FTA analiza hidraulične ručne pumpe

VIOLETA V. ĐORĐEVIĆ, Visoka tehnička mašinska škola

strukovnih studija, Trstenik

LJILJANA S. PEČIĆ, Visoka tehnička mašinska škola

strukovnih studija, Trstenik

Stručni rad

UDC: 621.522:[519.718:614.8

DOI: 10.5937/tehnika1902235D

U uslovima velike ponude proizvoda na tržištu, pred proizvođače se postavljaju sve veći zahtevi kupaca. Cilj svakog preduzeća koje želi da opstane na tržištu, da bude konkurentno i uspešno, je ispunjenje zahteva kupaca, odnosno korisnika proizvoda. Mera zadovoljstva kupca je održavanje i poboljšanje kvaliteta i pouzdanosti proizvoda. Povećavanjem zahteva korisnika, povećavaju se i zahtevi za povećanjem kvaliteta proizvoda. Da bi se postigao određeni nivo kvaliteta proizvoda, potrebno je tim kvalitetom upravljati. Izazov je osmisliti kvalitet i pouzdanost u ranim fazama izrade proizvoda. Postoje različite metode i alati koji se mogu koristiti za postizanje boljih rezultata. Jedna od metoda za upravljanje kvalitetom je FTA (Fault Tree Analysis), odnosno, analiza stabla otkaza. U ovom radu je prikazana primena FTA analize na hidrauličnoj ručnoj pumpi. Utvrđeno je do kojih neispravnosti dolazi pri eksploataciji ove pumpe i kako se te neispravnosti mogu otkloniti.

Key words: FTA analiza, stablo otkaza, hidraulična ručna pumpa, kvalitet proizvoda

1. UVOD

Sa stanovišta posledica postoje dve osnovne grupe nedostataka proizvoda: nedostaci koji se otkriju pre nego što proizvod dopre do kupca i nedostaci koji se javljaju tokom eksploatacije, odnosno kod korisnika.

Druga grupa nedostataka ima mnogo ozbiljnije posledice i treba sprečiti da nedostatak dopre do kupca. Oko 80% nedostataka nastaje pre uvođenja proizvoda u serijsku proizvodnju, dok se tokom proizvodnje otkrije i otkloni (promenom projektnog rešenja, tehnologije, materijala...) otprilike isti procenat nedostataka. Ovo je skuplji način otklanjanja nedostataka [1].

Analiza stabla otkaza (FTA – Fault Tree Analysis) je jedna od osnovnih i najčešće korišćenih metoda za analizu sigurnosti i pouzdanosti tehničkih sistema [2, 3].

Ova metoda je razvijena 60-tih godina XX veka u SAD-u. Idejni tvorac metode je H. A. Watson iz firme „Bell Telephone Laboratories“. On je tokom 1961. i 1962. godine razradio i primenio ovu metodu u analizi sigurnosti sistema za lansiranje raketa, za potrebe rat-

tnog vazduhoplovstva [4]. Od tada pa sve do danas, ova metoda se koristi za dijagnostiku otkaza složenih tehničkih sistema.

FTA prevodi fizički sistem u logičan dijagram i njena primena se kreće od početaka u avio industriji do nuklearnih elektrana [5]. Ova analiza je jedan od alata koji se koristi za procenu pouzdanosti sistema. Zbog svoje jednostavnosti, fokusiranja na moguće načine otkaza, ima široku primenu [6].

Cranwell [7] je dao pregled razmatranja pouzdanosti. Pouzdanost i optimizacija u procesu projektovanja proizvoda smanjuje 15-20% ukupnih troškova životnog ciklusa proizvoda [8].

Nakon razvijanja ove metode, razvijena su i uputstva koja opisuju kako se inženjerski sistem može modelirati [9]. Modeliranje sistema daje rezultate u predstavljanju logike grešaka koje dovode do otkaza proizvoda, koje se onda mogu kvantitativno odrediti [10, 11].

Kvantifikacija modela daje kombinacije kvarova svih komponenti, koje mogu da izazovu otkaz sistema, verovatnoću otkaza sistema i učestanost otkaza sistema [12].

FTA analiza ima široku primenu i u analizi sigurnosti proizvoda, jer je u stanju da predvidi uzrok otkaza izvan mehaničkog kvara [13]. Na primer, u stanju je da uzme u obzir ljudske greške i druge spoljašnje uticaje.

Adresa autora: Violeta Đorđević, Visoka tehnička mašinska škola strukovnih studija, Trstenik, Radoja Krstića 19

e-mail: violeta.djordjevic@vtmsts.edu.rs

Rad primljen: 14.06.2018.

Rad prihvaćen: 28.11.2018.

2. FTA ANALIZA

Analiza stabla otkaza se najčešće primenjuje u fazi projektovanja proizvoda i omogućava predviđanje najverovatnijih uzroka otkaza proizvoda. Neželjeni efekti u FTA analizi se nazivaju vršni događaji.

Cilj konstruisanja stabla otkaza je modeliranje uslova koji rezultuju pojavom vršnog, neželjenog otkaza. Analiza počinje definisanjem neželjenog događaja, a potom se pronalaze otkazi elemenata sistema i greške koje mogu dovesti do neželjenog događaja.

Stablo otkaza grafički prikazuje odnose između specifičnih događaja i kako ovi događaji mogu da prouzrokuju prethodno naznačen neželjeni vršni događaj. Neželjeni događaj se nalazi u gornjem delu dijagrama, a grane stabla su događaji koji mogu da dovedu do tog neželjenog događaja.

Putevi otkaza se odnose na redoslede događaja koji vode do navedenog neželjenog događaja. Potrebno je utvrditi sve redoslede događaja i logički dokazati poreklo pomoću lanca slučaja, tako što se unesu svi događaji koji mogu da uzrokuju događaj koji je već na dijagramu. Uvek se polazi od neželjenog vršnog događaja.

Slika 1 - Metodologija analize stabla otkaza [1]

Metologija analize stabla otkaza obuhvata [1]: određivanje vršnog događaja, upoznavanje načina rada sistema koji se analizira, konstrukciju stabla otkaza, usvajanje stabla otkaza, ocenu stabla otkaza i obezbeđenje preporuka i alternativa za donošenje odluka o potrebnim korektivnim merama.

Određivanje vršnog događaja - Kada se analiza otkaza vrši sa ciljem određivanja kritičnosti delova

sistema, za vršni događaj se bira otkaz sistema (događaj koji se treba sprečiti), pri čemu se on mora potpuno definisati, da bi se precizno definisali i događaji koji dovode do vršnog stanja.

Upoznavanje načina rada sistema koji se analizira – Da bi se izvršila potpuna i ispravna analiza, kojom se mogu povezati svi uslovi koji su potrebni za realizaciju vršnog događaja, potrebno je potpuno poznavanje načina rada sistema, njegovih sastavnih elemenata i međusobnih odnosa i veza. Potrebno je koristiti informacije iz: šema, dijagrama, tehničkih crteža, funkcionalnih blok dijagrama, priručnika za rukovanje i održavanje, a takođe, i podatke iz procesa, kao što su izveštaji održavanja i karte otkaza tehnoloških sistema.

Konstrukcija stabla otkaza - Konstrukcija stabla otkaza se vrši pomoću logičkih „I“ i „ILI“ kapija i standardizovanih simbola događaja i prenosa, prikazanih u tabeli 1. Pod događajem se podrazumeva neki uslov, stanje elementa, funkcija elementa, tehnološka veličina nekog procesa.

Usvajanje stabla otkaza – Kada se završi konstrukcija stabla otkaza, proverava se tačnost i kompletnost stabla, kako bi se utvrdili propusti i greške. Stablo mora potpuno i jasno da opisuje sistem i njegovo funkcionisanje, mora da postoji funkcionalna zavisnost i logika ostvarenja vršnog događaja. Događaji na ulazu u logičke kapije moraju da budu potrebni i dovoljni da bi se dobio navedeni izlaz.

Ocena stabla otkaza – Kada se usvoji stablo otkaza obavlja se njegova kvalitativna i kvantitativna analiza. Kvalitativna analiza predstavlja određivanje minimalnog preseka skupa događaja, koji dovode do pojave vršnog događaja. Kvantitativna analiza stabla otkaza prvo procenjuje srednje vreme do pojave otkaza i srednje vreme trajanja otkaza, a zatim se simuliraju otkazi odgovarajućim statističkim postupkom, i određuje verovatnoća pojave vršnog neželjenog događaja, pri čemu se uzimaju u obzir svi mogući putevi u stablu otkaza.

Obezbeđenje preporuka za donošenje odluke - Na osnovu rezultata ocene stabla otkaza, određuju se glavni uticajni faktori (otkazi delova) na pojavu vršnog događaja (otkaza sistema), što je i cilj analize. Stablo otkaza daje mogućnost da se sagledaju kritični putevi ka vršnom događaju i utvrde mere za njihovo otklanjanje ili sprečavanje.

Simboli za prenos se koriste radi jednostavnijeg obeležavanja i boljeg pregleda, tako da se jedan događaj ili niz događaja ili čitava grana stabla prenosi sa jednog mesta stabla na drugo mesto. Koristi se trougao za prenos koji označava gde se taj deo stabla ponavlja na drugom mestu, trećem, itd. Simboli za prenos pojednostavljuju konstruisanje stabla i daju uštedu u prostoru.

Tabela 1. Standardni simboli FTA metode [1]

Naziv	Simbol	Opis
Događaj na izlazu iz kapije ili opšti događaj		Događaj koji se javlja kao posledica neke logičke kombinacije ulaznih događaja koji deluju kroz logičku kapiju
Bazični događaj		Događaj koji ne zahteva dalje razvijanje. To je nezavistan događaj koji se koristi samo kao ulaz u logičku kapiju
Nerazvijeni događaj		Događaj koji nije razvijen do sopstvenog uzroka. Razvoj je prekinut zbog nepostojanja potrebnih informacija ili sredstava ili zbog niskog rizika ili da bi se izbegla redundantnost analize.
Normalno očekivani događaj		Događaj čije se pojavljivanje prirodno očekuje tokom normalnog funkcionisanja sistema
Zadovoljavajući događaj		Događaj na izlazu iz logičke kapije koji u sistemu jednostavno postoji, a koristi se da pokaže upotpunjenost logičke analize
I kapija		Logička kapija koja proizvodi izlaz samo u slučaju se dese svi ulazni događaji. Sadrži identifikacionu reč "I"
ILI kapija		Logička kapija koja proizvodi izlaz slučaju se desi barem jedan od ulaznih događaja. Sadrži identifikacionu reč "ILI"
Uslovna kapija		Uslovni događaj koji neke uslove ili ograničenja primenjuje na logičku kapiju ili izlazni događaj. Uslov koji se nameće upisuje se u elipsu
Sabirajuća kapija		Posebna logička kapija kod koje se izlazni događaj dešava samo ukoliko se desi prihvatljiva kombinacija ulaznih događaja

Principi za konstruisanje stabla otkaza su sledeći: analitičko stablo treba da bude jednostavno koliko to dozvoljava složenost sistema, stablo treba da bude logično, odabrani opisi treba da budu jednostavni i

jasni, broj redova stabla na jednoj stranici ne treba da bude veći od četiri ili pet, sistem numerisanja događaja ispod vršnog događaja treba da bude jasan i dosledan, treba koristiti simbole za prenos da bi se

izbeglo dupliranje identičnih grana ili segmenata stabla i da bi se smanjila složenost stabla koje se nalazi na jednoj stranici.

3. HIDRAULIČNA RUČNA PUMPA SERIJE 40-506.900

Postoje četiri različite hidraulične ručne pumpe iz serije 40-506.900, kao što se vidi na slici 2. To je pumpa 40-506.900 bez dodatne oznake i pumpe oznake K1, K2 i K3.

Slika 2 - Ručne pumpe za kabinu vozila serije 40-506.900 [14]

U ovom radu je razmatrana hidraulična ručna pumpa 40-506.900-K1, pumpa za naganjanje kabine na motornim vozilima iz proizvodnog programa preduzeća PPT Hidraulika AD.

To je ručna pumpa klipnog tipa, visokog pritiska i malih dimenzija. Garantuje funkcionalno podizanje i spuštanje kabine. Namenjena je za rad u hidrauličkom sistemu sa jednosmernim ili dvosmernim cilindrom. Klipovi u pumpi su potpuno zaštićeni od dejstva prljavštine i atmosferskih uticaja. Imaju ugrađen filter za zaštitu prigušnih otvora i ventila od prljavštine, čime se obezbeđuje visoka pouzdanost u eksploataciji. Delovi pumpe se proizvode od visoko kvalitetnih materijala sa odgovarajućom termičkom obradom i galvanskom zaštitom. Izrađuju se u serijskoj proizvodnji sa ispitivanjem svih pumpi nakon montaže. Ugrađuju se na kamionima KAMAZ – najvećeg ruskog proizvođača komercijalnih vozila.

Tehnički podaci [15]: tip pumpe – ručna hidraulična 40-506.900, maksimalni pritisak 250 bar, ventil sigurnosti podešen na 180^{+30} bar, zapremina rezervoara 550 cm³, specifični protok ~6,9 cm³, moment na ručici max 20 daNm, težina (bez radne tečnosti) 3 kg, radna tečnost - mineralno hidrauličko ulje viskoziteta 20÷400 mm²/s, pritisak otvaranja odušnog ventila 1,5 bar, temperatura radne okoline 45÷80°C.

Ova pumpa se ugrađuje u hidrauličku instalaciju obavezno vertikalno tako da oduška bude na najvišem nivou. Za ugradnju treba odabrati lako pristupno

mesto. Prilikom transporta treba zadržati vertikalni položaj ručice. Ručica i poluga treba da budu lako dostupne kako bi se omogućilo njihovo postavljanje u položaje koji omogućavaju ispravno podizanje i spuštanje kabine vozila.

Mogući načini ugradnje ručne pumpe u vozila, po preporuci proizvođača, navedeni su u katalogu proizvođa i prikazani na slici 3.

Slika 3 - Način ugradnje ručne pumpe u vozila

Nakon ugradnje pumpe, sledeći korak je nalivanje radne tečnosti. Prvo se oduška odviše i odloži. Zatim se poluga postavlja u donji položaj čime se klip dovodi u najnižu tačku. Kroz otvor na mestu oduške uliva se 0,5 l radne tečnosti u rezervoar pumpe. Nakon punjenja instalacije nivo radne tečnosti u rezervoaru mora biti u granicama min÷max, što je označeno na meraču.

Kabina se podiže tako što se ručica okreće u smeru kazaljke na satu, sve do graničnika, i time se razvodna osovina dovodi u položaj za podizanje kabine. Pokretanjem poluge ostvaruje se aksijalno kretanje klipa čime se vrši usisavanje i potiskivanje radne tečnosti u komoru B, a radna tečnost iz instalacije i komore A se vraća u rezervoar.

Za spuštanje kabine ručica se postavlja u vertikalni položaj i na taj način se razvodna osovina dovodi u položaj za spuštanje kabine. Preko poluge se ostvaruje naizmenično aksijalno kretanje klipa čime se vrši usisavanje i potiskivanje radne tečnosti u komoru A, a radna tečnost se iz instalacije i komore B vraća u rezervoar.

Nakon ugradnje pumpe i nalivanja radne tečnosti, pumpa je spremna za rad. Okretanjem razvodne osovine pomoću ručice, ostvaruje se komunikacija za potiskivanje radne tečnosti u vod A ili vod B. Pokretanjem poluge ostvaruje se naizmenično aksijalno kretanje klipa, a time se ostvaruje usisavanje ili potiskivanje radne tečnosti. Podizanjem poluge na gore podiže se i klip, čime se stvara prazan prostor ispod

klipa, usled čega se podiže kuglica usisnog ventila i radna tečnost iz komore rezervoara preko usisnog sita puni komoru ispod klipa. Pokretanjem poluge na dole i klip se kreće na dole i potiskuje radnu tečnost preko potisnog ventila u komoru A. Za to vreme radna tečnost iz komore B, preko razvodne osovine i prigušnika nepovratnog ventila, se vraća u rezervoar. Princip rada je prikazan na slici 4.

Slika 4 - Presek-princip rada ručne pumpe [14]

Konstrukcionu strukturu ručne pumpe 40-506.900-K1 čini pet podsklopova i njihove funkcije u okviru uređaja su sledeće [16]:

- ploča 40-506.902 – garantuje prenos momenta sa poluge na radni klip,
- telo 40-506.905 – prihvata zaptivanje između tela i rezervoara u sklopu sa funkcijom bez curenja,
- merač 40-506.920 – omogućava proveru nivoa ulja u rezervoaru za pravilan rad uređaja,
- klip 40-506.924 – omogućava pretvaranje mehaničke sile u hidrauličku i
- oduška 40-510.530 – omogućava protok vazduha u i iz rezervoara.

4. PRIMENA FTA METODE

Za pravilno sprovođenje FTA metode, potrebno je poznavati princip rada pumpe, način ugradnje u vozila, konstrukcionu strukturu pumpe i funkciju svih komponenti u okviru uređaja, što je već navedeno.

Neispravnost pumpe koja se može dogoditi, može biti potpuna ili delimična. Ako pumpa gubi svoju funkciju, neispravnost je potpuna. Ako pumpa radi, ali su njene radne karakteristike znatno pogoršane, onda je neispravnost delimična.

FTA metoda uvek otpočinje definisanjem neželjenog događaja, a zatim se pronalaze svi mogući otkazi elemenata sistema i proceduralne greške koje mogu dovesti do neželjenog događaja.

U ovom primeru, kod ručne hidraulične pumpe, neželjeni vršni događaj je neispravnost pumpe. Taj događaj se unosi u prvi red stabla otkaza, kako je prikazano na slici 5. Neželjeni vršni događaj je složeni događaj koji se razvija dalje, pa se unosi u pravougaonik.

Kada se utvrde svi mogući uzroci koji dovode do neispravnosti pumpe, oni se unose kao grane stabla u stablo otkaza. Ti uzroci neispravnosti se unose u pravougaonike, kao opšti, složeni događaji, koje treba razvijati dalje i utvrditi i njihove uzroke, kako je prikazano u stablu otkaza. Ovi događaji predstavljaju drugi red stabla otkaza. U ovom primeru to su:

- nema podizanja kabine,
- podizanje kabine nedovoljno i
- spoljašnje curenje.

Nakon toga se ovi uzroci dalje razvijaju i otkrivaju se svi mogući uzroci njihovog nastanka. Ti uzroci se unose u rombove, kao događaji koji se dalje ne razvijaju.

U drugom redu stabla otkaza prvi mogući uzrok neispravnosti pumpe je da nema podizanja kabine vozila. To je potpuna neispravnost. Uzroci ove neispravnosti mogu biti višestruki:

- razvodna osovina nije u položaju podizanja kabine,
- nema radne tečnosti u rezervoaru,
- zaprljanost sita,
- pohabana ili oštećena manžetna,
- pohabana ili oštećena poliamidna zaptivka i
- neispravan potisni ventil.

Logička kapija koja proizvodi izlaz u ovom slučaju je „ILI“, jer ako se dogodi bar jedan od ulaznih događaja, doći će do neispravnosti pumpe. Ovi događaji predstavljaju treći red stabla otkaza i unose se ispod prvog mogućeg uzroka neispravnosti pumpe.

Drugi mogući uzrok neispravnosti pumpe je nedovoljno podizanje kabine vozila. To je delimična neispravnost. Uzrok ove neispravnosti je samo jedan i to je:

- nedostatak radne tečnosti u rezervoaru, odnosno, nedovoljna količina radne tečnosti.

Ovaj događaj se nalazi u trećem redu stabla otkaza i unosi se ispod drugog mogućeg uzroka neispravnosti pumpe.

Treći mogući uzrok neispravnosti pumpe je spoljašnje curenje. U ovom slučaju ima više uzroka neispravnosti:

- curenje na poluzi,
- curenje na razvodnoj osovini i
- curenje na spoju tela pumpe i rezervoara.

Logička kapija koja proizvodi izlaz i u ovom slučaju je "ILI", jer ako se dogodi bar jedan od ulaznih događaja, doći će do neispravnosti pumpe, odnosno, do potpunog ili delimičnog gubitka radne sposobnosti pumpe. Ovi događaji predstavljaju treći red stabla otkaza i unose se ispod trećeg mogućeg uzroka neispravnosti pumpe.

Svi uzroci neispravnosti su, pored stabla otkaza, grupisani i navedeni i u tabeli 2. Takođe, pored

mogućih uzroka neispravnosti, navedeni su i načini otklanjanja tih neispravnosti. Na primer, ako je podizanje kabine nedovoljno, uzrok je nedostatak radne tečnosti u rezervoaru, a otklanjanje problema je dolivanje radne tečnosti u određenoj količini tako da nivo radne tečnosti mora da bude u granicama min÷max što je označeno na meraču nivoa radne tečnosti.

Svaki uzrok moguće neispravnosti ima i svoj način otklanjanja, tako da se primenom navedenih mera ponovo omogućava ispravan rad pumpe.

Tabela 2. Uzroci moguće neispravnosti i otklanjanje - ručna pumpa 40-506.900-K1

uzroci moguće neispravnosti	otklanjanje
nema podizanja kabine	
razvodna osovina nije u položaju podizanja kabine	ručicu okrenuti u smeru kazaljke na satu do graničnika
nema radne tečnosti u rezervoaru	odviti odušku i naliti radnu tečnost (nivo mora da bude u granicama min÷max označeno na meraču)
zaprljanost sita	skinuti rezervoar i pažljivo oprati i očistiti sito
pohabana ili oštećena manžetna	demonirati pumpu i zameniti manžetnu, pre montaže, manžetnu umočiti u ulje ili namazati mašću za podmazivanje
pohabana ili oštećena poliamidna zaptivka	demonirati pumpu i zameniti zaptivku, pri montaži zaptivku ispravno postaviti u kanal i namazati mašću za podmazivanje
neispravan potisni ventil	proveriti sedište ventila i oprugu, u slučaju oštećenja zameniti razvodnu osovinu ili oprugu
podizanje kabine nedovoljno	
nedostatak radne tečnosti u rezervoaru	proveriti uz pomoć merača i doliti radnu tečnost, nakon potpunog podizanja kabine, nivo radne tečnosti mora da bude u granicama min÷max označeno na meraču
spoljašnje curenje	
curenje na poluzi	zameniti o-prsten
curenje na razvodnoj osovini	zameniti zaptivke
curenje na spoju tela pumpe i rezervoara	zameniti zaptivku

Slika 5 - Stablo otkaza ručne pumpe

5. ZAKLJUČAK

Najveći broj problema kvaliteta na proizvodima se javlja zbog grešaka napravljenih još u fazi razvoja proizvoda i procesa, a manji deo zbog propusta u procesu proizvodnje, kontrolisanja i eksploataciji.

Moguće greške na proizvodu uzrokuju za korisnika različite posledice, od beznačajnih koje korisnik skoro da ne primeti, do teških grešaka koje nose opasnost po život i zdravlje korisnika, odnosno okoline.

U ovom radu je analizirana hidraulična ručna pumpa 40-506.900-K1 i na toj pumpi je primenjena

FTA analiza. Ova analiza pokazuje do kojih otkaza, odnosno neispravnosti, može da dođe u radu ove pumpe i koji su potencijalni uzroci ovih neispravnosti. Navedeni su i načini otklanjanja istih (tako što se otklanjaju uzroci koji su doveli do neispravnosti).

Time se pokazuje pozitivan uticaj ove analize na brže otklanjanje neispravnosti, ako do njih dođe, i što je najvažnije, smanjenje nastanaka grešaka u projektovanju i procesu, primenom u početnim fazama projekta. Samim tim se utiče i na smanjenje troškova u procesu proizvodnje i povećanje nivoa kvaliteta proizvoda.

FTA metoda se može iskoristiti za izradu FMEA analize, za izradu plana održavanja, a u fazi eksploatacije proizvoda može se koristiti kao dijagnostičko sredstvo za utvrđivanje najverovatnijih uzroka nastalog otkaza.

LITERATURA

- [1] Vulanović V, Stanivuković D, Kamberović B, Radaković N, Maksimović, R, Radlovački V, Šilobod M, *Metode i tehnike unapređenja procesa rada*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Institut za industrijsko inženjerstvo i menadžment, Novi Sad, 2003.
- [2] Barlow R. E, Proschan, F, *Statistical Theory of Reliability and Life Testing Probability Models*, Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York, 1975.
- [3] Lazor J. D, *Failure mode and effect 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] Henley J. E, Kumamoto, H. *Reliability Engineering and Risk Assessment*, Prentice-Hall, 1981.
- [5] Baig A. A, Ruzli R, Buang A. B, Reliability Analysis Using Fault Tree Analysis: A Review, *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, Vol. 4, No. 3, June 2013.
- [6] Barringer P, Barringer P. E. & Associates. An Overview of Reliability Engineering Principles, *Penn Well Conferences*, January 29 – February 2, 1996.
- [7] Cranwell R. M, Ground Vehicle Reliability – Design for Reliability, *2007 DoD Maintenance Symposium*, Orlando, Florida, November 13-16, 2007.
- [8] Patil R. B, Waghmode L. Y, Chikali P. B, Mulla T. S, An Overview of Fault Tree Analysis (FTA) Method for Reliability Analysis & Life Cycle Cost (LCC) Management, *IOSR Journal of Mechanical & Civil Engineering (IOSR-JMCE) ISSN: 2278-1684, PP: 14-18*
- [9] Hassl D. F, Roberts, N. H, Vesley W. E, Goldberg, F. F. *Fault Tree Handbook*, NUREG-0492, US Nuclear Regulatory Commission, 1981.
- [10] Andrews J. D, Moss T. R, *Reliability and Risk Assessment*, Professional Engineering Publishing Limited, London, 2002
- [11] Henley E. J, Kumamoto H, *Reliability Engineering and Risk Assessment*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.
- [12] Dunnett S, Andrews J. D, *Analysis methods for fault trees that contain secondary failures*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 218 (2), pp. 93-102, 2004.
- [13] Bahr N. J, *System Safety Engineering and Risk Assessment: A practical approach*, Washington, D. C.: Taylor and Francis, 1997.
- [14] Katalog – ručne pumpe, PPT Hidraulika
- [15] Uputstvo za eksploataciju i održavanje – ručna pumpa 40.506.900, PPT Hidraulika.
- [16] Blok šema uređaja ručna pumpa 40-506.900-K1 – FH.R.P2.73.01, PPT – Hidraulika.

SUMMARY

FTA ANALYSIS FOR HYDRAULIC HAND PUMP

Under the conditions of a huge products offers, the manufacturers are under the increasingly customer's demands. The goal of each company, striving to survive on the market, to be competitive and successful, is fulfillment of customer's or user's requirements. The measure for increasing customer's satisfaction is maintaining and improving the quality and reliability of the product. Increase of the user's demands leads to increase of the overall product quality. In order to achieve a certain level of product quality, it is necessary to manage quality. The challenge is to create quality and reliability in the early stages of product development. There are various methods and tools that can be used for better results achievement. One of the methods for managing quality is FTA (Fault Tree Analysis). This paper presents the application of FTA analysis to a hydraulic manual pump.

Key words: FTA analysis, Fault Tree Analysis, hydraulic hand pump, product quality