



UNAPREĐENJEM PROCESA KONSTRUISANJA DO KVALITETNIJEG ODRŽAVANJA

IMPROVING THE PROCESS OF CONSTRUCTING LEAD TO MORE QUALITY IN MAINTAINING

Dr Svetislav Lj. Marković¹⁾, Prof. dr Slobodan Tanasijević²⁾,
Prof. dr Svetislav Jovičić³⁾, Prof. dr Danica Josifović⁴⁾

*“Koliko je dobro održavanje,
toliko su dobri i proizvodi.”*

Rezime: Karakteristike proizvoda (odnosno mašinskih sistema) i povratne sprege sa okolinom i okruženjem postali su osnova i polazni skup parametara za konstruisanje mašinskih sistema. Mogućnosti preduzimanja mera protiv habanja i drugih oštećenja postoje još u fazi konstruisanja, pa ih je neophodno koristiti.

Ključne reči: kvalitet, konstruisanje, održavanje.

Abstract: The characteristics of products (machinery system) and their feedback with environment and surroundings have become the basis and essential set of parameters for constructing machinery systems. The possibility of taking precautions against wear and other types of damage already exists in the stage of constructing and it is necessary to use it.

Key words: quality, constructing, maintenance.

1. UVOD

Savremeni zahtevi tržišta (trougao: kvalitet-cena-rok) u aktuelnim uslovima izrade i ostvarenja životnog veka proizvoda (znatno skraćen vek tehničkog dostignuća, sve kraći eksploatacijski vek proizvoda) implicirali su nova shvatanja i prilaze u razvoju proizvoda i procesu konstruisanja. Istovremeno, na svetskom tržištu jasno se uočavaju i dve važne tendencije: dominacija zahteva kupca i globalizacija tržišta. Kupac postaje sve zahtevniji, njegova očekivanja sve veća, a individualne želje sve izrazitije. Na tržištu je sve veće diferenciranje proizvoda praćeno stalnim inoviranjem. Nivo kvaliteta proizvoda se stalno podiže, rok isporuke se neprestano skraćuje, a cena opada.

Analiza promena u preduzećima poslednje dekade prošlog veka pokazuje da je vreme isporuke proizvoda skraćeno za više od 60%, zahtevi u pogledu kvaliteta i funkcionalnosti proizvoda uvećani preko 50%. Konkurencija na

tržištu je uvećana za oko 50%, što je izazvalo drastično smanjenje cena pojedinih proizvoda. Životni ciklus proizvoda smanjen je u ovom periodu za ~20%.

2. FAKTORI KVALITETA ODRŽAVANJA

Kvalitet održavanja određuje pet grupa uticajnih činilaca, a to su:

- **Konstrukcija mašinskog sistema**, koja na kvalitet održavanja utiče na više načina. Uticaj konstrukcije se uzima u obzir kroz unutrašnju pogodnost održavanja – popravljivost.
- **Opremljenost radionice** u kojoj se obavlja održavanje uređajima, instalacijama, alatima, priborima, mernom opremom, neophodnim za izvođenje postupaka održavanja.

-
- 1) Dr **Svetislav Lj. Marković**, profesor, Viša tehnička škola Čačak, Svetog Save 65, 32000 Čačak, E-mail: svetom@ptt.yu
 - 2) Prof. dr **Slobodan Tanasijević**, redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Srbija, E-mail: irmes2004@kg.ac.yu.
 - 3) Prof. dr **Svetislav Jovičić**, redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Srbija, E-mail: jsveta@kg.ac.yu.
 - 4) Prof. dr **Danica Josifović**, redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Srbija, E-mail: danaj@kg.ac.yu.

- **Održavaoci**, odnosno radnici koji rade na poslovima održavanja (brojnost, kvalifikovanost, obučenosť i motivisanost).
- **Snabdevenost rezervnim delovima**, potrošnim i drugim materijalom.
- **Sekundarni elementi logističke podrške** održavanju (transport do radionice, administracija-neproizvodni radnici).

Uzajamna zavisnost kvaliteta konstruisanja i kvaliteta novog proizvoda referentno se ocenjuje pri eksploataciji. Eksploatacija je period životnog ciklusa svakog proizvoda u kome se ocenjuje kvalitet konstruisanja, izrade i montaže, a vezana je za fazu formiranja konstrukcije.

Neophodno je da se pri konstruisanju dobro analiziraju režimi rada u kojima će konstrukcija da egzistira. Analize su pokazale da više od 80% otkaza mašina proizilazi usled habanja njihovih elemenata i sistema.

Na dužinu životnog ciklusa mašinskog sistema izuzetan uticaj ima i izbor:

- podmazivanja,
- okruženja,
- zaptivanja...

Propisivanje režima eksploatacije i izbor maziva i okruženja vrše se u fazi konstruisanja. Na dužinu perioda eksploatacije i eksploatabilnost mašinskih sistema značajno utiču subjektivne osobine operatora (radnika-izvršioca). Nivo profesionalne obučenosti, antropometrijske i psihofizičke osobine utiču na kvalitet ispravnog eksploatisanja, ali i na kvalitet tehničkog stanja mašinskih sistema. Pravovremeno i kvalitetno rukovanje sistemom je neophodni uslov održavanja njegove pouzdanosti, utemeljene još u procesu konstruisanja i proizvodnje.

Maziva se posmatraju kao elementi konstrukcije mašinskih sistema, a izbor maziva se vrši u fazi formiranja konstrukcije. Kao konstrukcioni element, mazivo treba da izvrši sledeće osnovne funkcije:

- smanji trenje između spregnutih elemenata,
- smanji habanje triboparova,
- odvede toplotu sa kontaktnih površina,
- zaštiti kontaktne površine, ali i druge neizolovane delove od hemijskog delovanja okruženja,
- zaptije zatore između spregnutih elemenata,
- odvodi produkte habanja i čestice zagađenja iz zone kontakta.

Savremeni mašinski sistemi rade u različitim atmosferskim i klimatskim uslovima. Zato je pri formiranju konstrukcije dobro uzeti u obzir uticaj na vek trajanja: vlage, toplote, hladnoće, svetla, prašine, peska, povećanog i niskog atmosferskog pritiska, radijacije i drugih faktora.

Konstruktor najčešće nije u mogućnosti da sam bira karakteristike okruženja u kome će se

eksploatisati njegova konstrukcija, niti mu uvek tehnički zadatak, formiran na osnovu zahteva, uslova, ograničenja i želja kupca, definiše detaljne karakteristike atmosferskog okruženja. U tom slučaju najbolje je prethodno analizirati atmosferske i klimatske uslove mogućeg lociranja mašinskog sistema, ili, još bolje, u fazi formiranja konstrukcije zaštititi konstrukciju od mogućeg delovanja agresivnih sredina. Okruženje značajno utiče na procese uzajamnog delovanja elemenata sistema, posebno na intenzitet i mehanizam korozionog i abrazivnog habanja. Dobar izbor materijala za izradu mašinskih elemenata u dobroj meri može minimizirati štetne uticaje okruženja.

Zaštita mašinskih sistema od nepovoljnog delovanja radne sredine (okruženja) se najčešće rešava tehnikom zaptivanja i zaptivnim sklopovima.

Zaptivanje je način razdvajanja raznolikih sredina, različitih po svojim prirodnim i fizičkim svojstvima. Najčešće je to razdvajanje elemenata i sklopova mašinskog sistema od sredine okruženja, sprečavanje i smanjenje do dopuštenih granica isticanja sredina kroz zatore elemenata sistema. Konačni cilj zaptivanja je hermetizacija elemenata, sklopova ili mašinskih sistema u celini, odnosno nepropustljivost za tečnosti, gasove ili tvrde faze disperzionih sistema.

Zaptivanje je značajan eksploataciono-tribološki regulator rada mašinskog sistema, ali samo u uslovima dobrog izbora tehnike zaptivanja, zaptivnih sklopova, pravilne montaže i ispravnog održavanja. Pre konačnog izbora tehnike zaptivanja i vrste zaptivača uzimaju se u obzir:

- predviđeni režimi rada mašinskog sistema (opterećenja, temperature, brzine klizanja),
- svojstva sredine okruženja (vlažnost, atmosferski pritisak, temperatura mržnjenja i kapanja, zagađenost, moguće temperature...),
- svojstva materijala spregnutih mašinskih elemenata (čvrstoća, zamorna i relaksaciona svojstva, toplofizička svojstva...),
- konstrukcione karakteristike sistema na mestima gde se predviđa zaptivanje (oblik, konfiguracija, toplofizička svojstva, uslovi hlađenja i podmazivanja, saosnost, topografija kontaktnih površina...),
- eksploatacija mašinskog sistema (monitoring, održavanje, zamena maziva...),
- fizičko-hemijski procesi u zoni kontakta (izmena strukture i svojstava materijala, izmena geometrije usled habanja, deformacije...).

3. ZAHTEVI PRI PROJEKTOVANJU I KONSTRUISANJU MAŠINSKIH SISTEMA

Mašinski sistemi se projektuju tako da mogu da se koriste u određenom vremenu, odnosno da traju određeno vreme. Elementi mašina i opreme se u toku procesa rada (eksploatacije) habaju, kvare i gube svoje prvobitne tehničke karakteristike, pre svih: pouzdanost, tačnost i preciznost, produktivnost... Da bi jedan mašinski sistem bio što duže ispravan, to jest da ispravno funkcioniše u što dužem periodu vremena, neophodno je da se održava na odgovarajući način.

Aktivnosti i događaji koji su vezani za održavanje mašina i opreme odvijaju se u periodu od njihovog razvoja do otpisa i povlačenja iz upotrebe.

Sistemska prilaz zahtevima za održavanje mašinskih sistema omogućuje visoku sigurnost opreme i minimalne zastoje u radu (slika 1). Osnovni zahtevi pri projektovanju mašina i opreme su:

- pravilno dimenzionisanje i oblikovanje,
- stručno ispitivanje i kontrola opreme,
- besprekorno opsluživanje,
- racionalno i pažljivo čišćenje i adekvatno podmazivanje.



Slika 1. Zahtevi pri projektovanju mašinskih sistema

U fazi formiranja zahteva pri projektovanju mašinskih sistema neophodno je uzeti u obzir:

- pouzdanost mašinskih sistema,
- njihovu pogodnost za održavanje,
- sigurnost u radu sistema,
- obezbeđenje podataka neophodnih za uspešno rukovanje i održavanje mašinskim sistemima,
- ekološke (zaštitu čovekove okoline), ergonomske (prilagođenost sredstava za rad čoveku – izvršiocu posla) i druge zahteve (zaštita od buke, mogućnost transporta, mogućnost ugradnje samostalno izrađenih rezervnih delova, mogućnost izmene asortimana proizvodnje...) koji se postavljaju pred mašinske sisteme.

Pri projektovanju mašina i opreme postavljaju se zahtevi funkcionalnosti, ekonomičnosti, pouzdanosti i efektivnosti. Povoljne osobine svih mašinskih sistema u procesu eksploatacije mogu se obezbediti samo ukoliko su konstrukcijom stvoreni povoljni uslovi za njegovo održavanje. Projektom

moraju da se zadovolje i zahtevi održavanja paralelno sa zadovoljenjem svih drugih relevantnih zahteva. Međutim, praktično je nemoguće definisati neke čvrste direktive koje bi trebalo slediti kako bi jedan mašinski sistem koji se projektuje bio uspešno rešen sa aspekta održavanja.

Tehnologija održavanja zavisi od konstrukcijskih i drugih osobina sistema koji se održava i uslova u kojima se održavanje sprovodi. Na brzinu obavljanja postupka održavanja jak uticaj ispoljava i tehnološka prilagođenost, odnosno pristupačnost mestima na kojima je potrebno izvršiti podešavanje ili druge radove održavanja.

Provera stanja (dijagnosticiranje) se često može sprovesti bez većih rasklapanja mašinskih sistema uz pomoć odgovarajućih uređaja ili instrumenata. Ukoliko je to nemoguće pristupa se rasklapanju mašina i opreme i detaljnom premeravanju i ispitivanju vitalnih sastavnih

elemenata. Mogućnost pravovremenog i tačnog uočavanja nastalog otkaza, odnosno uočavanja stanja koje traži sprovođenje određenih postupaka održavanja ima veliki značaj sa aspekta brzine i kvaliteta održavanja mašinskih sistema.

4. KRITERIJUMI ZA VREDNOVANJE KVALITETA KONSTRUKCIJE

Proklamovani ciljevi nauke o konstruisanju su razvoj metoda i postupaka, te razrada propisa koji omogućavaju kvalitetnije, ali i racionalnije konstruisanje.

U životnom ciklusu novog mašinskog sistema (tehnički uslovi, konstruisanje, izrada, montaža, eksploatacija, održavanje, remont, regeneracija) najznačajnije primene novih znanja postignute su u procesima konstruisanja i održavanja.

Kvalitet konstruisanja je jedan od bitnih faktora kvaliteta mašinskih sistema i jedan od najznačajnijih uslova u razvoju proizvoda (mašinskih sistema).

Tehnički problemi koje inženjer-konstruktor rešava pri stvaranju novog mašinskog sistema uvek su interdisciplinarnog i multidisciplinarnog karaktera. Kreativni duh konstruktora povezuje znanja većeg broja naučnih disciplina da bi odgovorio na sva pitanja koja se pojavljuju u procesu stvaranja novog proizvoda (mašinskog sistema).

Konstruisanje je u svim svojim oblicima prilagođeno realnosti.

Od konstruktora-kreatora se zahteva da u svim svojim misaonim, stvaralačkim, kreativnim i ostalim operacijama neprestano vodi računa i ocenjuje spoljašnje uslove i okolnosti realnog sveta.

Istorijski gledano, mašinski sistemi su radili u sve oštrijim režimima eksploatacije. U jednoj etapi razvoja i na određenoj vremenskoj distanci, počelo se sa obraćanjem pažnje na uzroke otkaza, a ponekad i na naglo skraćivanje projektovanih resursa rada mašinskih sistema.

Problem povećanja otpornosti na habanje mašinskih elemenata i sklopova postao je naglo aktuelan. Taj problem se i nadalje rešavao obezbeđenjem čvrstoće, odnosno izborom materijala. Docnije je veći značaj dat mazivima, pa su se problemi smanjenja habanja dugo vremena rešavali podesnim izborom maziva.

Za vrednovanje i konačno donošenje odluke koju konstrukciju odabrati koriste se dva kriterijuma: tehnički i ekonomski.

Tehnički kriterijumi svakog mašinskog sistema su mera tehničke prihvatljivosti i ocena tehničke pogodnosti konstrukcije. Osnova za definisanje tehničkog kriterijuma je lista zahteva

postavljena pri utvrđivanju projektnog zadatka. To ne isključuje naknadno proširenje liste parametara tehničkog kriterijuma, posebno za originalne konstrukcije.

Lista parametara koji sačinjavaju tehničke kriterijume je brojna, pa se uključeni parametri mogu svrstavati u sledeće grupe:

- Ispravnost i kvalitet izvršenja zadate funkcije (kapacitet, produktivnost, potrošnja energije, tačnost, brzina izvršenja funkcije...),
 - Sigurnost ili pouzdanost. Održavanje manje pouzdanih sistema je složenije, skuplje, uz smanjenje efektivnog vremena korišćenja. Bezbednost okoline (ljudi i sredstava) je takođe značajan parametar pri izboru rešenja. Ekološki uticaj na okolinu postaje sve značajniji parametar tehničkog kriterijuma u okviru proklamovanog cilja održavanja i zaštite životne sredine.
 - Održavanje i troškovi održavanja su interaktivno vezani sa pouzdanošću mašinskih sistema i važni su parametri vrednovanja. Pogodnost održavanja obuhvata stepen složenosti popravke, broj delova sa ograničenim vekom, dužinu vremena između intervencija, zadržavanje izvan pogona i drugo. U ovu grupu parametara mogu se uključiti i troškovi održavanja: pogonske energije, ulja, vode i drugih pogonskih materijala, ali i troškovi rezervnih delova, popravki...
 - Ergonomičnost mašinskog sistema zasnovana je na principima opšte prilagodnosti psihičkim i fizičkim karakteristikama čoveka: mašinski sistem mora odgovarati anatomskoj građi čoveka, psiho-fizičkim osobinama čoveka i mora biti prilagođen antropometrijskim svojstvima čoveka.
- Ekonomski kriterijumi obuhvataju parametre vezane za troškove proizvodnje, odnosno troškove izrade formirane konceptijske varijante.

Formiranje konstrukcije podrazumeva definisanje oblika i dimenzija delova konstrukcije, materijala, kvaliteta i tačnosti, ali i svih drugih neophodnih svojstava za početak proizvodnje.

Još u fazi formiranja konstrukcije neophodno je izvršiti ocenu pouzdanosti elemenata, sklopova i celine, izbor najracionalnijih konstrukcionih šema, koje obezbeđuju najpovoljnije uslove trenja elemenata, izabrati materijale otporne na habanje, dinamička i udarna opterećenja, definisati makro i mikrogeometriju radnih površina, odrediti racionalne režime rada konstrukcije.

U fazi konstruisanja neophodno je definisati:

- oblik delova konstrukcije i konfiguraciju konstrukcije kao celine,
- dimenzije delova konstrukcije i gabaritne mere same konstrukcije,

- materijal za izradu delova konstrukcije, postupke njihovog ojačanja i zaštite,
- kvalitet i tačnost, tolerancije, hrapavost i druge karakteristike delova konstrukcije,
- način izrade, veličinu serije, cenu...

Osnovne smernice u fazi formiranja konstrukcije definisane su zahtevima sadržanim u tri osnovna pojma: jednoznačnost, jednostavnost, sigurnost. Jednostavnost je sinonim ekonomičnosti konstrukcionog rešenja u kome je sadržana težnja realizovanja konstrukcije sa što manjim brojem delova i jednostavnom strukturom sistema. Sigurnost je bitno svojstvo konstrukcije koje podrazumeva sigurnost delovanja (nosivost), sigurnost funkcionisanja (pouzdanost), sigurnost rada (bezbednost) i sigurnost okoline (zaštitu okoline).

5. ZAKLJUČAK

Eksploatacija je period životnog ciklusa novog proizvoda u kome se zbrajaju rezultati konstruisanja, izrade i montaže.

LITERATURA

- [1] Marković, S., *Održavanje mašina i opreme*, Viša tehnička škola, Čačak, 2006.
- [2] Tanasijević, S., *Tribološki ispravno konstruisanje*, monografija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2004.