

IZBOR OPTIMALNOG MODELA ODRŽAVANJA PREMA STANJU NA LINIJI ZA PEČENJE SUHE OPEKE

Breški V.¹, Kondić Ž.¹

¹Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

Sažetak: Ovaj članak skraćeni je prikaz završnog rada Vjerana Breškog sa studija elektrotehnike Veleučilišta u Varaždinu. Rad je napisan uz mentorstvo profesora visoke škole dr. sc. Živka Kondića. U članku je prikazan optimalni model održavanja na liniji za pečenje suhe opeke, odnosno na postrojenju za dovod zraka plamenicima. Na temelju provedenog izračuna, pouzdanosti elemenata i kompletnog postrojenja te objektivnih mjerenja koja su bila moguća, izabire se optimalni model održavanja za konkretan sustav. Na kraju se iznose prijedlozi za održavanje, s ciljem očuvanja visoke pouzdanosti i raspoloživosti spomenutog postrojenja. Opisani postupak primjenjiv je u praksi, uz razmatranje svih komponenata, podsklopova i sklopova na postrojenju. Nakon izdvajanja kritičnih, moguć je objektivni izbor varijante održavanja.

Ključne riječi: održavanje, održavanje prema stanju, pouzdanost

Abstract:

The work presents the shorter outline of the thesis written by Vjeran Breški, the undergraduate of Electrical Engineering at the University of Applied Sciences in Varaždin, under the mentorship of professor Živko Kondić, Sc.D. The work presents how to choose the optimum model of maintenance according to the condition on the line for dry brick burning, i.e. in the plant for burners' air supply. On the basis of applied calculation of reliability of elements and of the whole plant and the objective measurements which were possible, the choice of the optimum model of maintenance is made for the particular system. In the end, specific maintenance suggestions are made; the aim is to preserve high reliability and disposability of the mentioned plant. The described procedure is applicable in practice by taking into consideration all the components, subsystems and systems of the plant. After separating the critical variants, the objective choice of maintenance variant is possible.

Key words: maintenance, maintenance according to the condition, reliability

1. UVODNO RAZMATRANJE

Održavanje prema stanju oblik je preventivnih aktivnosti jer se izvodi prije kvara. Pokrenuto je kao rezultat poznavanja stanja postrojenja ili njegovih komponenata – stanja koje nam je poznato kroz određeni vid kontrole. Kod održavanja prema stanju kontinuirano se prate definirani parametri i intervenira se samo onda ako je određena mjera izvan granica. U slučajevima gdje je stopa kvara konstantna i kad se želi izvoditi preventivno održavanje, potrebno je odabrati održavanje po stanju.

Tehnički sustavi u gospodarstvu pružaju mogućnost primjene većeg broja modela održavanja prema stanju. Razlikuju se dva modela (slika 1.):

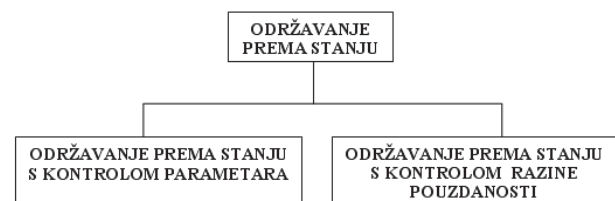
-održavanje prema stanju s kontrolom parametara

-održavanje prema stanju s kontrolom razine pouzdanosti

Održavanje prema stanju s kontrolom parametara predviđa stalnu ili periodičnu kontrolu te mjerenje tehničkih parametara kojima se određuje stanje sastavnih komponenata ili sustava. Odluka o održavanju donosi se kad vrijednosti kontroliranih parametara dostignu granicu upotrebljivosti, odnosno pred kritičnu razinu.

Održavanje prema stanju s kontrolom razine pouzdanosti sastoji se u prikupljanju, obradi i analizi podataka o pouzdanosti sastavnih komponenata ili sustava te o razradi održavanja.

Kako oba modela imaju svojih prednosti na konkretnim sustavima, zanimao nas je izbor optimalnog modela održavanja prema stanju na liniji za pečenje suhe opeke u proizvodnom procesu.



Slika 1. Dva osnovna modela održavanja prema stanju

2. OPIS RADA NA LINIJI ZA PEČENJE SUHE OPEKE

Proces za izradu i pečenje opeke sastoji se od sedam proizvodnih linija (slika 2.). Proizvodnja počinje linijom za grubu obradu zemlje, gdje se u transportni dodavač otprema grubo iskopana zemlja - glina. Nakon toga zemlja dolazi do drobilice pa do mlina. Tako pripremljena glina odvozi se do mjesta za odležavanje.

Završetkom linije za grubu obradu počinje proizvodna linija opeke ili linija modeliranja. Linija počinje mlinom za fino mljevenje. Mljevena glina odlazi u homogenizator gdje se miješa i prema potrebi joj se dodaje voda. Tako se glina pari. Prije samog modeliranja, glina se ponovno miješa u mješalici. Modeliranje se provodi u preši pod kontroliranim uvjetima prema određenim modelima. Izlaskom iz preše, oblikovani modeli se režu na zadanu veličinu.

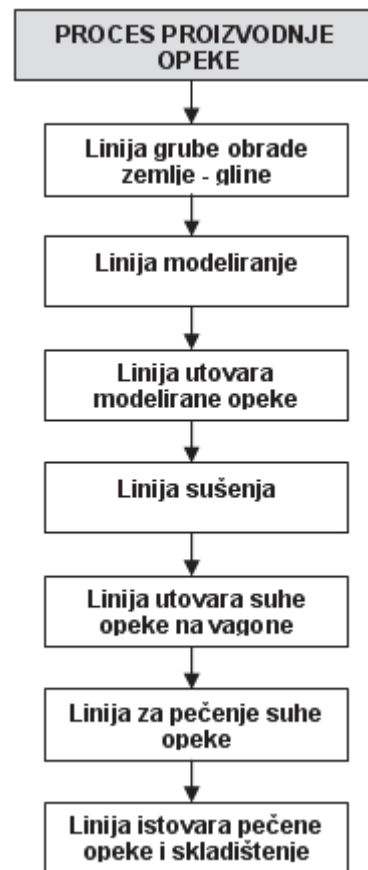
Linija utovara modelirane opeke je dio procesa gdje se opeka utovaruje u vagonne tunelske sušare. Utovar obavlja automatizirana robotska ruka.

Nakon takvog utovara počinje linija sušenja. Linija se sastoji od tunelske sušare u koju se upuhuje zagrijani suhi zrak. Poslije sušenja modelirana opeka dolazi do linije utovara suhe opeke u vagonne tunelske peći. I u ovom slučaju utovar je automatiziran. Automatski sustav potiskuje vagon pred tunel.

Automatskim potiskivanjem vagona ispred tunela prema tunelskoj peći počinje linija pečenja. U određenim vremenskim razmacima, u peć odlazi po jedan vagon. Vagon u peći za pečenje prolazi tri zone: zonu zagrijavanja, zonu pečenja i zonu ohlađivanja. Nakon izlaska vagona s pečenom opekama iz tunelske peći, automatski sustav potiskuje vagona na liniju istovara.

Na liniji istovara automatizirana robotska ruka istovaruje pečenu opeku na transportnu traku, a automatski sustav za potiskivanje vagona gura prazne vagonne na daljnji utovar suhe opeke.

Po dolasku pečene opeke s transportne trake, automatskim putem opeka se stavlja na palete koje se zatim omataju plastičnom folijom. Zapakirana opeka se viličarima odvozi na skladištenje.



Slika 2. Proces proizvodnje opeke

3. ODRŽAVANJE PREMA STANJU S KONTROLOM RAZINE POUZDANOSTI

Održavanje prema stanju s kontrolom razine pouzdanosti svodi se na to da se linija za pečenje suhe opeke koristi bez ograničenja između remontnog resursa, uz obavezno održavanje kako bi se otklonili nastali kvarovi. Stvarna razina pouzdanosti je u granicama utvrđenih (dopuštenih) normi. Ako dođe do odstupanja od tih normi, analizira se uzrok odstupanja te se povećava razina pouzdanosti linije.

Kod ovog modela održavanja, kao kriterij tehničkog stanja linije usvaja se razina pouzdanosti, a izražava se pokazateljima pouzdanosti. U našem slučaju izabran je intenzitet kvara (λ) kao pokazatelj pouzdanosti jer je pogodan za usporedne analize i ima informacije o tehničkom stanju linije koja se promatra.

Intenzitet kvara računa se [1] prema izrazu:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR}{dt} \quad (1)$$

Rješavanjem jednadžbe (1) po $R(t)$ i $f(t)$ dobiva se:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt} \quad (2)$$

$$f(t) = \lambda(t) \cdot e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt} \quad (3)$$

Ove dvije jednadžbe daju vezu između intenziteta kvara i funkcije pouzdanosti, odnosno gustoće funkcije razdiobe. Iz ovih jednadžbi mogu se izvesti sljedeći zaključci za intenzitet kvara:

- intenzitet kvara je definiran za sve pozitivne vrijednosti promjenljive “t”
- intenzitet kvara je negativna funkcija
- $\int_0^{\infty} \lambda(t) \cdot dt \rightarrow \infty$ (4)

Imajući u vidu izraze (1), (2), (3), funkcija intenziteta kvara dana izrazom (1) može imati oblik

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (5)$$

Izraz za funkciju intenziteta kvara (5) može se primijeniti u slučaju bilo koje funkcije gustoće kvara, a odnosi se na prekidne promjene i možemo ga izraziti kao

$$\lambda(t) = \frac{N_2(\Delta t)}{[N \cdot (t - \Delta t)] \cdot \Delta t} \quad (6)$$

Intenzitet kvara može se izračunati i preko srednjeg vremena između kvarova \bar{T}_{uk} :

$$\lambda = \frac{1}{\bar{T}_{uk}} \quad (7)$$

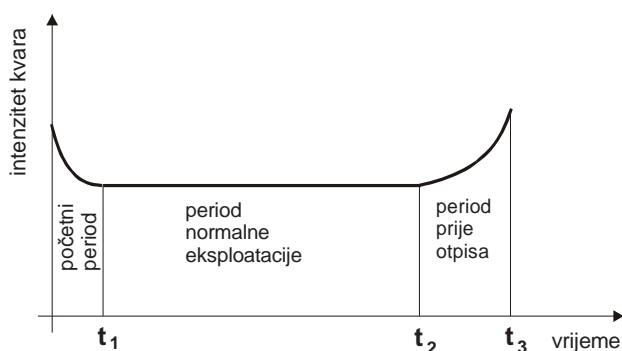
Srednje vrijeme “U KVARU” određuje se prema:

$$\bar{T}_{uk} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{uk(i)}}{m} \quad (8)$$

gdje je: m - broj pojava “u kvaru”

Važnost funkcije intenziteta kvara je u tome što ona pokazuje promjenu intenziteta kvara tijekom vijeka trajanja tehničkog sistema. Na primjer, dva tehnička sistema mogu imati istu pouzdanost u određenom trenutku vremena, ali se intenziteti kvarova do tog trenutka vremena mogu razlikovati.

Na slici 3. prikazana je promjena intenziteta kvara u funkciji vremena.



Slika 3. Promjena λ u funkciji vremena

Na slici uočavamo tri perioda za koja su uobičajeni nazivi:

- prvi period ili period ranih kvarova
- drugi period ili period “konstantnog” intenziteta kvara
- treći period ili period starenja komponenata

Prvi period ili period ranih kvarova je vrijeme nakon stavljanja tehničkog sustava u eksploataciju, kada dolazi do kvarova na nepouzdanim komponentama. Ovi kvarovi mogu biti uzrokovani greškama u proizvodnji, u materijalu, oštećenjima pri transportu i sl. Mnogi rani kvarovi mogu se izbjeći tako da se sustav prije pusti u rad te boljom kontrolom proizvodnje (ulazna, međufazna i završna).

Drugi period ili period konstantnog intenziteta kvara je period normalnog rada gdje su kvarovi uglavnom slučajni. Eksponencijalna razdioba kvara se široko koristi kao matematički model za aproksimaciju ovog vremenskog perioda. On je različit za određene tipove komponenata, a važan je za prognoziranje i ocjenu pouzdanosti.

Treći period ili period starenja komponenata je period vremena kada intenzitet kvara brzo raste s vremenom. Na početku tog perioda, kvarovi nastaju zbog dotrajalosti elemenata tako da ih je potrebno zamijeniti. Preventivne intervencije su korisne i zasnivaju se na poznavanju ovog perioda.

U praksi je jako važno poznavati ova tri vremenska perioda jer tek tada možemo pristupiti adekvatnim preventivnim ili korektivnim radnjama.

Rani kvarovi mogu biti uklonjeni sistematskim postupcima kontrole i ispitivanja. Slučajni kvarovi mogu biti minimizirani adekvatnim projektiranjem i validacijom proizvoda. Starenje može biti eliminirano u vremenski određenim intervalima preventivnog održavanja za elemente s kraćim radnim vijekom.

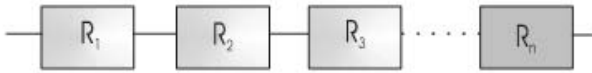
Iskustvo je pokazalo da mnogi tehnički sistemi imaju krivulju intenziteta kvara koja odgovara obliku krivulje na slici 3. Prema tome, ako se krivulja $\lambda(t)$ na slici 3. može prihvatiti kao dobar model za određeni slučaj, onda se najveća pouzdanost postiže prethodnim radom tehničkog sistema do vremena t_1 , eksploatacijom u vremenu $t_2 - t_1$ i preventivnom zamjenom u vremenu t_2 . Eventualnom preventivnom zamjenom u periodu $t_2 - t_1$ ne bi se puno postiglo jer u tom periodu intenzitet kvara ne ovisi o vremenu.

Za analizu i izračun pouzdanosti sistema koriste se različiti matematički modeli koji daju vezu između pouzdanosti sistema i pouzdanosti njegovih elemenata. U praksi nailazimo na sljedeće veze:

- serijsku
- paralelnu
- pasivnu paralelnu
- djelomično paralelnu
- specifičnu
 - * kvazi-serijsku
 - * kvazi-paralelnu
- kompleksnu

3.1. Serijska veza elemenata

Ako kvar na tehničkom sistemu ili sklopu nastaje zbog kvara na jednom od njegovih elemenata, može se smatrati da je uređaj sastavljen od serijske konfiguracije elemenata (slika 4.). U slučaju kvara na bilo kojem elementu, sklop sa serijskom vezom gubi svoju funkciju. U strojogradnji i elektrotehnici ima mnogo sklopova sa serijskom konfiguracijom elemenata i za njihovo prepoznavanje potrebno je poznavanje principa rada.



Slika 4. Serijska veza elemenata

Budući da je kvar na svakom pojedinačnom elementu slučajan, prema teoremu o složenoj vjerojatnosti važi relacija:

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad (9)$$

gdje je:

- R_s - pouzdanost cijelog sistema ili cjeline
- R_1, R_2, \dots, R_n - pouzdanost pojedinih elemenata

Ako je pouzdanost svih elemenata međusobno jednaka, tada se gornja formula može napisati u obliku

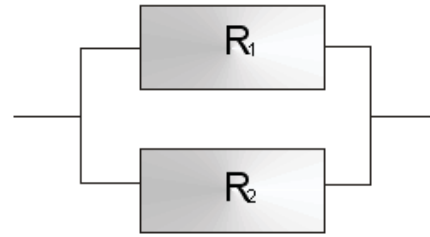
$$R_s = R^n \quad (10)$$

3.2. Paralelna veza

U praksi je čest slučaj da se u tehničkim sistemima koriste dodatni ili redundantni elementi kako bi se osiguralo da najmanje jedan od elemenata radi u predviđenom vremenu "t". Prema tome, redundanca je metoda povećavanja pouzdanosti sistema uvođenjem dopunskog broja elemenata ili veza u odnosu na minimalno neophodne za ispunjenje potrebnih funkcija u zadanim uvjetima rada. Postoje dva osnovna tipa redundance, aktivni i pasivni. Aktivne veze elemenata poznate su još pod nazivom čiste paralelne veze kod kojih su svi elementi u vezi aktivni, znači da su svi istodobno u funkciji. Pasivne veze koriste elemente koji se uključuju u rad kada je primarni element u kvaru. Ta zamjena se obavlja automatski ili ručno. U daljnjem tekstu pojašnjavaju se aktivne i pasivne paralelne veze.

Paralelna konfiguracija elemenata u strukturi sistema predstavlja takvu vezu kod koje kvar na svim elementima izaziva kvar na cijelom sustavu. U elektrotehničkim sklopovima ovakvih veza ima zaista mnogo. Čest je slučaj da se više otpornika, tranzistora ili drugih elektroničkih komponenata vežu paralelno radi osiguranja zahtijevane pouzdanosti ili sigurnosti. U strojogradnji također susrećemo paralelne veze. Paralelna konfiguracija koristi se pri projektiranju sistema (cjelina) kada treba osigurati uspješan rad uređaja, povećanje pouzdanosti ili radi povećanja sigurnosti korisnika i okoline.

Paralelna konfiguracija s gledišta pouzdanosti prikazana je na slici 5.



Slika 5. Paralelna veza elemenata

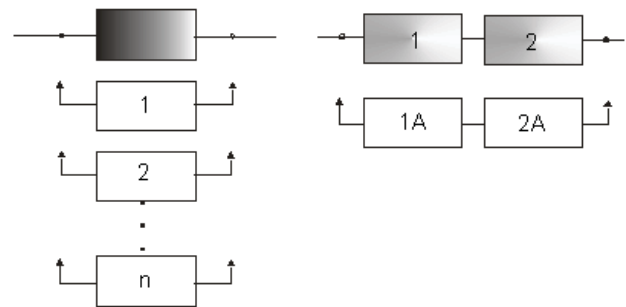
Opći analitički izraz za pouzdanost ove veze je

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^{i=n} (1 - R_i) \quad (11)$$

3.3. Pasivna paralelna veza

Pod pasivnom paralelnom vezom ili pasivnom pričuvom smatra se ugradnja paralelnog elementa, ali tako da se njegovo uključivanje u rad ostvaruje samo ako dođe do pojave stanja "u kvaru" elementa koji je aktivan. Često se ovakva konfiguracija naziva vezom s elementima u pričuvi.

Slika 6. prikazuje pasivnu paralelnu vezu.



Slika 6. Pasivna paralelna veza

Elementi u pričuvi ne funkcioniraju sve dok je ispravan element koji radi. U trenutku kvara elementa koji je do tada radio, uključuje se sljedeći element koji je bio u pričuvi, dok ostali i dalje ostaju u pričuvi. Uključivanje u rad pričuvnog elementa ostvaruje se uz pomoć prekidača. Prekidač koji služi za uključivanje elemenata u pričuvi može biti neki automatski senzorski uređaj koji otkriva kvar i odmah prebacuje vezu na idući element. Međutim, prekidač može biti i operater koji otkriva kvar i prebacuje vezu na element u pričuvi.

Funkcija pouzdanosti sustava za pasivne paralelne veze, čija je shema prikazana na slici 7., može se odrediti pomoću Poissonove raspodjele u obliku:

$$R_s(t) = \sum_{k=0}^n \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda t} = \left[1 + \lambda \cdot t + \frac{(\lambda \cdot t)^2}{2!} + \dots + \frac{(\lambda \cdot t)^n}{n!} \right] \cdot e^{-\lambda t} \quad (12)$$

gdje je:

t = vrijeme

k = broj elemenata

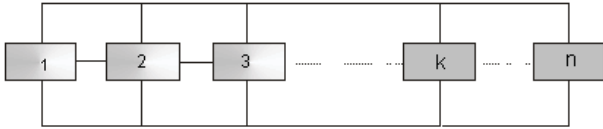
λ = intenzitet kvara

n = ukupan broj pričuvnih elemenata u sistemu (ukupan broj elemenata u sistemu je n+1)

3.4. Djelomično paralelna veza

Ima slučajeva kada je za uspješno funkcioniranje sistema potrebno više od jednog ispravnog elementa u paralelnoj konfiguraciji. Na primjer, na osmocilindričnom motoru nužno je da najmanje sedam svječića od ukupno osam bude ispravno.

Ovakve veze mogu se nazvati djelomično paralelne veze, gdje sistem funkcionira s "k" ispravnih od "n" elemenata. Slika 7. prikazuje ovakvu vrstu veze.



Slika 7. Djelomično paralelna veza

Funkcija pouzdanosti za ovu vezu može se odrediti preko binomne raspodjele u obliku:

$$R_s(t) = \sum_{x=k}^{x=n} \frac{n!}{x!(n-x)!} \cdot [R_i(t)]^x \cdot [1 - R_i(t)]^{n-x} \quad (13)$$

gdje je:

- x - minimalni broj elemenata sistema koji moraju biti u ispravnom stanju (postavljeni kriterij)
- n - ukupan broj elemenata u sustavu
- $R_i(t)$ - pouzdanost elemenata sustava za vrijeme t

3.5. Specifična veza (kvazi-serijska i kvazi-paralelna)

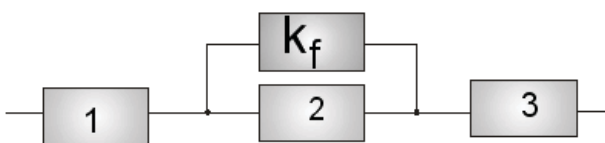
U stručnoj literaturi ovakve veze se spominju kao kvazi-serijska ili kvazi-paralelna. Postoje sistemi koji prema svom karakteru imaju karakteristike rednih ili paralelnih veza ili i jednih i drugih. To znači da se kod sistema s rednom vezom zna da je pri kvaru jednog elementa cijeli sistem u kvaru. Kod kvazi-serijske veze kvar jednog ili više elemenata ne uzrokuje kvar sistema, nego se rad nastavlja s pogoršanim karakteristikama.

Shema pouzdanosti sistema s kvazi-serijskom vezom prikazana je na slici 8., a pouzdanost se računa:

$$R_s = R_1 \cdot \left[1 - (1 - R_2)(1 - k_f) \right] \cdot R_3 \quad (14)$$

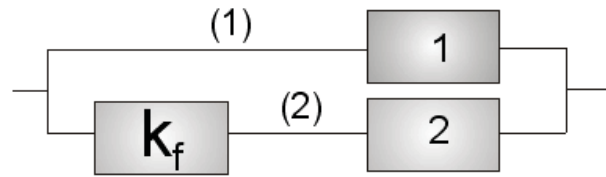
gdje je:

k_f - (uvjetno) fiktivni element sistema sa stanovišta pogoršavanja uvjeta rada



Slika 8. Kvazi-serijska veza

Kvazi-paralelna veza sistema, čija je shema prikazana na slici 9., predstavlja vezu osnovne grane (1) čije performanse odgovaraju performansama sistema i paralelne grane (2) čije performanse u potpunosti ne odgovaraju performansama sistema.



Slika 9. Kvazi-paralelna veza

Pouzdanost se računa kao

$$R_s = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2 \cdot k_f) \quad (15)$$

Vrijednost koeficijenta k_f se računa kao

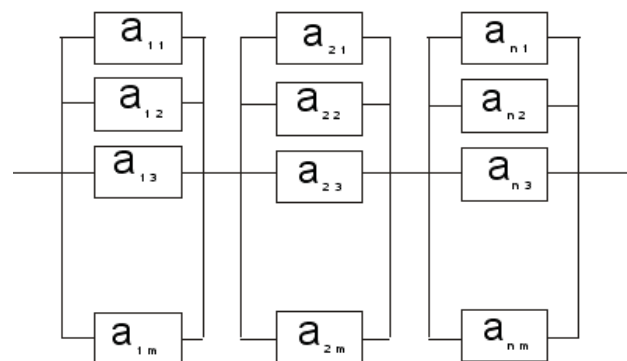
$$k_f = \frac{\text{performanse}(2)}{\text{performanse}(1)} < 1 \quad (16)$$

To znači da se pri kvaru osnovne grane (1) sistema s paralelnom granom (2) neće ostvarivati iste performanse sistema, pa će i pouzdanost grane (2) biti umanjena za faktor k_f koji u ovome slučaju predstavlja fiktivni element.

3.6. Kompleksna veza

U praksi se teško mogu naći tehnički sistemi sa čistom serijskom, paralelnom ili nekom drugom vezom elemenata. U najvećem broju slučajeva oni su skup elemenata od kojih su neki povezani paralelno, neki serijski ili nekom drugom vezom. Takve veze elemenata nazivaju se kompleksne. U svakom slučaju, kod ovakvih veza pristupa se formiranju blok dijagrama sistema i onda se, u ovisnosti od načina povezivanja elemenata, primjenjuju konkretni izrazi za izračun funkcije pouzdanosti cijelog sistema.

Na slici 10. prikazana je kompleksna veza elemenata u serijsko-paralelnoj kombinaciji.



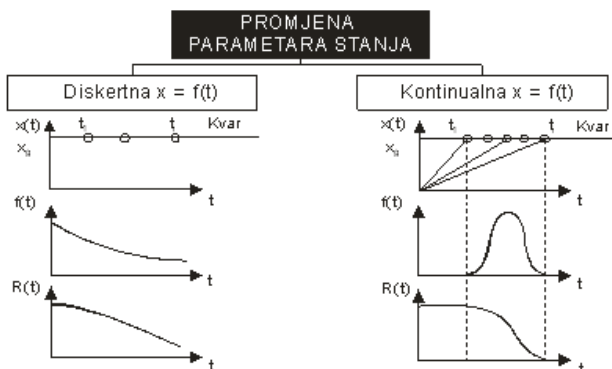
Slika 10. Kompleksna veza

4. ODRŽAVANJE PREMA STANJU S KONTROLOM PARAMETARA

Teoretska postavka ove koncepcije zasniva se na pregledu stanja, odnosno na diskretnom ili kontinuiranom praćenju stanja sastavnih elemenata i uočavanju ili prognoziranju vremenskog trenutka dostizanja graničnih vrijednosti stanja. Prema rezultatima pregleda, odnosno provjere stanja, poduzima se odgovarajuće održavanje.

Ova metodologija shematski je prikazana na slici 11., na kojoj se vidi mogući slučaj zakonitosti promjene parametara stanja $x(t)$ s dinamikom provjere stanja. Tu su definirane granice upozorenja (x_d – razina prije kvara) i granica kvara (x_g) koja se eksperimentalno utvrđuje i daje se u normativno-tehničkoj dokumentaciji sustava.

Na temelju prikupljenih promjena parametara stanja i utvrđenih odnosa parametara, određuju se potrebni postupci održavanja. Model ima plansko-preventivni karakter. Planiraju se periodičnosti i opseg postupaka pregleda stanja. Preventivni karakter osigurava se stalnim praćenjem parametara sustava radi pravodobnog otkrivanja kvara. Promatraju se dopuštene vrijednosti parametara stanja (x_d) ili se otkrivaju granične vrijednosti parametara stanja (x_g), pri kojoj se javlja kvar. Iz toga proizlazi da se ovaj model može primijeniti kod sustava koji imaju kontinuiranu promjenu stanja tijekom vremena eksploatacije, tj. kod sustava gdje se promjene stanja mogu iskazati kao funkcionalna ovisnost između intenziteta promjene parametara stanja i vremena rada, odnosno $x = f(t)$.



Slika 11. Model preventivnog održavanja prema stanju s provjerom parametara stanja

4.1. Tehnička dijagnostika – temelj održavanja prema stanju s provjerom parametara

Uz efikasnu primjenu održavanja sustava prema stanju na temelju provjere izabranih parametara, veže se i efikasna primjena tehničke dijagnostike.

Stanje dijagnosticiranog sustava definira se određenim (usvojenim) graničnim vrijednostima promatranog parametra. Uspoređivanjem izmjerenih (utvrđenih) vrijednosti promatranog parametra s propisanim graničnim vrijednostima, donosi se odluka o tome

ispunjava li sustav unaprijed definiranu (projektiranu) funkciju. Ukoliko se utvrdi da sustav ne ispunjava projektirani cilj, potrebno je održavanje (podešavanje, zamjena, popravak i sl.).

Najvažniji zadatak kod primjene tehničke dijagnostike je izbor adekvatnog parametra za praćenje stanja. Taj parametar mora imati svojstva tog procesa. Najčešće korišteni parametri za praćenje ispravnosti sustava su temperatura, broj okretaja, zakretni moment, opterećenje ili snaga, stupanj iskorištenja, buka i dr.

5. IZRAČUN POUZDANOSTI ELEMENATA POSTROJENJA ZA DOVOD ZRAKA PLAMENICIMA

U tablici 1. prikazane su izračunate vrijednosti svakog elementa postrojenja za dovod zraka plamenicima. Na temelju izračunatih vrijednosti mogla se izračunati pouzdanost kompletnog postrojenja za dovod zraka plamenicima.

Izračun je obavljen na temelju sljedećih ograničenja:

- postrojenje radi neprekidno tijekom godine (24 sata na dan)
- vrijeme rada svakog elementa je 365 dana, odnosno 8760 radnih sati
- vrijednost intenziteta kvarova za komponente uzete su na temelju iskustva

Za točan izračun pouzdanosti potrebni su stvarni podaci o funkcioniranju sustava u nekom vremenu eksploatacije. Budući da se o konkretnom sustavu ne vode podaci o kvarovima, o vremenima potrebnim za popravke, o utrošku rezervnih dijelova i ostali zapisi, izračunu pouzdanosti pristupilo se na temelju tabelarnih podataka o intenzitetima kvarova i podataka do kojih se došlo razgovorom s djelatnicima na održavanju.

Tablica 1. Pouzdanost elemenata postrojenja za dovod zraka plamenicima

Elementi postrojenja za dovodenje zraka plamenicima				
Redni br.:	Element:	Vrijeme rada u jednoj godini t [h]	Intenzitet kvara λ I (sat ⁻¹)	Pouzdanost $R(t) = e^{-\lambda t}$ elementa u vremenu "t"
1.	START tipkalo T1	8760 [h]	0.21×10^{-6}	$R_{T1} = 0.998$
2.	START tipkalo T2	8760 [h]	0.21×10^{-6}	$R_{T2} = 0.998$
3.	Ručna sklopka S1	8760 [h]	2.0×10^{-6}	$R_{S1} = 0.983$
4.	Ručna sklopka S2	8760 [h]	2.0×10^{-6}	$R_{S2} = 0.983$
5.	Vodiči 2.5mm ² V1	8760 [h]	0.0001×10^{-6}	$R_{V1} = 0.999$
6.	Vodiči 2.5mm ² V2	8760 [h]	0.0001×10^{-6}	$R_{V2} = 0.999$
7.	Sklopnik (CN63) C1	8760 [h]	1.01×10^{-6}	$R_{C1} = 0.991$
8.	Sklopnik (CN63) C2	8760 [h]	1.01×10^{-6}	$R_{C2} = 0.991$
9.	Sklopnik (CN63) C3	8760 [h]	1.01×10^{-6}	$R_{C3} = 0.991$
10.	Sklopnik (CN63) C4	8760 [h]	1.01×10^{-6}	$R_{C4} = 0.991$
11.	Sklopnik (CN63) C5	8760 [h]	1.01×10^{-6}	$R_{C5} = 0.991$
12.	Sklopnik (CN63) C6	8760 [h]	1.01×10^{-6}	$R_{C6} = 0.991$
13.	Vremenski relej (CRT-01) D1	8760 [h]	6.08×10^{-6}	$R_{D1} = 0.948$
14.	Vremenski relej (CRT-01) D2	8760 [h]	6.08×10^{-6}	$R_{D2} = 0.948$
15.	Tromi osigurač (80A) F1	8760 [h]	5.0×10^{-6}	$R_{F1} = 0.957$
16.	Tromi osigurač (80A) F2	8760 [h]	5.0×10^{-6}	$R_{F2} = 0.957$
17.	Tromi osigurač (80A) F3	8760 [h]	5.0×10^{-6}	$R_{F3} = 0.957$
18.	Tromi osigurač (80A) F4	8760 [h]	5.0×10^{-6}	$R_{F4} = 0.957$
19.	Tromi osigurač (80A) F5	8760 [h]	5.0×10^{-6}	$R_{F5} = 0.957$
20.	Tromi osigurač (80A) F6	8760 [h]	5.0×10^{-6}	$R_{F6} = 0.957$
21.	Bimetalni relej E1	8760 [h]	13.07×10^{-6}	$R_{E1} = 0.892$
22.	Bimetalni relej E2	8760 [h]	13.07×10^{-6}	$R_{E2} = 0.892$
23.	Kabel (4x16mm ²) K1	8760 [h]	0.0001×10^{-6}	$R_{K1} = 0.999$
24.	Kabel (4x16mm ²) K2	8760 [h]	0.0001×10^{-6}	$R_{K2} = 0.999$
25.	Glavni trofazni asinkroni motor (22kW) M1	8760 [h]	8.6×10^{-6}	$R_{M1} = 0.927$
26.	Pomoćni trofazni asinkroni motor (22kW) M2	8760 [h]	8.6×10^{-6}	$R_{M2} = 0.927$
27.	Servomotor	8760 [h]	1.51×10^{-6}	$R_{SERVO} = 0.987$
28.	Zaklopka zraka servomotora	8760 [h]	0.02×10^{-6}	$R_{ZS} = 0.999$
29.	Kabel servomotora (4x2.5mm ²)	8760 [h]	0.0001×10^{-6}	$R_{KS} = 0.999$
30.	Tromi osigurač servomotora (1A) F1S	8760 [h]	5.0×10^{-6}	$R_{F1S} = 0.957$
31.	Relej 24V DC R1	8760 [h]	1.01×10^{-6}	$R_{R1} = 0.991$
32.	Relej 24V DC R2	8760 [h]	1.01×10^{-6}	$R_{R2} = 0.991$
33.	Vodiči za spajanje DC releja (1mm ²)	8760 [h]	0.0001×10^{-6}	$R_{VR} = 0.999$
34.	Membranski presostat	8760 [h]	8.0×10^{-6}	$R_{MP} = 0.932$
35.	Metalna cijev (promjer 25cm)	8760 [h]	0.0022×10^{-6}	$R_{MC} = 0.999$
36.	Gumena cijev presostata	8760 [h]	0.2×10^{-6}	$R_{CP} = 0.998$
37.	Ručna zaklopka zraka	8760 [h]	0.02×10^{-6}	$R_{RZ} = 0.999$
38.	Plastična cijev	8760 [h]	2.38×10^{-6}	$R_{PC} = 0.979$
39.	Plamenik	8760 [h]	* 0.022×10^{-6}	$R_P = 0.999$
40.	Glavni ventilator (17kW)	8760 [h]	15.9×10^{-6}	$R_{GV} = 0.870$
41.	Pomoćni ventilator (17kW)	8760 [h]	15.9×10^{-6}	$R_{PV} = 0.870$
42.	Glavna ručna zaklopka zraka	8760 [h]	0.02×10^{-6}	$R_{GRZ} = 0.999$
43.	Pomoćna ručna zaklopka zraka	8760 [h]	0.02×10^{-6}	$R_{PRZ} = 0.999$
44.	Glavni metalni cijevod (promjer 40cm)	8760 [h]	0.0022×10^{-6}	$R_{GMC} = 0.999$
45.	Sklopnik (CN16) C7	8760 [h]	1.01×10^{-6}	$R_{C7} = 0.991$
46.	Sklopnik (CN16) C8	8760 [h]	1.01×10^{-6}	$R_{C8} = 0.991$
47.	Simatic Siemens SITOP power 4	8760 [h]	* 0.022×10^{-6}	$R_{SITOP} = 0.999$

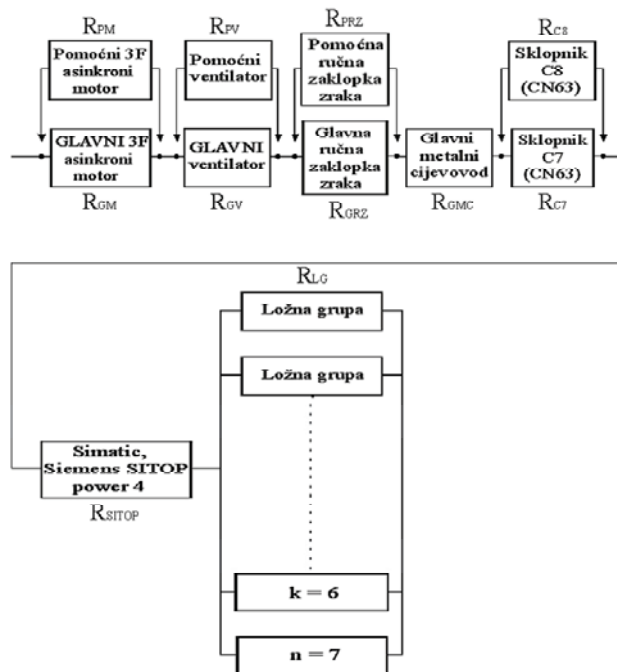
(*) – procijenjeni kvarovi

Na temelju izračunatih pouzdanosti elemenata, izračunata je pouzdanost glavnih sustava kao što su:

- automatski sustav (zvijezda – trokut) za zalet glavnog trofaznog asinkronog motora nazivne snage 22 kW
- automatski sustav (zvijezda – trokut) za zalet pomoćnog trofaznog asinkronog motora nazivne snage 22 kW
- sustav za dovođenje zraka ložnoj grupi od ukupno 15 plamenika

Pouzdanost postrojenja za dovod zraka plamenicima za sedam mjesta za loženje izračunata je prema shemi na slici 12., ali na temelju prethodno izračunatih pouzdanosti glavnih sklopova. Vidljivo je da se struktura postrojenja sastoji od elemenata koji su vezani serijskom, pasivnom paralelnom i djelomično paralelnom vezom.

Pouzdanost sustava izračunata je na temelju izraza 9, 12 i 13:



Slika 12. Strukturna shema pouzdanosti postrojenja za dovod zraka plamenicima

$$R_{POSTROJENJA} = \left[R_{GM} \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot t)^0}{0!} + \frac{(\lambda \cdot t)^1}{1!} \right) \right] \cdot \left[R_{GV} \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot t)^0}{0!} + \frac{(\lambda \cdot t)^1}{1!} \right) \right] \cdot \left[R_{GRZ} \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot t)^0}{0!} + \frac{(\lambda \cdot t)^1}{1!} \right) \right] \cdot R_{GMC} \cdot \left[R_{C7} \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot t)^0}{0!} + \frac{(\lambda \cdot t)^1}{1!} \right) \right] \cdot R_{SITOP} \cdot \left[\frac{7!}{6!(7-6)!} \cdot (R_{LG})^6 \cdot (1-R_{LG})^{7-6} + \frac{7!}{7!(7-7)!} \cdot (R_{LG})^7 \cdot (1-R_{LG})^{7-7} \right]$$

$$R_{GM}(8760h) = 0,746 = e^{-\lambda t} \rightarrow \lambda = -\frac{\ln R_{GM}}{t} = \frac{\ln 0,746}{8760} = 33,45 \cdot 10^{-6} (sat^{-1})$$

$$R_{GV}(8760h) = 0,870 \rightarrow \lambda = 15,9 \cdot 10^{-6} (sat^{-1})$$

$$R_{GRZ}(8760h) = 0,999 \rightarrow \lambda = 0,02 \cdot 10^{-6} (sat^{-1})$$

$$R_{C7}(8760h) = 0,991 \rightarrow \lambda = 1,01 \cdot 10^{-6} (sat^{-1})$$

$$R_{POSTROJENJA} = \left[0,746 \cdot \left(\frac{(33,45 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^0}{0!} + \frac{(33,45 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^1}{1!} \right) \right] \cdot \left[0,870 \cdot \left(\frac{(15,9 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^0}{0!} + \frac{(15,9 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^1}{1!} \right) \right] \cdot \left[0,999 \cdot \left(\frac{(0,02 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^0}{0!} + \frac{(0,02 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^1}{1!} \right) \right] \cdot 0,999 \cdot \left[0,991 \cdot \left(\frac{(1,01 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^0}{0!} + \frac{(1,01 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^1}{1!} \right) \right] \cdot 0,999 \cdot \left[\frac{7!}{6!(7-6)!} \cdot (0,856)^6 \cdot (1-0,856)^{7-6} + \frac{7!}{7!(7-7)!} \cdot (0,856)^7 \cdot (1-0,856)^{7-7} \right] = 0,699$$

Pouzdanost postrojenja za dovođenje zraka plamenicima iznosi:

$$R_{POSTROJENJA} = 0,699$$

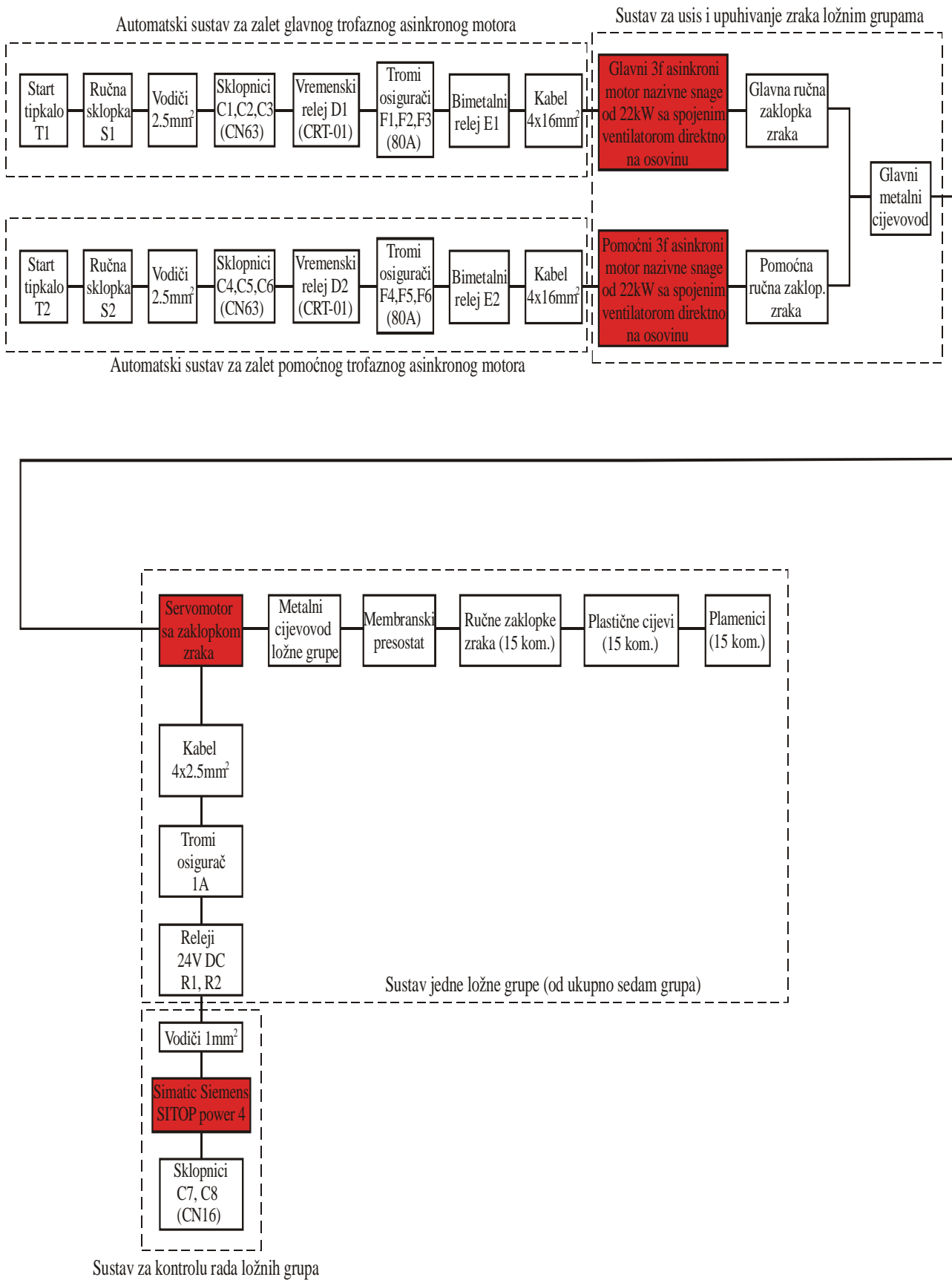
Vidljivo je da pouzdanost postrojenja za dovođenje zraka plamenicima iznosi 0,699 - odnosno 69,9 % - što znači da je unutar postrojenja vjerojatnost 69,9 % da se neće dogoditi nikakav kvar u razdoblju od jedne godine (8760 radnih sati).

6. MJERENJE PARAMETARA NA ELEMENTIMA POSTROJENJA

U konkretnom radu provedena su objektivna dijagnostička mjerenja na elektro-komponentama postrojenja za dovod zraka plamenicima (slika 13.), i to:

- Mjerenje neprekinutosti zaštitnog vodiča između glavnog razvodnog ormara (u daljnjem tekstu: GRO) i servomotora, simatica, glavnog trofaznog asinkronog motora te pomoćnog trofaznog motora
- Mjerenje otpora izolacije namota glavnog trofaznog asinkronog motora te namota pomoćnog trofaznog asinkronog motora
- Mjerenje buke glavnog trofaznog asinkronog motora i pomoćnog trofaznog asinkronog motora tijekom opterećenja
- Mjerenje vibracija na glavnom i pomoćnom trofaznom asinkronom motoru tijekom opterećenja
- Mjerenje radne temperature glavnog trofaznog asinkronog motora i pomoćnog trofaznog asinkronog motora tijekom opterećenja
- Mjerenje struje po fazama tijekom opterećenja na glavnom i pomoćnom trofaznom asinkronom motoru

Elementi postrojenja, na slici 13. označeni crvenom bojom, najčešće se provjeravaju subjektivnom dijagnostikom (vizualni pregled elemenata) pa zbog toga nisu razmatrani u ovom radu.



Slika 13. Strukturna shema postrojenja za dovođenje zraka plamenicima

7. IZBOR OPTIMALNOG MODELA ODRŽAVANJA

Na temelju rezultata mjerenja, u radu je izabrana optimalna varijanta održavanja prema usvojenim kriterijima i mjerilima. Predložena je varijanta održavanja prema stanju s kontrolom parametara. U tablici 2. prikazani su parametri predložene varijante održavanja.

Tablica 2. Parametri za modeliranje održavanja sustava za dovođenje zraka plamenicima

Red.br. i Element	Dijagnostička metoda	Instrument	Granična vrijednost	Pouzdanost $R(t)$ elementa za vrijeme rada od 8760h	Vrijeme trajanja dijagnostike [minuta]	Period dijagnostike u razdoblju od jedne godine
1. Glavni trofazni asinkroni motor nazivne snage od 22kW	mjerenje neprekinutosti PE zaštitnog vodiča između GRO-a i motora	Metrel Eurotest 61557	$R_{PE} < 2 \Omega$	0.927	15 minuta	jednom godišnje
	mjerenje otpora izolacije namota motora	Metrel Eutotest 61557	$R_{IZO} \geq 0,5 M \Omega$		15 minuta	jednom godišnje
	mjerenje struje po fazama motora tijekom opterećenja	Strujna kliješta: MASTECH 266 clamp meter	$I_{L1}=I_{L2}=I_{L3}<I_n$ $I_n = 40A$		5 minuta	triput godišnje
	mjerenje radne temperature motora tijekom opterećenja	kontaktni termometar Voltcraft 302 K/J	$T_{mj} < 155^\circ C$		15 minuta	triput godišnje
	mjerenje buke motora tijekom opterećenja	bukomjer: SVAN 949	$Leq < 85dB$		10 minuta	jednom godišnje
	mjerenje vibracija motora (ukupne i ležaji)	SKF, CMVL 3600-IS	uk.vib.< 3.65mm/s vib.lež<3gE		10 minuta	jednom mjesečno
	subjektivno određivanje radne temperature motora tijekom opterećenja	operater	$T_{mj} < 155^\circ C$		1 minuta	jednom mjesečno
	vizualni pregled motora	operater	-		1 minuta	jednom mjesečno
2. Pomoćni trofazni asinkroni motor nazivne snage od 22kW	mjerenje neprekinutosti PE zaštitnog vodiča između GRO-a i motora	Metrel Eurotest 61557	$R_{PE} < 2 \Omega$	0.927	15 minuta	jednom godišnje
	mjerenje otpora izolacije namota motora	Metrel Eutotest 61557	$R_{IZO} \geq 0,5 M \Omega$		15 minuta	jednom godišnje
	mjerenje struje po fazama motora tijekom opterećenja	strujna kliješta: MASTECH 266 clamp meter	$I_{L1}=I_{L2}=I_{L3}<I_n$ $I_n = 40A$		5 minuta	triput godišnje
	mjerenje radne temperature motora tijekom opterećenja	kontaktni termometar Voltcraft 302 K/J	$T_{mj} < 155^\circ C$		15 minuta	triput godišnje
	mjerenje buke motora tijekom opterećenja	bukomjer: SVAN 949	$Leq < 85dB$		10 minuta	jednom godišnje
	mjerenje vibracija motora (ukupne i ležaji)	SKF, CMVL 3600-IS	uk.vib.< 3.65mm/s vib.lež<3gE		10 minuta	jednom mjesečno
	subjektivno određivanje radne temp. motora tijekom opterećenja	operater	$T_{mj} < 155^\circ C$		1 minuta	jednom mjesečno
	vizualni pregled motora	operater	-		1 minuta	jednom mjesečno
3. Glavni ventilator nazivne snage od 17kW	vizualni pregled kućišta te lopatica ventilatora	operater	-	0.870	30 minuta	dvaput godišnje
4. Pomoćni ventilator nazivne snage od 17kW	vizualni pregled kućišta te lopatica ventilatora	operater	-	0.870	30 minuta	dvaput godišnje
5. Servomotor (sedam motora)	mjerenje neprekinutosti PE zaštitnog vodiča između GRO-a i motora	Metrel Eurotest 61557	$R_{PE} < 2 \Omega$	0.987	60 minuta	jednom godišnje
	vizualni pregled motora	operater	-		30 minuta	jednom mjesečno

6. Simatic Siemens SITOP power 4	mjerenje neprekinutosti PE zaštitnog vodiča između GRO-a i simatic	Metrel Eurotest 61557	$R_{PE} < 2 \Omega$	0.999	5 minuta	jednom godišnje
	vizualni pregled Simatica	operater	-		1 minuta	jednom mjesečno
7. START tipkala (T1, T2)	vizualni pregled tipkala	operater	-	0.998	10 minuta	jednom godišnje
8. Ručne sklopke (S1, S2)	vizualni pregled sklopki	operater	-	0.983	10 minuta	jednom godišnje
9. Vodiči 2.5mm ² (V1, V2)	vizualni pregled izolacije i spojnih mjesta	operater	-	0.999	15 minuta	jednom godišnje
10. Sklopnici CN63 (C1,C2,C3,C4, C5,C6)	vizualni pregled kontakata sklopnika te spojnih mjesta	operater	-	0.991	30 minuta	jednom godišnje
11. Vremenski releji (D1, D2)	vizualni pregled kontakata releja te spojnih mjesta	operater	-	0.948	20 minuta	jednom godišnje
12. Tromi osigurači80A (F1,F2,F3,F4,F5,F6)	vizualni pregled spojnih mjesta (utora) osigurača	operater	-	0.957	10 minuta	jednom godišnje
13. Bimetalni releji (E1, E2)	vizualni pregled spojnih mjesta	operater	-	0.892	5 minuta	jednom godišnje
	testiranje prorade releja na način namještanja proradne vrijednosti struje na vrijednost radne struje elektromotora	operater	-		20 minuta	dvaput godišnje
14. Kabel 4x16mm ² (K1, K2)	vizualni pregled izolacije i spojnih mjesta	operater	-	0.999	30 minuta	jednom godišnje
15. Kabel servomotora 4x2.5mm ² (sedam kabela)	vizualni pregled izolacije i spojnih mjesta	operater	-	0.999	30 minuta	jednom godišnje
16. Tromi osigurači Servomotora 1A (od F1 do F7)	vizualni pregled spojnih mjesta (utora) osigurača	operater	-	0.957	15 minuta	jednom godišnje
17. Releji 24V DC (od R1do R14)	vizualni pregled kontakata releja te spojnih mjesta	operater	-	0.991	30 minuta	jednom godišnje
18. Vodiči od 1mm ² za spajanje DC releja	vizualni pregled izolacije i spojnih mjesta	operater	-	0.999	15 minuta	jednom godišnje
19. Membranski Presostati zraka (sedam presostata)	vizualni pregled	operater	-	0.932	30 minuta	jednom godišnje
20. Sklopnici CN16 (C7, C8)	vizualni pregled kontakata sklopnika te spojnih mjesta	operater	-	0.991	10 minuta	jednom godišnje
Mehaničke komponente postrojenja za dovođenje zraka plamenicima						
21. Glavni metalni cjevovod promjera 40cm	vizualni pregled	operater	-	0.999	5 minuta	jednom godišnje
22. Metalne cijevi promjera 25cm (sedam cijevi)	vizualni pregled	operater	-	0.999	15 minuta	jednom godišnje
23. Glavna ručna Zaklopka zraka	vizualni pregled	operater	-	0.999	5 minuta	jednom godišnje
24. Pomoćna ručna Zaklopka zraka	vizualni pregled	operater	-	0.999	5 minuta	jednom godišnje
25. Ručna zaklopka zraka (105 kom)	vizualni pregled	operater	-	0.999	90 minuta	jednom godišnje
26. Plastična cijev (105 komada)	vizualni pregled	operater	-	0.979	90 minuta	jednom godišnje
27. Gumena cijev presostata (7 kom)	vizualni pregled	operater	-	0.998	20 minuta	jednom godišnje
28. Plamenik (105 komada)	vizualni pregled	operater	-	0.999	90 minuta	jednom godišnje

8. ZAKLJUČAK

Na temelju parametara prikazanih u tablici 2., razrađena je metodologija praktične primjene modela održavanja. Na osnovu podataka o kritičnim komponentama, određeni su najpovoljniji rokovi za ispitivanje, odnosno za usklađivanje vremena kontrole. Nakon toga razrađena je kompletna dijagnostika i u slučajevima intervencije, tj. onda kada treba ići u korektivnu akciju.

Optimalni model održavanja predložen je na temelju troškovne analize i maksimalne iskoristivosti i funkcionalnosti pojedinih komponenata kroz dulji vremenski period.

9. LITERATURA

- [1] Ž. Kondić-Kvaliteta i pouzdanost tehničkih sistema, Tiva, Varaždin, 2001.
- [2] Ž. Kondić-Održavanje industrijskih postrojenja, predavanja, Veleučilište u Varaždinu, 2008.
- [3] S. Sebastijanović -Osnove održavanja strojarskih konstrukcija, Magnus, Slavonski Brod, 2002.
- [4] Ž. Adamović i dr. -Preventivno održavanje u mašinstvu, Građevinska knjiga, Beograd, 1988.
- [5] E. Mileušnić -Ispitivanje električnih instalacija niskog napona, Intergrafika, Zagreb, 1996.
- [6] NN.20/03 -Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave

Podaci o autorima:

- 1. Vjeran Breški, ing.
- 2. dr.sc. Živko Kondić, prof.visoke škole, Veleučilište u Varaždinu