični otkaz gasnog motora"

Sistem paljenja motora je u ispravnom stanju ukoliko svi cilindri motora rade korektno. Do delimičnog otkaza sistema paljenja motora dolazi ukoliko otkažu: indukcioni kalem (bobina), 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. Indukcioni kalem u ispravnom stanju, pri praznom hodu motora, treba da daje napon od 30 kV. Ako je napon manji, indukcionи kalem se smatra oštećenim i mora se zameniti.

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

Uobičajeni znaci oštećenja svećice su:

- svećica ne bacá varnicu,
- bakarno jezgro centralne elektrode istrošeno (izgorelo),
- 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 iznosi $0,4\text{ mm}$. U slučaju da 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 pokažu znake oštećenja.

Ne preporučuje se čišćenje svećica. Čišćenje, npr. peskaranjem smanjuje trajnost svećice zbog dejstva na keramičko telo tokom postupka čišćenja. Čišćenje je dopušteno samo pod određenim okolnostima, ako nije na raspolaganju nova svećica ili kupac čeka sa zamenom svećice do sledećih radova na održavanju. Pri montaži nikada ne dopustiti da svećica padne u ležište, jer to može da promeni zazor između elektroda. Korektni moment zatezanja je izuzetno važan za trajnost svećice.

Sistem paljenja motora može prouzrokovati električne udare. Zbog toga se ne smeju dodirivati komponente za paljenje ili kablovi dok motor radi. Svećice će davati varnicu ako je indukcioni kalem napunjen i zapaliće bilo kakvu smešu gas-vazduh u cilindru. Prema tome, bilo koja mešavina gas-vazduh i u ulaznom kanalu može da se zapali i eksplodira. Zbog toga, pre nego što se pristupi bilo kavim radovima neophodno je isprazniti kondenzator njegovim uzemljenjem na motor. Rad na popravci ili podešavanju sistema za paljenje izvode samo kvalifikovani i obučeni stručnjaci.

Optimalna tačka paljenja motora zavisi od vrste gasnog goriva, opreme motora i drugih graničnih 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. Za ispitivanje da li nazivna tačka paljenja odgovara pomenutoj oznaci ili ne, koristi se stroboskop. Nije preporučljivo menjati tip ili kvalitet gasnog goriva bez obaveštavanja servisnog odelenja proizvođača motora.

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. Spaljeni (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 uzrokovanja povećanim opterećenjem ili lošim radom motora, pristupa se podešavanju regulatora brzine. Regulaciona poluga treba se kreće slobodno bez trenja i da nema zazora.

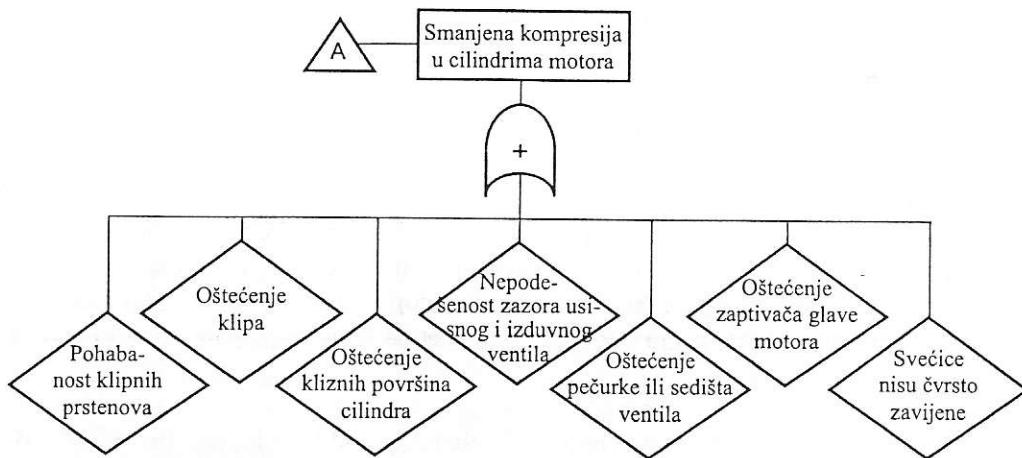
Popravku ili rad na podešavanju regulacionog sistema mogu izvoditi samo specijalizovana stručna lica. Nestručan rad na sistemu regulacije brzine može prouzrokovati oštećenje ili neefikasnost motora. U najgorem slučaju može doći do ozbiljnih oštećenja motora usled prekoračenja maksimalno dopuštenog broja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

Smanjenje kompresije u cilindrima motora dovodi do smanjenja snage motora uz istu potrošnju goriva, odnosno do njegove energetske neefikasnosti. Pad pritiska u komorama za sagorevanje može da nastane usled većeg broja uzroka, kao na primer usled:

- pohabanosti klipnih prstenova;
- oštećenja klipa,
- oštećenja (pohabanosti) 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.

Nezavisno podstablo otkaza za vršni događaj "Smanjena kompresija u cilindrima motora" prikazano je na slici 4.

Ispitivanje kompresije motora vrši se na sledeći način. Prvo se prekontroliše zazor na 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, odnosno do najveće vrednosti na meraču pritiska. Očitana vrednost pritiska na meraču predstavlja kompresiju za dati cilindar. Razlika pritisaka 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 4. Nezavisno podstablo otkaza za vršni događaj "Smanjena kompresija u cilindrima motora"

Pohabanost košuljice cilindra utiče na povećanje zazora između cilindra i klipa. To dovodi do smanjenja kompresije. U slučaju većih vidljivih oštećenja košuljice cilindra (kao npr. zarezi, pragovi na gornjem delu otvora) mora da se izvrši zamena košuljice cilindra i odgovarajućeg klipa.

Ako nisu nađena vidljiva oštećenja, pohabanost košuljice cilindra se meri pomoću aparata za merenje prečnika cilindra. U slučaju da su granice habanja prekoračene, košuljica i kip treba da budu zamenjeni.

Usisni i izduvni ventili podešavaju se preko zavrtnjeva za podešavanje. Pri tome otpustiti odgovarajuću navrtku i okretati zavrtanj dok se ne dobije korektan zazor na ventilu. Zazor ventila se kontroliše pomoću merenog lista. Zategnuti zavrtnjeve za podešavanje sa navrkama pošto je izvršeno podešavanje, a zatim ponovo izvršiti kontrolu zazora.

Za podešavanje zazora na ventilima motor treba obratiti u smeru kazaljke na satu gledano sa strane zamačca. Okretati radilicu tako dugo dok se kip u cilindru, koji treba da se podesi, ne dovede u gornju mrtvu tačku. Usisni i izduvni ventili će biti zatvoreni, a klackalice otpuštene. Provera kao i podešavanje zazora na ventilima može se vršiti na hladnoj i na toploj mašini.

Linijsko habanje na pečurki ventila i sedišnom prstenu ne treba da prelazi 1,4 mm ukupno. Sedišni prsteni u glavi cilindra moraju se remontovati kada se dostigne maksimalna granica pohabanosti.

Za ispitivanje radne površine košuljice cilindra, usisnih i izduvnih ventila, površine klipa pri montiranoj glavi cilindra koristi se endoskopski pregled. Kada se svećica skine, endoskop se može uvući u komoru za sagorevanje. Ne treba nikada vršiti endoskopski pregled na topлом motoru. Kada se vrši endoskopski pregled klipova i košuljica cilindra, stanje 90% klizne površine koju pokrivaju karike klipa, može dati jasnu sliku pohabanosti.

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. Odavde se pojedinačne vrednosti temperature šalju na pokazni instrument. Pokazni instrument je izведен iz jednog mV pojačivača sa naponom napajanja od 24 V. Pomoću birača merne tačke može se na indikatoru pokazati temperatura izduvnog gasa svakog pojedinačnog cilindra. Na taj način, temperatura izduvnih gasova cilindara motora može se proveriti u bilo kom trenutku.

5. ZAKLJUČAK

Analiza stabla otkaza omogućava detaljno upoznavanje razmatranog objekta sa stanovišta pojave 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. Analiza otkaza je naročito važna kod tehničkih sistema, čiji otkazi dovode do ugrožavanja bezbednosti ljudi.

Kompleksnost pristupa i obim izlaznih rezultata svrstao je metodu FTA u grupu nezaobilaznih metoda u programu obezbeđenja kvaliteta tehničkih sistema. Razvijajanje vršnog događaja u stablu otkaza do bazičnih primarnih i sekundarnih događaja, omogućava kvalitativnu i kvantitativnu analizu stabla otkaza razmatranog

objekta. Formiranjem stabla otkaza za dovoljno opšti vršni događaj može se evidentirati najveći broj potencijalnih načina otkaza elemenata sistema, što se može iskoristiti kao osnova za analizu načina i posledica otkaza - FMEA.

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

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.

Merenje i praćenje 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.

1 Barlow, R. E., Proschan, F.: Statistical Theory of Reliability and Life Testing Probability Models, Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York, 1975.

2 Henley, J. E., Kumamoto H.: Reliability Engineering and Risk Assessment, Prentice-Hall, 1981.

3 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.

4 Пан, Т. С., Пао, С. С.: Анализ надежности зубчатых передач с использованием метода дерева отказов, Современное машиностроение, Но. 4, 1989., с. 165-172.

5 Dhillon, B. S.: Quality Control, Reliability, and Engineering Design, Marcel Dekker, Inc., New York 1985.

6 Ivanović, G.: Analiza stabla otkaza - osnovi i primena u projektovanju motornog vozila, Mašinstvo 40 (1991) 5-6, s. 373-381.

7 Ćatić, D.: Metode pouzdanosti mašinskih sistema, Univerzitetski udžbenik, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2009.

8 von Schwoch, W.: Automotor – Stručna knjiga o automobilu, Zavod za udžbenike, Sarajevo, 1979.

9 . . . : Dokumentacija, katalozi i servisna uputstva fabrike gasnih motora JENBACHER WERKE AG iz Austrije.