

Razvoj elektroventilatora za potrebe automobilske industrije sa aspekta pouzdanosti

Dragan Milčić, Dragoljub Živković, Miodrag Milčić
Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet u Nišu
Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš
Srbija
milcic@masfak.ni.ac.rs; dzivkovic@masfak.ni.ac.rs;
miodrag21@gmail.com;

Biljana Marković
Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Mašinski fakultet
Vuka Karadžića 30
71300 Istočno Sarajevo, Republika Srpska
Bosna i Hercegovina
biljana.markovic@maf.unssa.rs.ba

Branislav Popović
Regionalna privredna komora Leskovac
Stojana Ljubića 12, 16000 Leskovac
Srbija
bpopovic21@gmail.com

Rezime: Sistem za hlađenje motornog vozila jedan je od najbitnijih sistema za bezbednost i sigurnost motora sa unutrašnjim sagorevanjem (SUS motora), a elektroventilator je ključni podsistem ovog sistema. On obezbeđuje da radna temperatura motora ne pređe dozvoljene granice i da ne dođe do otkaza kompletnog SUS motora, odnosno automobila. Ovaj elektroventilator je ključni podsistem i za klimatizaciju vozila, jer istovremeno hladi hladnjak sistema za klimatizaciju automobila. Elektroventilator se sastoji od DC motora i radnog kola (ventilatora). DC motor je podsistem navedenih sistema koja najviše utiče na bezotkazni rad elektroventilatora, a samim tim i bezotkazni rad sistema za hlađenje motora i sistema za klimatizaciju vozila. Predmet ovog rada je razvoj elektroventilatora sa aspekta pouzdanosti odnosno zahtevanog radnog veka od 3000 časova.

Ključne reči: Elektroventilator; DC motor; Razvoj novog proizvoda; Pouzdanost

I. UVOD

Osnovni preduslov razvoja svake kompanije je da zadrži postojeće tržište i eventualno ga proširi. Da bi se to postiglo neophodno je odgovoriti zahtevima tržišta u toku dužeg niza godina, pri čemu tržište postavlja stalno sve složenije zahteve u pogledu produktivnosti, kvaliteta, pouzdanosti, dizajna i brzine osvajanja novih proizvoda.

Karakteristike svetskog tržišta u današnjim uslovima su dominacija zahteva kupaca i globalizacija tržišta, što ima za posledicu višestruko povećanje konkurencije. Više nije problem proizvesti proizvod već prodati proizvod. Da bi preduzeća opstala na tržištu, u takvim uslovima se nameću imperativi skraćanja vremena razvoja proizvoda, poboljšanje kvaliteta proizvoda uz istovremeno smanjenje cene proizvoda. Ovi uslovi su naročito izrežani u najzahtevnijim granama industrije danas, automobilskoj i avionskoj industriji.

Kao primer razvoja novog proizvoda, u ovom radu se daje razvoj nove generacije elektroventilatora, sistema koji čini DC motor i ventilator, namenjen za hlađenje fluida kod sistema za hlađenje SUS motora i kod sistema za klimatizaciju kabine automobila.

Elektromotori jednosmerne struje – DC motori koji se masovno koriste u automobilskoj industriji, su kolektorski odnosno elektromotori sa četkicama. Sastoje se od: rotora koji ima vratilo, paketa rotorskog lima, kolektora, namotaja žice, statorskog dela, savijenog kućišta sa keramičkim, permanentnim magnetima, poklopca sa ležajevima od sinterovanog materijala (bronze ili gvožđa) ili kugličnim ležajevima i sklopa, nosača četkica sa četkicama i provodnicima.

Kolektorski elektroelektromotori (DC motori) sa četkicama primenjuju se na brisačima stakla, podizačima stakla, sistemima za centralno zaključavanje, sistemima za pokretanje sedišta i naslona sedišta i na mnogim drugim mestima u motornim vozilima. Nekada se koristio jedan do dva elektromotora po vozilu, a sada 20 do 25 po vozilu. Razlika između ovih konstrukcija je u nepostojanju ili postojanju prenosnika snage - reduktora raznih tipova i oblika.

Sistem za hlađenje motornog vozila jedan je od najbitnijih sistema za bezbednost i sigurnost motora sa unutrašnjim sagorevanjem (SUS motora), a elektroventilator je ključni podsistem ovog sistema. On obezbeđuje da radna temperatura motora ne pređe dozvoljene granice i da ne dođe do otkaza kompletnog SUS motora, odnosno automobila. Ovaj elektroventilator je ključni podsistem i za klimatizaciju vozila, jer istovremeno hladi hladnjak sistema za klimatizaciju kabine automobila.

DC motor je podsistem navedenih sistema koja najviše utiče na bezotkazni rad elektroventilatora, a samim tim i bezotkazni rad sistema za hlađenje motora i sistema za klimatizaciju vozila. Predmet ovog rada je razvoj

elektroventilatora sa aspekta pouzdanosti odnosno zahtevanog radnog veka od 3000 časova.

II. RAZVOJ NOVOG PROIZVODA (RNP)

Samo kompanije koje su u stanju da kontinuirano osvajaju nove proizvode, koji zadovoljavaju očekivanja korisnika, čak i do nivoa njihovih individualnih želja, a koji se brzo i efikasno pojavljuju na tržištu, uspeće u intenzivnom i dinamički globalnom okruženju u kojem deluju. Razvoj novog (ili inoviranog) proizvoda se definiše kao disciplinovani i definisani skup zadataka i koraka kojim se embrionalna ideja pretvara u prodajne proizvode ili usluge.

Razvoj novog proizvoda (RNP) je proces usko povezan sa jednim ili više faktora:

- A. **Tehnologija:** Napredak u tehnologiji pruža prilika za poboljšanje postojećih proizvoda.
 - B. **Tržište:** Proizvođač mora poboljšati svoje proizvode kao odgovor na:
 - 1) konkurentne akcije (kao što je spuštanje njihove cene ili poboljšanje performansi njihovog proizvod) i/ ili
 - 2) povratne informacije od korisnika kroz komentare i sugestije vezane za performanse proizvoda.
 - C. **Upravljanje:** Motivacija za poboljšanjem može biti:
 - 1) unutrašnja (kroz smanjenjem cene, povećanje garancije), ili povećanje profita (npr. povećanje tržišnog udela) i
 - 2) spoljašnja (npr. zakonska regulativa, zahtevi međunarodnih standarda koji definišu performanse proizvoda).
- Proces RNP počinje sa idejom da se napravi proizvod koji zadovoljava specifične potrebe definisane od strane korisnika i/ ili proizvođača, a završava se kada je proizvod lansiran na tržište [2,3].

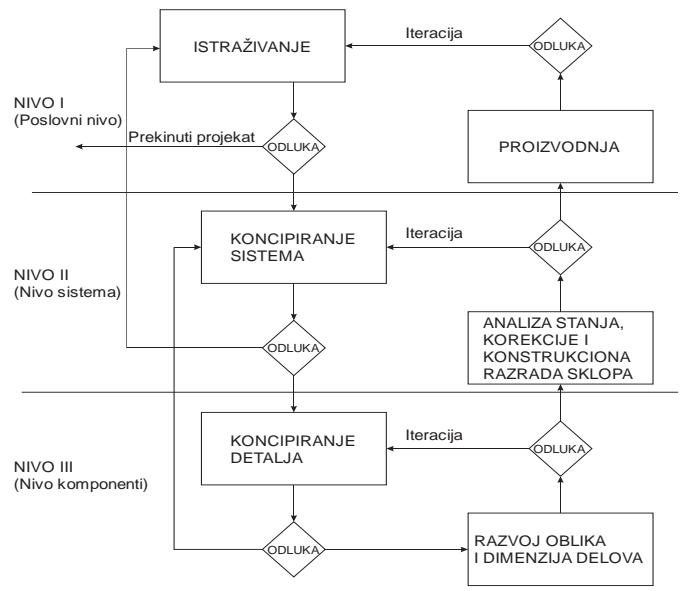
To uključuje šest faza kao što je prikazan na slici 1. Ove šest faze mogu se podeliti u dva procesa (I i II). Proces I (pred-razvojni proces) sastoji se od prve tri faze, a odnosi se na nefizičku konceptualizaciju proizvoda s povećanjem nivoa detalja. Proces II (Proces razvoja i proizvodnje) sastoji se od tri faze i odnosi na fizički otelotvorenje proizvoda, koja proizilaze iz transformacije koncepta proizvoda u fizičke osobine.

Proces I obuhvata prve tri faze RNP procesa. Može se posmatrati kao proces koji uključuje tri nivoa:

- **Nivo I (Poslovni nivo):** Istraživanje
- **Nivo II (Nivo sistema):** Koncipiranje sistema
- **Nivo III (Nivo komponenti):** Koncipiranje detalja

Proces II, obuhvata poslednje tri faze procesa RNP:

- **Nivo III (Nivo komponenti):** Razvoj oblika i dimenzija delova
- **Nivo II (Nivo sistema):** Analiza stanja, korekcije i konstrukciona razrada sklopova
- **Nivo I (Poslovni nivo):** Proizvodnja.



Slika 1. Šest faza razvoja novog proizvoda

Ovo može da se prikaže matricom karakterizacije procesa RNP u vidu tri nivoa (Poslovni nivo, Nivo sistem i Nivo komponenti) i dva procesa (Proces I i II), kao što je prikazano na slici 1. Treba imati na umu da se faze Nivoa II i III mogu sastojati od niza podfaza zavisno od vrste proizvoda.

Na kraju svake faze vrši se provera dobijenih rezultata, tj. da li su željene performanse ostvarene u okviru dopuštenih ograničenja.

U Procesu I (Pred-Razvoja) procena se zasniva na upoređenju dobijenih performansi (na osnovu apstraktnih modela) sa željenim performansama.

U Procesu II (Razvoj i proizvodnja) performanse fizičkog objekta upoređuju se (predviđanjem i/ili testiranjem) u odnosu na željene performanse odgovarajućeg nivoa u Procesu I, kao što je prikazano na slici 1.

Procenjivanje izlaza na kraju svake faze čini osnovu za odluku u procesu RNP. Svaka odluka daje jedno od dva rešenja: (1) nastaviti napred, ako nema problema ili (2) iteraciju unatrag ako postoji problem - raskorak između predviđene (ili stvarne) performanse i željene performanse.

Analiza tržišta i ocena zadovoljstva korisnika pokazuju promene i trend rasta potreba za elektroventilatorima sa dužim radnim vekom. Primedbe koje su identifikovane na strani tražnje ukazuju da elektroventilator sa postojećim radnim vekom ne zadovoljava očekivanja i potrebe korisnika. Proizvođači automobila sada daju korisnicima sve duže garantne rokove, automobili mogu da pređu veći broj kilometara u odnosu na starije modele, a sada su i opremljeni raznim dodatnim uređajima.

Pod ovakvim uslovima, elektroventilatori postaju opterećeni većom učestanošću uključivanja i isključivanja tokom rada. Postoji potreba za dužim radom i većom

pouzdanosću proizvoda, nego što je bilo uobičajeno za doskorašnji način korišćenja automobila.

Cilj ovog rada je opis razvoja novog proizvoda, (elektroventilatora), koji treba da ima performanse sa kojim bi bio konkurentan na tržištu. Generalno, definisani skup komercijalnih i tehničkih performansi koje se trebaju razvijati za uspešnost proizvoda sastoje se od sledećeg:

1. Tačno definisane planirane performansi novog proizvoda;
2. Tačno definisani željeni učinak novog proizvoda kroz pokazatelje, kao što su: tržišni udeo, povratak investicija, prihodi, itd.;
3. Tačno definisana ograničenja, kao što su: zdravlje i sigurnost, društveni, pravni troškovi, rokovi, itd.

Definisanje željenih performansi proizvoda treba biti objektivno sa poslovnog nivoa. U oblikovanju željenih performansi uzimaju se u obzir i tehnološki potencijali koji se mogu koristiti u razvoju i proizvodnji proizvoda.

Radi određivanja željenih performansi izvršena je analiza performansi postojećih proizvoda i proizvoda konkurentskih kompanija. Ustanovljeno je postojanje potrebe da automobil ima sistem za hlađenje i klimatizaciju koji radi bez otkaza najmanje dvanaest godina, pri pređenih 30.000 km prosečno godišnje. Svaki deo, podsklop ovih sistema takođe treba bez otkaza da radi navedeno vreme. Elektroventilator kao jedna od komponenti ovih sistema mora da zadovolji dati uslov.

Elektroventilator se sastoji od DC motora i radnog kola (ventilatora). Elektromotor je komponenta navedenih sistema koja najviše utiče na vreme rada bez otkaza elektroventilatora i ovih sistema. Zaključak dobijen nakon analiza potreba tržišta je da radni vek elektroventilatora bez otkaza mora da bude minimalno 3000 časova rada.

DC motori se koriste za pokretanje mnogih komponenti automobila. Jedna od najznačajnijih i osnovnih namena DC motora elektroventilatora je za hlađenje fluida kod sistema za hlađenje SUS motora i istovremeno hlađenje hladnjaka sistema za klimatizaciju kabine automobila.

Željena performansa, radni vek je značajno viša od radnog veka postojećih proizvoda te je potrebno osvajanje, razvoj novog proizvoda. Osvajanje novog proizvoda sa nekoliko puta većim radnim vekom u potpunosti odgovara željenim očekivanjima korisnika, na osnovu dobijenih rezultata istraživanja. Stoga, stepen do kojeg proizvođač uspe u ispunjavanju očekivanja, određiće nivo zadovoljstva korisnika.

Željena performansa, radni vek sa minimalno 3000 časova rada, je projektovana, planirana i kontrolisana performansa tokom celog procesa razvoja.

Sam proces razvoja ili osvajanja novog proizvoda je, u stvari, proces transformacije ideje u projekat, te se ostvaruje postupno i sistematski. Projekat se odvija u više faza. U svakoj fazi proizvod se definiše u celini, ali na određenom nivou kompleksnosti.

Aktivnost projektovanja razvija se sa povećanjem nivoa detalja, u početku na nivou sistema, a završava na nivou komponenti.

Novi proizvod, elektroventilator, mora da zadovolji zahteve koji su postavljeni na samom početku. Potrebno je da zadovolji tehnički uslov TU 9.93160, da ima minimalni radni vek od 3000 časova (i to 50% neprekidnog i 50% intermitiranog rada – kada 53 sekundi radi i 7 sekundi ne radi) i protok vazduha oko $Q = 2000 \text{ m}^3/\text{h}$ u slobodnom prostoru.

Razlog osvajanja novog proizvoda je razvoj nove generacije elektroventilatora sa novim karakteristikama. Cilj je u povećanju kvaliteta i pouzdanosti proizvoda i konkurentne sposobnosti proizvođača, a očekivanja su da će novi proizvod omogućiti razvoj novih vrsta i tipova proizvoda, povećanje obima proizvodnje i prodaje, posebno izvoza.

Kako tehnički uslov za ovaj tip proizvoda propisuje neprekidne kontrole kvaliteta, provere sigurnosti i pouzdanosti proizvoda, ispitivanja moraju da se obavljaju neprekidno, te da se ponavljaju za svaku seriju. Ispitivanja se sprovode i zbog odstupanja, ukoliko do njih dođe usled neostvarivanja propisanih dimenzija ili kvaliteta materijala i delova. Izvode se i zbog ugradnje novog materijala dela, novog dela ili drugih izmena na elektroventilatoru.

Uvođenje novih materijala ili novih delova uslovljava ukidanje starih ili davanje alternativa sa novim materijalima ili novim delovima. Ove izmene su nekada uslovljene izmenama zakona i propisa (na primer, zabrana korišćenja azbesta, raznih vrsta lepkova itd.) ili zbog uvođenja jeftinijih materijala ili delova. Nabavka savremenije opreme ili odstupanje delova i podsklopova od propisanih dimenzija nastale greškom mašine i/ili čoveka zahtevaju ispitivanja i analize, kako bi se dobijeni deo verifikovao ili, uz saglasnost o odstupanju, uveo u proizvodnju i pustio na tržište. Nekada se daje ograničena saglasnost za odstupanje za deo serije ili vremenski ograničeni period, dok se ne dovede oprema u zahtevano stanje ili nabavi propisan materijal ili deo ili se škartira, ukoliko ne zadovolji zahtevana i predviđena ispitivanja.

Razvojem novih, savremenijih tipova automobila većih snaga i preko 1600 cm^3 , sa drugačijim prednjim maskama, koji imaju slabije prirodno vazdušno hlađenje hladnjaka i kondenzatora, a time i slabije rashlađivanje rashladne tečnosti sistema za hlađenje i slabije hlađenje fluida kod klima uređaja, pojavuje se potreba za osvajanjem elektroventilatora većih snaga, a samim tim i viših protoka vazduha, od oko $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ i viših pritiska vazduha nego kod postojećih elektroventilatora. Razvoj novog proizvoda sa većim protokom vazduha zahteva da elektroventilator ima snagu od oko 200 W. Radni vek je potrebno značajno povećati na minimalno 3000 h, a sve sa ciljem da novi ili inovirani proizvodi proizvođača postanu konkurentni na tržištu. Ostali zahtevi po tehničkom uslovu TU 9.93160 ostaju nepromenjeni i ne utiču na druge parametre elektroventilatora (na planirane izmene po pitanju radnog veka i druge karakteristike).

III. TEHNIČKI ZAHTEVI ZA NOVI PROIZVOD (ELEKTROVENTILATOR)

Prema propisanim tehničkim uslovima definisani su i podaci za ugradnju:

- Prečnik radnog kola (ventilatora) max 310 mm,
- Dužina elektroventilatora max. 87 mm,

- Prečnik statora max. 108 mm,
- Položaj tri zavrtnja, za montažu na držača na prečnika od 138 mm pod uglom od 120°.

Proizvod mora da ispunjava TU 9.93160. i mora biti saobrazan propisima i ovom tehničkom uslovu. Elektroventilator se ispituje: u slobodnom vazduhu, u komori za testiranje i na putnim ispitivanjima ugrađenim na automobilima. Na uzorcima koji se ispituju po TU, ne sme da bude pojave loma ili labavljenja delova. Ukoliko do toga dođe smatra se da je elektroventilator otkazao bez obzira da li je u funkciji ili ne, i smatra se neispravnim.

Definisani uslovi funkcionisanja na slobodnom vazduhu su:

- Temperatura kućišta, mereno posle 1 (jednog) sata sa nominalnim naponom (V) +15% treba da iznosi $\leq 45^{\circ}C$
- Potrošnja struje pri nominalnom naponu $\leq 8,5 A$, bez opterećenja,
- Broj obrtaja elektromotora, pri nominalnom naponu treba da iznosi $3000^{+200}_{-100} \text{ min}^{-1}$
- Protok vazduha veći od $Q = 2000 \text{ m}^3/h$ u slobodnom prostoru.

Takođe, definisane karakteristike elektromotora su:

- Snaga oslobođena u tački funkcionisanja, sa probnom brzinom u centru propisane tolerancije na slobodnom vazduhu – $50W \pm 10\%$ bez opterećenja,
- Maximalna snaga pri brzini od 3000 min^{-1} - $200 W \pm 10\%$ sa opterećenjem (radnim kolom),
- Jačina struje pri brzini od 3000 min^{-1} treba da je $\geq 14A \pm 10\%$
- Moment trzaja, $\geq 75 \text{ daN/mm}$,
- Jačina struje $\leq 32 A$ pri startu.
- Sila pri izvlačenju ventilatora (samo sa nabijenim plastičnim ventilatorom), posle 4 časova na temperatura $80 \pm 2^{\circ}C$ - $\geq 70 \text{ daN}$,
- Buka max. 40 db,
- Ispitivanje na vibracijama treba elektroventilator da izdrži bez loma ili krivljenja delova i da funkcioniše nakon toga na slobodnom vazduhu u propisanim granicama,
- Termički ciklusi, 4 časova na $+100 \pm 2^{\circ}C$ - 4 časova na $+40 \pm 2^{\circ}C$ -
- $90 \div 95\%$ relativne vlažnosti, + 4 časova na $-40 \pm 2^{\circ}C$ - bez loma ili deformacije, funkcionisanje na slobodnom vazduhu, max.opadanje za 10% u odnosu na vrednosti snimljene na novom delu, proizvodu,
- Niska temperatura, klasa 4, $-40 \pm 2^{\circ}C$ - pravilni trzaji, brzina na slobodnom vazduhu u propisanim granicama, dozvoljena buka je veća pri startovanju,
- Trzaji na hladno, 10 trzaja od 1 sekunde sa nominalnim probnim naponu
- Okolina za probu $-40 \pm 2^{\circ}C$ - karakteristike motora, max.opadanje za 10% u odnosu na vrednosti snimljene na novom delu,

- Prolaz kroz niski gaz – otpor izolacije $\geq 1 M\Omega$, bez nepravilnosti,
- Radni vek 3000 časova, nominalni napon sa maksimalnim odstupanjem od +15%, na okolini temperatura od $80 \pm 2^{\circ}C$, i to 1500 časova kontinualnog rada i +1500 časova sa prekidima od kojih 53 sekunde “ON” +7 sekundi “OFF”.
- Otpor izolacije $\geq 1M\Omega$, funkcionisanje na slobodnom vazduhu.
 - Max. opadanje za 15% u odnosu na vrednosti snimljene na novom delu.
 - Habanje četkice $\leq 95\%$ korisne dužine.
 - Izolacije, kolektor, plastični delovi, ležajevi i/ili čaure u dobro očuvanom stanji,
 - Otpor izolacije, mereno između pozitivne kleme i mase $\geq 10 M\Omega$,
 - Napon disruptivnog pražnjenja mereno između pozitivne kleme i mase 1000Vef,
 - Zaostala neuravnoteženost, stepen kvaliteta $Q = 6,3 \div 15 \text{ gr mm}$.

IV. PRIMENA INŽINJERSTVA POUZDANOSTI U RAZVOJU ELEKTROVENTILATORA

Visoka pouzdanost je veoma poželjan atribut bilo kog proizvoda, sistema ili postrojenja. Za industrijske sisteme i postrojenja, pouzdanost direktno utiče na inherentnu raspoloživost, a saglasno tome i na povraćaj ulaganja. Za komercijalne proizvode, visoka pouzdanost može da obezbedi proizvođaču konkurentsku prednost, što dovodi do povećanja tržišnog udela i zbog toga većih profita.

U svim slučajevima, pouzdanost proizvoda ili sistema je pod snažnim uticajem odluka donetih u toku projektovanja i razvoja procesa. Nedostaci u konstrukciji utiču na sve proizvedene predmete i ispravljanje nedostataka je progresivno skuplje kod razvijenih sredstava. Promena konstrukcije kod proizvoda za koje je počela proizvodnja nije ekonomična. Pouzdanost je parametar konstrukcije i kao takva zahteva specifičan dizajn i napor da se postigne potreban nivo pouzdanosti.

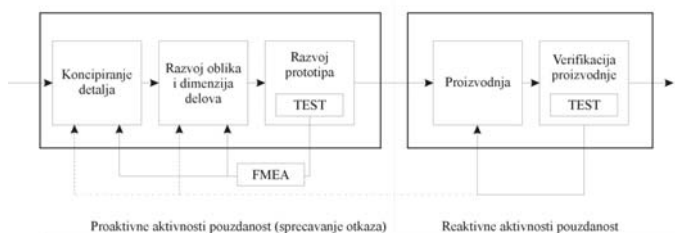
Svako predloženo rešenje (bilo konceptualnog ili detaljnog dizajna) treba da bude verifikovano ispitivanjem u uslova definisanim propisima ili standardima pre nego što proizvodnja počne. Verifikacija pre svega podrazumeva analizu i testiranje čime će da se potvrdi saglasnost sa zahtevima. Jednostavnu ilustraciju ovog razvojnog procesa proizvoda gde je koncipiranje detalja i razvoj oblika i dimanzija detalja proizvoda prati verifikacija (analiza i / ili test) je prikazan na slici 2. Iterativna priroda ovog procesa je evidentna iz slike. Ukoliko se testiranjem identifikuje bilo koji nedostatak proizvoda, konstrukcija mora biti poboljšana. Iteracija procesa je primenljiva na sve zahteve performansi, uključujući i pouzdanosti.

Inženjerstvo pouzdanosti je integrisano u proces razvoja proizvoda. Dva su osnovna aspekta inženjerstva pouzdanosti:

- Inženjerstvo pouzdanosti je po prirodi iterativni proces;
- Inženjerstvo pouzdanosti je sastavni deo sistema inženjerskih procesa.

Inženjerstvo pouzdanosti je multidisciplinarni pristup koji se uporedo sprovodi u svakoj od faze životnog ciklusa proizvoda. Faza projektovanja proizvoda i sistema sastoji se od faze konstruisanja (detail design) kao i validacija dizajna pre realizacije proizvodnje. Sve aktivnosti pouzdanosti pre proizvodnje su proaktivne aktivnosti i sastoje se od svega što može da se uradi u cilju poboljšanja pouzdanost pre isporuke prvim kupcima. Aktivnosti postaju reaktivne kada je proizvod ili sistem pušten u proizvodnju. Promene konstrukcije nakon ove tačke su mnogo skuplje i potrebno je više vremena za njihovo sprovođenje.

Pristup u razvoju proizvoda na bazi željenog radnog veka, koji je korišćen u razvoju elektroventilatora dat je na slici 2.



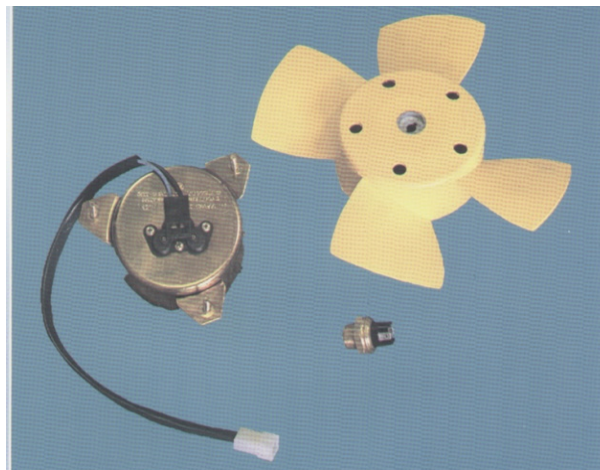
Slika 2. Razvoj proizvoda na bazi željenog radnog veka [1]

U cilju preventivnog delovanja, odnosno izbegavanja potencijalnih grešaka na novim proizvodima, neophodno je primeniti odgovarajuće metode i tehnike za smanjenje neodređenosti u fazi razvoja proizvoda [4, 5]: FTA (Fault Tree Analysis), projektna/procesna FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), FRACAS (Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System), WCA (Worst Case Analysis) i HALT & HASS (Highly Accelerated Life Tests and Highly Accelerated Stress Screens). U ovom konkretnom slučaju razvoja novog elektroventilatora je u iterativnom procesu razvoja korišćena projektna i procesna FMEA, na osnovu koje su rađene korektivne akcije na postojećoj konstrukciji, izrađivan prototip i nakon toga vršeno testiranje u predviđenim uslovima propisanim TU.

Testiranje proizvoda je veoma važan deo validacije proizvoda i treba da se sprovede pre punog obima proizvodnje. Prema tome, svaka varijanta elektroventilatora testirana je do otkaza. Pokazatelj pouzdanosti je bio radni vek elektroventilatora, koji je, kao što je već rečeno, trebao da iznosi 3000 časova. Razvoj elektroventilatora je vršen u iterativnom procesu dok se nije došlo do varijante koja je ispunila definisani cilj razvoja.

Na slici 3. je prikazano rešenje elektroventilatora od koga je počeo razvoj i konačno rešenje novog proizvoda – elektroventilatora (slika 4).

Rezultati dobijeni testiranjem su verifikovani, te je izvedena i homologacija novog proizvod. Homologacija elektroventilatora je izvršena u Zastava Institutu u Kragujevcu. Na ispitivanje je dostavljeno 3 uzorka. Na radni vek su ispitivana 2 uzorka. Uslovi probe su: 3000h rada pri $U=13V$ na $T=80^{\circ}C$.



Slika 3. Prvobitno rešenje elektroventilatora



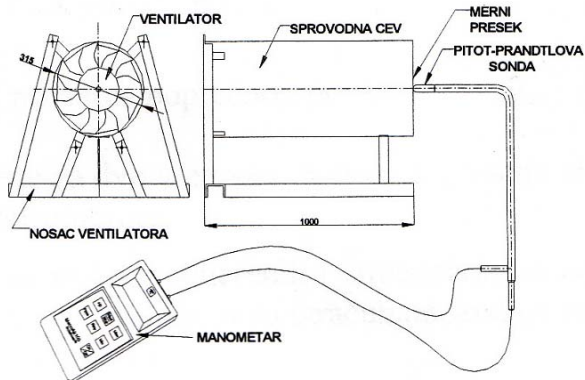
Slika 4. Konačno rešenje novog elektroventilatora [1]

Uzorak broj 1 je otkazao posle 4100 h rada. Uzrok otkaza je istrošenost četkice (-), pri čemu je ista potrošena ispod 2/3 svoje dužine.

Uzorak broj 2 je otkazao posle 4960 h rada. Kod njega je takođe uzrok otkaza potrošnja četkice (-).

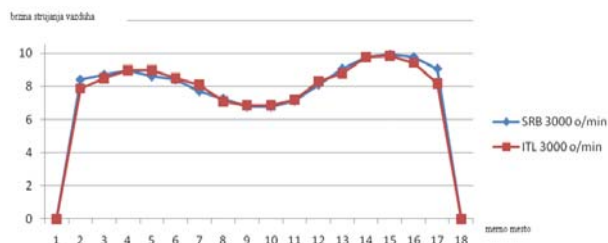
Verifikacija konstrukciono novog elektroventilatora može da se izvede uporednim ispitivanjem sa elektromotorima konkurencije. Cilj je ustanoviti sličnosti i razlike u performansama, u odnosu na proizvode konkurencije koji su slični po veličini, karakteristikama i nameni.

Uporedna ispitivanje su obuhvatila merenje fizičkih veličina (pad pritiska, temperature) u 16 zadatih mernih tačaka na izlazu iz sprovodnog kola, za vrednosti napona 12V, 13V i pri istom broju obrtanja od 3000 min^{-1} , za novi razvijeni elektroventilator i elektroventilator firme SPAL. Na slici 5. dat je šematski prikaz opreme na kojoj su vršena uporedna ispitivanja elektroventilatora.



Slika 5. Merna oprema za uporedno ispitivanje elektroventilatora

Na slici 6. date su preračunate brzine strujanja vazduha u odnosu na položaj mernih mesta, pri $n=3000 \text{ min}^{-1}$. Dijagram prikazuje objektivni odnos brzina strujanja novoosvojenog elektroventilatora i elektroventilatora konkurencije.



Slika 6. Brzine strujanja vazduha u odnosu na položaj mernih mesta

Uvidom u uporedne rezultate ispitivanja [1] može se zaključiti da novi proizvod, elektroventilator, ni u čemu ne zaostaje za sličnim proizvodima konkurencije, već ostvaruje adekvatne parametre sa manjom masom, od sličnog proizvoda konkurencije.

V. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenog procesa razvoja novog proizvoda (elektroventilatora), koji je opisan u ovom radu, te rezultata dobijenih testiranjem, validacije, varifikacije i homologacije novog proizvoda na kraju postupka iteracije, prema zadatom radnom veku, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Razvijen je novi tipa DC motora, sa performansama sa kojima je konkurentan na svetskom tržištu.
- Razvijen je novi oblik elise i usmerivača elektroventilatora.
- Razvijen je novi tip elektroventilatora sa željenim radnim vekom 3000 časova, namenjenog za hlađenje motora SUS i termički komfor kabine automobila.
- Izvršena je eksperimentalna verifikacija svake iteracione razvojne varijante elektromotora u komorama, u kojima se simuliraju uslovi rada u eksploataciji, do otkaza ispitnog uzorka.

- Izvršena su homologaciona ispitivanja i potvrđena konačna razvijene verzije elektroventilatora u ustanovi koja je ovlašćena za homologaciona ispitivanja.
- Dobije je novi elektroventilator povećane korisne snage po jedinici mase.

Ovakav elektroventilator može da se ugrađuje na automobilima za područja gde je veliki broj sunčanih dana (npr. Severna Afrika, Bliski istok), kao i na vozilima na kojima je ugrađen klima uređaj. Dobijen proizvod ima veliku perspektivu izvoza i na druga tržišta, za autoindustriju Rusije, Evrope, Dalekog istoka itd.

LITERATURA

- [1] B. Popović, "Istraživanje i razvoj kolektorskih elektromotora za potrebe automobilske industrije sa aspekta pouzdanosti", Doktorska disertacija, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, 2012.
- [2] Østerås, T., D. N. P. Murthy and M. Rausand: "Reliability Performance and Specifications in New Product Development". Research report, NTNU, ISBN 82-91917-17-5, 2004
- [3] Østerås, T., D. N. P. Murthy and M. Rausand: "Reliability Specification in New Product Development", accepted for publication in the International Journal of Product Development, 2006
- [4] Popović, B., Milčić, D., Mijajlović, M.: "Analysis of the cause and types of the collector electromotor's failures in the car cooling systems". Machine design, The editor of the monograph prof. phd. Siniša Kuzmanović, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, 2009., pp 151-156, ISSN 1821-1259.
- [5] Popović, B., Milčić, D., Mijajlović, M.: "FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS OF THE AUTO COOLING FAN MOTOR", Machine design, The editor of the monograph prof. phd. Siniša Kuzmanović, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, 2010., pp 69-74, ISSN 1821-1259.

ABSTRACT

System for motor vehicle cooling is one of the most important systems for safety of internal combustion engine (IC engine), and engine cooling fan motor is a key subsystem of this system. It ensures that engine operating temperature is within allowed limits and it protects engine from failure of entire internal combustion engine, and vehicle in whole. This engine cooling fan motor is a key subsystem for vehicle air conditioning as well, because it cools air conditioning system cooler at the same time. Engine cooling fan motor consists from DC engine and radiator cooling fan. DC engine is a subsystem of mentioned systems which has the most important influence on no failure engine cooling fan work, and according to that, on no failure work of engine cooling system and vehicle air conditioning system. The main subject of this paper is development of engine cooling fan from the reliability aspect, in fact, according to required work life of 3000 hours.

Key words: Engine Cooling Fan, DC Engine, New Product Development, Reliability

DEVELOPMENT OF ENGINE COOLING FAN FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY PURPOSE FROM THE ASPECT OF REALIABILITY

Dragan Milčić, Branislav Popović, Biljana Marković, Dragoljub Živković, Miodrag Milčić