

PREPOZNAVANJE UTJECAJNIH FAKTORA NA KVALITETU I POUZDANOST MALIH RASHLADNIH UREĐAJA

RECOGNITION OF INFLUENTIAL FACTORS ON THE QUALITY AND RELIABILITY OF SMALL REFRIGERATION EQUIPMENT

Veljko Kondić, Marko Horvat, Damir Maderić

Prethodno priopćenje

Sažetak: Tijekom eksploatacije rashladnih uređaja dolazi do pada vrijednosti njihove pouzdanosti zbog trošenja, poremećaja spojeva, temperaturnih promjena i drugih faktora. Iz tih se razloga poduzimaju različite aktivnosti održavanja kako bi se zahtijevana pouzdanost vratila na željenu vrijednost. Najčešće su to aktivnosti preventivnog ili korektivnog karaktera. Uspjeh tih aktivnosti ovisi o dobro i precizno definiranoj tehnologiji. Poznavajući kritične elemente i sklopove koji najviše utječu na kvalitetu i pouzdanost malih rashladnih uređaja, te najutjecajnije faktore, realno je očekivati zadržavanje pouzdanosti na zahtijevanoj razini.

Ključne riječi: Rashladni uređaji, kvaliteta, pouzdanost, kritični sklopovi, preventivno održavanje

Preliminary note

Abstract: During exploitation of refrigeration equipment, its reliability value decreases due to wear, compound disorders, temperature changes, and other factors. Thus various maintenance activities are conducted in order to restore the required reliability to the desired value. The most common activities are those of preventive or corrective character. The success of these activities depends on a well and precisely defined technology. Upon knowing the critical elements and assemblies that have the strongest impact on the quality and reliability of small refrigeration equipment, as well as the most influential factors, it is realistic to expect to retain reliability at the required level.

Key words: refrigeration equipment, quality, reliability, critical assemblies, preventive maintenance

1. UVOD

Jedan od najvažnijih zahtjeva, koji se postavlja pred suvremene rashladne sustave različitih vrsta, kategorija i namjene je visoka pouzdanost, kako uređaja u cjelini, tako i elemenata konstrukcije.

Pod pojmom pouzdanosti rashladnih uređaja ili njegovih sastavnih sklopova i elemenata podrazumijeva se sposobnost očuvanja kvalitete u određenim uvjetima eksploatacije za određeno vrijeme [1].

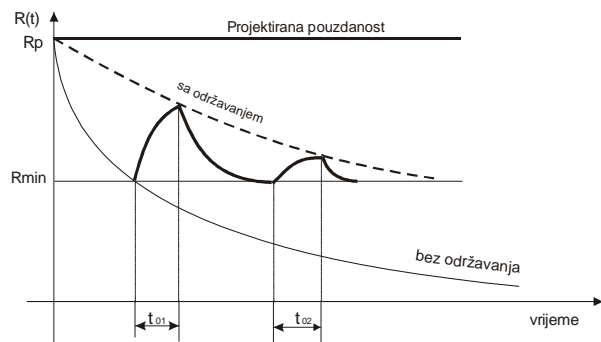
Za definiranje ili predviđanje pouzdanosti uređaja mogu se koristiti različiti pokazatelji pouzdanosti [2]:

- Funkcija pouzdanosti
- Funkcija nepouzdanosti
- Intenzitet kvara
- Raspoloživost
- Vjerojatnost popravka
- Srednje vrijeme rada do kvara
- Srednje vrijeme rada između kvarova
- Koeficijent upotrebljivosti uređaja i dr.

Izbor kriterija i pokazatelja pouzdanosti zavisi, prije svega od ciljeva izračuna ili istraživanja pouzdanosti.

Pouzdanost je jedna od najvažnijih pokazatelja kvalitete i predstavlja inherentno svojstvo rashladnog uređaja, čija početna vrijednost ovisi od mnogo faktora, definiranih još u fazi oblikovanja, odnosno razvoja. To su najčešće: izbor materijala, tolerancije i dosjedi, kinematičke veze, uvjeti podmazivanja i drugi [3].

Kako tijekom njegove eksploatacije dolazi do pada vrijednosti pouzdanosti elemenata i modularnih cjelina, zbog trošenja, poremećaja spojeva, temperaturnih i klimatskih utjecaja, korozije, zamora, destrukcije materijala, i dr., potrebno je poduzimati različite aktivnosti održavanja kako bi se zahtijevana pouzdanost vratila na željenu vrijednost (slika 1.). Najčešće su to aktivnosti koje imaju preventivni ili korektivni karakter. Preventivno održavanje je u svim varijantama u prednosti, jer osigurava kontinuitet rada uređaja, smanjuje ukupne troškove i rješava probleme (uzroke) prije pojave neispravnosti ili kvara [2].



Slika 1. Shematski prikaz kvalitativne promjene funkcije pouzdanosti sa i bez održavanja

Za uspjeh preventivnih aktivnosti važno je dobro definiranje njihovih tehnologija (što, kada, tko, gdje, koliko, s čim?). Osim toga, bitno je poznavanje i kritičnih elemenata i modularnih cjelina na uređajima. Ukoliko se raspolaže s vjerodostojnim podacima iz eksploatacije moguće je:

- utvrditi karakter, vrstu i broj kvarova u određenom vremenskom periodu ili intervalima rada;
- utvrditi zakone razdiobe pojave kvarova konkretnih elemenata, modularnih cjelina i uređaja u cjelini;
- utvrditi utjecaj perioda eksploatacije na pojavljivanje kvar.

Zbog nesigurnosti u podatke iz eksploatacije (različiti uzroci) s jedne i veoma dugog vremena za njihovo prikupljanje u stvarnom životu, s druge strane, veoma često se pribjegava informacijama i podacima iz drugih izvora. Laboratorijska ispitivanja pouzdanosti sigurno su veoma dobra i zadovoljavaju sve potrebe za definiranje tehnologija održavanja, ali su vrlo skupa, dugotrajna i zahtijevaju kompetentne resurse (mjernu opremu, educirane kadrove, financijska sredstva itd.).

Općenito se može kazati, da je za izračunavanje pouzdanosti sustava u strojarstvu i definiranje tehnologija održavanja povezano s mnogo poteškoća. Zbog toga je za praktične probleme prikladno i dozvoljeno uvođenje određenih pojednostavljenja, prvenstveno zbog zanemarivanja elemenata čiji je utjecaj na pouzdanost relativno mali.

U praktičnom radu kod rashladnih uređaja nailazi se na niz poteškoća, kao što su:

- veliki broj elemenata i modula različitog značaja i utjecaja na pouzdanost, različit način rada, cijena, karakteristike u pogledu upotrebe;
- različiti oblici neispravnosti i kvarova na pojedinim elementima i modularnim cjelinama;
- specifičnost veze između nekih elemenata;
- različit stupanj utjecaja kvarova jednog elementa i modularne cjeline na rezultirajuću ispravnost i pouzdanost rashladnog uređaja.

Za utvrđivanje kritičnih elemenata na rashladnim uređajima može se iskoristiti metodologija bodovanja [4,5], te izračunati faktor kritičnosti svakog elementa i modula prema izrazu (1):

$$K_k = F_z \cdot R_i + (P_p + P_z) \cdot C_e \quad (1)$$

gdje je:

K_k - faktor kritičnosti elemenata

$F_z = (10 - 30)$ - funkcionalni značaj (utjecaj na izlazne karakteristike)

$R_i = (5 - 10)$ - iskustvena razina pouzdanosti

$P_p = (1 - 5)$ - pristupačnost za popravak (zamjenu)

$P_z = (1 - 5)$ - mogućnost popravka (ili zamjene)

$C_e = (1 - 5)$ - cijena elementa

Prema metodologiji, veći iznos pojedinih faktora označava nepovoljnije stanje koje povećava kritičnost promatranog elementa ili modula. Izbor najkritičnijih, odnosno zanemarivanje manje kritičnih elemenata vrši se prema sljedećem kriteriju [3]:

$$K_{\min} \geq K_{sr} + \sigma \quad (2)$$

gdje je:

K_{sr} - srednja vrijednost izračunatih faktora kritičnosti

σ - srednje odstupanje

Nakon prepoznavanja kritičnih elemenata potrebno je sagledati i najutjecajnije faktore koji utječu na pouzdanost uređaja. Za tu aktivnost moguće je provesti i procjenu na ekspertnom nivou pomoću metode apriornog rangiranja faktora [4,6].

2. PREPOZNAVANJE KRITIČNIH ELEMENATA NA MALIM RASHLADNIM UREĐAJIMA

Opisano razmatranje problema kritičnih elemenata, pouzdanosti i preventivnog održavanja razmotreno je na skupu malih rashladnih uređaja koji se koriste za hlađenje piva u ugostiteljskim objektima.

Prvo su prikupljeni podaci o kvarovima na izabranom uzorku koji su prikazani u tablici 1. Promatranu populaciju predstavljalo je oko 1500 uređaja u jednom regionalnom području. Uzorak se sastojao od 100 uređaja, što iznosi 5% promatrane populacije. Po obliku i karakteristikama može se svrstati u kvotni, odnosno namjerni uzorak, što znači da su autori izabrali objekte, odnosno uređaje na osnovu spoznaja o populaciji. Uzorak je, također, i „nestatistički“, zasnovan na prosudbi istraživača. Obuhvaća uređaje (objekte gdje su instalirani) do kojih se u trenutku istraživanja „moglo doći“.

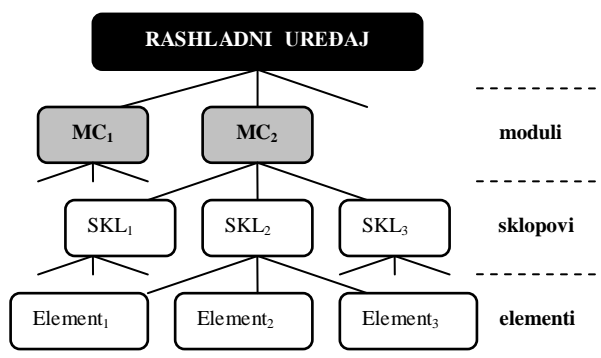
Odabran je reprezentativni uređaj koji se već duže vremena proizvodi i koristi u skoro svakom ugostiteljskom objektu gdje se toči ohlađeno pivo.

U istraživanje su autori uključili 10 iskusnih servisera i projekatana koji se profesionalno bave razvojem i održavanjem ovih uređaja, te prikupili podatke o kvarovima, a u drugoj fazi su bili uključeni u rangiranje i izbor kritičnih cjelina na uređajima.

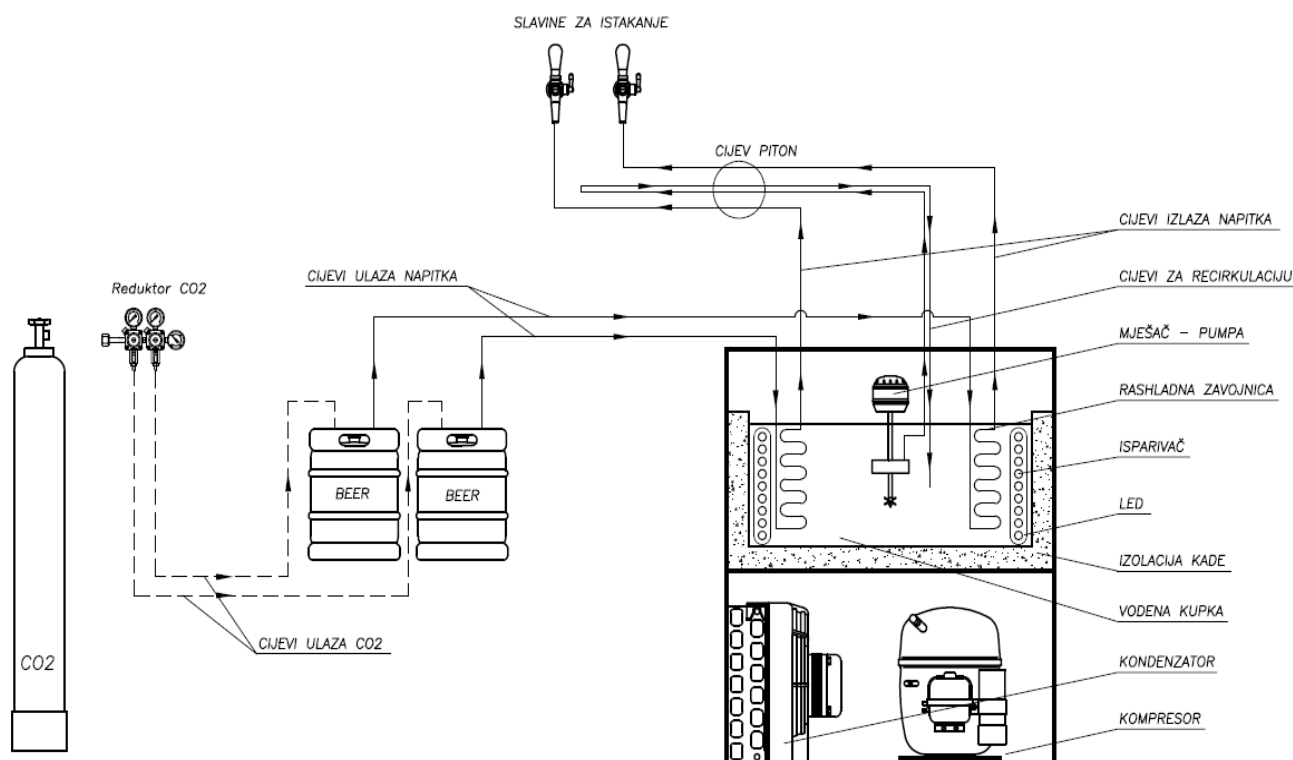
Ovo razmatranje se ograničava i prihvaća pretpostavku da je rashladni uređaj, svaki put kad se našao u servisnoj radionici gdje je izvršena popravka ili kad je na mjestu korištenja serviser izvršio intervenciju, bio u stanju "u kvaru".

Za prepoznavanje kritičnih elemenata izrađena je strukturalna shema rashladnog uređaja. To je tehnički sustav sastavljen od više modularnih cjelina i elemenata, koje su međusobno povezane različitim vezama (serijska, čista paralelna, djelomično paralelna, pasivna paralelna, kvazi serijska, kvazi paralelna i kombinacija navedenih).

Struktura uređaja prikazuje se kroz razlaganje sustava na modularne cjeline, sklopove i elemente (slika 2. i 3.). Rezultati bodovanja su, zbog rangiranja elemenata prema kritičnosti prikazani u tablici 1.



Slika 2. Shematski prikaz strukture rashladnog uređaja



Slika 3. Presjek rashladnog uređaja za pivo sa sustavom za istakanje

Kao što se vidi iz tablice 1, vrijednost faktora kritičnosti se za elemente kreće između 52 i 306, dakle, s relativno velikim rasponom od $R = 254$ (3):

$$R = K_{k \max} - K_{k \min} \quad (3)$$

Prepoznavanje najkritičnijih elemenata vrši prema (2). Iz toga proizlazi da su kritični elementi svi oni kod kojih je $K_k \geq 230$, odnosno od ukupno 26 elemenata koji su analizirani, na njih 6 treba obratiti posebnu pozornost. Za usporedbu se u koloni 10 tablice 1. prikazani i rangovi kritičnosti na osnovu prikupljenih podataka iz servisne dokumentacije.

Na osnovu iznalaženja najkritičnijih elemenata i modularnih cjelina (ili sklopova), pouzdanost rashladnog

uređaja se razmatra na osnovu pouzdanosti ovih najkritičnijih cjelina. Jadan od problema, koji se javlja pri ovakvim analizama je definiranje strukture, tj. načina vezivanja pojedinih cjelina. U tom smislu zahtjeva se dobro poznavanje konstrukcijskih rješenja i principa rada od kojih ovisi strukturalna shema, a samim tim i strukturalna shema pouzdanosti.

Provedena metoda rangiranja elemenata odabranog sustava prema kritičnosti ima i svojih nedostataka koji se uglavnom ogledaju u subjektivnom i iskustvenom rangiranju elemenata. Međutim, metoda s dovoljnom sigurnošću izdvaja elemente čiji je utjecaj na pouzdanost sustava najveći, te pomože u usmjeravanju aktivnosti održavanja.

Tabela 1. Tabela rangova kritičnosti elemenata

Redni broj	Element - šifra	Funkcionalni značaj - F_z	Iskustvena pouzdanost - R_i	Pristupačnost za popravak (zamjenu) - P_p	Mogućnost popravka (zamjene) - P_z	Cijena - C_j	Faktor kritičnosti (K_L)	Rang kritičnosti prema dokumentaciji	Rang kritičnosti prema bodovanju
		10-30	5-10	1-5	1-5	1-5			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	354037	30	5	1	1	5	160	13	-
2.	354039	30	7	1	5	2	222	8	7
3.	354040	28	8	4	5	5	269	2	-
4.	222002	10	6	1	2	1	63	25	-
5.	354052	20	7	2	3	3	155	18	-
6.	204051	12	6	3	4	5	107	21	-
7.	399024	25	8	3	4	3	236	6	4
8.	103007	30	5	1	1	3	156	16	-
9.	619513	30	9	3	4	3	306	1	3
10.	242018	30	6	1	5	5	210	11	8
11.	242021	25	9	3	4	2	239	4	2
12.	126009	15	7	4	2	4	137	19	-
13.	204027	25	9	3	4	2	239	3	1
14.	850025	30	7	2	2	3	222	9	5
15.	116103	25	8	2	2	3	212	10	9
16.	116301	15	6	1	2	1	92	22	-
17.	249004	10	5	1	1	1	52	26	-
18.	354048	30	7	5	5	2	230	7	-
19.	247074	30	5	5	5	1	160	14	-
20.	222002	30	7	4	5	2	238	5	6
21.	224127	20	6	2	2	2	128	20	-
22.	211283	30	6	3	2	1	185	12	-
23.	354153	10	6	2	5	1	67	24	-
24.	212051	30	5	3	2	2	158	15	-
25.	211198	30	5	3	2	1	155	17	-
26.	345008	10	8	1	3	2	88	23	-

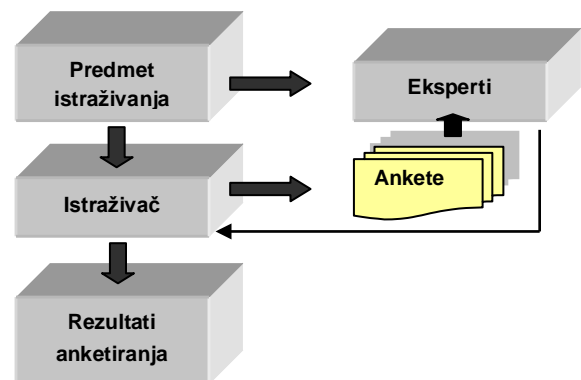
3. APRIORNO RANGIRANJE UTJECAJNIH FAKTORA

Više utjecajnih faktora ima utjecaj na pouzdanost rashladnih uređaja tijekom njegove eksploatacije. Ekspertnom procjenom utvrđeni su faktori koji imaju utjecaja na pouzdanost, a to su [5]:

- F_1 -Savršenost konstrukcije (predstavlja tehničku razinu s aspekta funkcionalnosti, pogodnosti za servisiranje, kao i ispunjenje uvjeta i režima rada tijekom eksploatacije);
- F_2 -Starost rashladnog uređaja (podrazumijeva period eksploatacije izražen brojem godina rada);
- F_3 -Kvaliteta izvršenih servisnih pregleda i općenito servisiranja uređaja;
- F_4 -Uvjeti čuvanja (prije instaliranja i kad prestaje potreba za njegovim korištenjem);
- F_5 -Uvjeti eksploatacije;
- F_6 -Učestalost servisiranja;
- F_8 -Intenzitet eksploatacije (režimi korištenja rashladnog uređaja);
- F_9 -Kvaliteta komponenata ugrađenih u rashladni uređaj;

Nakon izvršenog izbora faktora rangiranje se izvodi u cilju sagledavanja razine utjecaja pojedinih faktora kako bi se sagledale mogućnosti djelovanja na one s prioritetom, odnosno na podizanje pouzdanosti i kvalitete rashladnih uređaja.

Za analizirani rashladni uređaj primijenjena je metoda apriornog rangiranja faktora čija je strukturna shema prikazana je na slici 4.

**Slika 4.** Shema apriornog rangiranja faktora

Rangiranje je vršeno dodjeljivanjem rangova svakom faktoru; rang 1 najutjecajnijem, rang 9 najmanje utjecajnom. Faktorima s jednakim utjecajem dodijeljen je isti rang. Iz tih razloga bilo je nužno preformirati tablicu rangova.

Provjera adekvatnosti izvorne i preformirane tabele izvršena je pomoću Spearmanovog koeficijenta korelacije ranga [7]:

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{j=1}^k (Q_j^{(1)} - Q_j^{(2)})^2}{k(k^2 - 1)} \quad (4)$$

Provjera statističke vrijednosti r_s izvršena je pomoću testa hipoteze o značajnosti koeficijenta linearne korelacije t_r . Statistička vrijednost za r_s provjerena je pomoću t-razdiobe čija je vrijednost izračunata prema izrazu [7]:

$$t_r = \frac{r_s}{\sqrt{\frac{1 - r_s^2}{k - 2}}} \quad (5)$$

Kako je $t_r > t_t \Rightarrow$ test hipoteze o značajnosti koeficijenta linearne korelacije potvrdio je jednosmjernu pozitivnu korelaciju. Vrijednost Spearmanovog koeficijenta korelacije ranga $r_s = 0,98$ približava se vrijednosti 1, što je potvrdilo da je preformirana tabela adekvatna izvornoj tabeli, pa se mogla koristiti u daljnjem razmatranju utjecajnih faktora.

Nakon izračuna Spearmanovog koeficijenta provjeren je stupanj suglasnosti mišljenja anketiranih eksperata pomoću Kendallovog koeficijenta suglasnosti [7]:

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^k \Delta_j^2}{m^2 \cdot k(k^2 - 1)} \quad (6)$$

Za provjeru statističke vrijednosti Kendallovog koeficijenta suglasnosti W , primijenjen je hi-kvadrat test [7]:

$$\chi_r^2 = m \cdot (k - 1) \cdot W \quad (7)$$

Računska vrijednost hi-kvadrata uspoređuje se s vrijednošću iz tablice za razdiobu pri odabranom nivou značajnosti i određenom broju stupnjeva slobode.

Budući da je $\chi_r^2 > \chi_{it}^2 \Rightarrow$ test hipoteze o suglasnosti mišljenja anketiranih eksperata govori da su nizovi rangova međusobno zavisni, što znači da je usvojena hipoteza o postojanju suglasnosti mišljenja anketiranih eksperata.

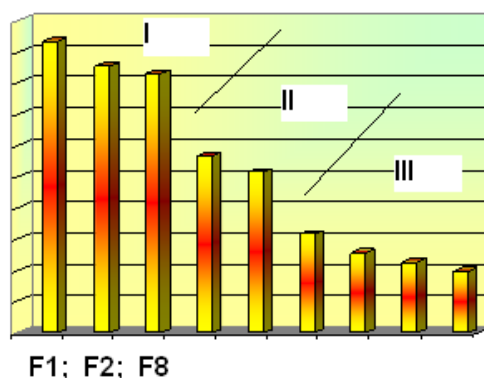
Stupanj utjecaja svakog faktora na pouzdanost i kvalitetu rashladnih uređaja određena je pomoću koeficijenta značajnosti utjecajnog faktora [6]:

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^m a_{ij} Z_i}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k a_{ij} Z_i} \quad (8)$$

Težinski faktor ili faktor značajnost svakog eksperta izračunat je prema:

$$Z_i = a + b \sum_{h=1}^5 a_{ih} \quad (9)$$

Slika 5. prikazuje apriorni dijagram rangova utjecajnih faktora na pouzdanost rashladnih uređaja.



Slika 5. Apriorni dijagram rangova utjecajnih faktora

Faktori su razvrstani u tri grupe:

- U I grupi su najutjecajniji faktori F1; F2; F8
- U II grupi su srednje utjecajni faktori F3; F5;
- U III grupi su najmanje utjecajni faktori F4; F6; F7; F9

Najutjecajniji faktori su faktori iz grupe I, donosno:

- Savršenost konstrukcije (F₁),
- Starost rashladnog uređaja (F₂) i
- Intenzitet eksploatacije (F₃).

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu iznalaženja najkritičnijih elemenata i modularnih cjelina, pouzdanost rashladnog uređaja se može razmatrati na osnovu pouzdanosti najkritičnijih cjelina. Utvrđivanjem kritičnih sklopova (elemenata) na funkcioniranje rashladnih uređaja, moguće je odrediti vremenski resurs za intervencije održavanja. Na pouzdanost rashladnih uređaja tijekom njegove eksploatacije utječe više faktora. Ekspertnom procjenom utvrđeni su faktori koji imaju najveći utjecaja na pouzdanost.

Za predviđanje pouzdanosti malih rashladnih uređaja u eksploataciji ili u fazi oblikovanja i razvoja, ovakva razmatranja mogu biti vrlo korisna i značajna. Međutim, procjenom dobrih poznavatelja rashladnih uređaja (ekspertata) dobiju

se orijentacioni pokazatelji te je poželjno za daljnje analize primijeniti neku od metoda prognoziranja.

5. LITERATURA

- [1] Sebastijanović, S.: Osnove održavanja strojarских konstrukcija, Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 2002
- [2] Kondić, Ž.; Samardžić, I.; Maglić, L.; Ćikić, A.: Pouzdanost industrijskih postrojenja, Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 2011.
- [3] Todorović, J; Zelenović, D.: Efektivnost sistema u mašinstvu, Naučna knjiga, Beograd, 1981.
- [4] Kondić, Ž.; Prilog usvaršavanju organizacije održavanja za opremu izvan eksploatacije, Magistarski rad, Fakultete strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, Zagreb, 1991.
- [5] Fedorov, D. I.: Nadjožnost metalokonstrukcij zemlerojnih mašin, Mašinstroenie, Moskva, 1971.
- [6] Kondić, Ž.; Maglić, L.; Samardžić, I.: Istraživanje i rangiranje utjecajnih faktora na neprimjenu 6σ metodologije u malim proizvodnim organizacijama metodom apriornog rangiranja faktora, Tehnički vjesnik/Technical Gazette, Vol. 16, No. 2 (2009) 17-25
- [7] Horvat J.: Statistika pomoću SPSS/PC+, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku - Ekonomski fakultet Osijek, Osijek, 1995.

Kontakt autora:

Veljko Kondić, mag. ing. mech.

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3
42000 Varaždin
e-mail: veljko.kondic@unin.hr

Marko Horvat, dipl. ing.

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3
42000 Varaždin
e-mail: marko.horvat@unin.hr

Damir Maderić, dipl. ing.

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3
42000 Varaždin
e-mail: damir.madjeric@unin.hr