

## PRIMJENA DIJAGNOSTIČKIH METODA ISPITIVANJA U ODRŽAVANJU NISKONAPONSKIH ASINKRONIH MOTORA

### THE APPLICATION OF DIAGNOSTIC TESTING METHODS TO THE MAINTENANCE LOW VOLTAGE INDUCTION MOTORS

*Mario Abraham, Veselko Tomljenović*

Stručni članak

**Sažetak:** Pažljivo održavanje svakoga električnog stroja i postrojenja vrlo je važno u očuvanju sigurnosti ljudi i najbolja je zaštita od oštećenja uređaja i zastoja u proizvodnji. Dijagnostička ispitivanja i monitoring električnih strojeva nezaobilazne su aktivnosti u procedurama održavanja svake ozbiljne organizacije. U radu je obrazložena potreba, način i važnost dijagnostičkih ispitivanja, planiranja i provedba proaktivnog održavanja električnih strojeva. Teorijski obrazložena tematika, praktično je primijenjena na konkretnom primjeru ispitivanja i održavanja niskonaponskog asinkronog motora (1,1 kW) u laboratoriju električnih strojeva Veleučilišta u Varaždinu.

**Cljučne riječi:** asinkroni motor, dijagnostika, preventivno održavanje

Professional paper

**Abstract:** Careful maintenance of each electric machine and plant is very important in preserving of people security and production. Diagnostic tests and monitoring of electrical machines are essential activities in maintenance procedures of every serious organization. In this paper efforts were made to explain the need and importance of diagnostic testing, planning and implementation of proactive maintenance of electrical machines. Theoretically expounded theme is practically applied to a concrete example of testing and maintaining the low-voltage induction motor (1,1 kW) in electrical machinery laboratory at The Polytechnic of Varaždin.

**Keywords:** induction motor, diagnostics, preventive maintenance

## 1. UVOD

Električni strojevi su ključni dio svih industrijskih elektromotornih pogona, budući da upravo oni ostvaruju funkcionalnost procesa. Kvar motora može izazvati prekid cijelog proizvodnog procesa i nanijeti veliku štetu, bilo zbog prestanka proizvodnje, bilo kroz oštećenja izazvana kvarom stroja. Implementacija sustava održavanja smanjuje mogućnost nastanka kvara, što uvjetuje uvođenje sustava održavanja u sve pogone, a svrha mu je izbjeći neplanirane zastoje u proizvodnji i produljiti radni vijek stroja. Posebno su pogodni sustavi održavanja koji temelje svoj rad na dijagnostičkim ispitivanjima. Dijagnostička ispitivanja mogu uvelike doprinijeti kvaliteti sustava održavanja jer omogućuju pravovremenu reakciju i planiranje akcija održavanja čim se manifestira početak kvara. U ovom radu fokus je na asinkronim motorima zato što su oni, s obzirom na broj ugrađenih jedinica, danas najzastupljenija vrsta motora u industrijskim pogonima.

## 2. ODRŽAVANJE

Održavanje je kombinacija svih tehničkih, administrativnih i menadžerskih postupaka tijekom vijeka trajanja nekog elementa s ciljem zadržavanja ili vraćanja elementa u stanje u kojem može izvoditi zahtijevanu funkciju [1]. Ciljevi kojima su aktivnosti održavanja usmjereni zajednički su gotovo svim tehničkim uređajima i sustavima, a to su: sigurnost u radu, veća raspoloživost, veća pouzdanost i reduciranje troškova. S obzirom na djelovanje prema kvaru, tri su osnovne vrste održavanja tehničkih uređaja i sustava: preventivno održavanje, korektivno održavanje i preventivno-korektivno održavanje. Oblik preventivno-korektivnog održavanja ili tzv. održavanja prema stanju, definira niz aktivnosti koje sprečavaju nastanak kvara, a poduzimaju se obzirom na informacije o stanju postrojenja ili njegovih komponenata odnosno na temelju rezultata dijagnostičkih ispitivanja asinkronih strojeva.

## 2.1. Održavanje asinkronih strojeva

Održavanje asinkronih strojeva obuhvaća pravilno planiranje servisnih zahvata i njihovo pravodobno izvođenje, a poduzimaju se na temelju informacije o stanju pojedinih parametara motora kao što su: struja, napon, temperatura, vibracije, radni otpor namota, kontrola maziva ležajeva i drugo. Promjene tih parametara mogu se registrirati različitim dijagnostičkim metodama koje uključuju: pregled kućišta stroja, nadgledanje ležajeva i sustava za podmazivanje, ispitivanje namota statora i rotora, i dr. Kontrolne metode specifične su za određenu vrstu strojeva, stoga u nizu danas primjenjivih postupaka ranog otkrivanja kvarova, vrlo je važno primijeniti one koje daju potpunu informaciju o stanju stroja. S obzirom na navedeno, u nastavku ovog rada nalaze se opisi i rezultati ukupno sedam dijagnostičkih metoda (DM) karakterističnih za ispitivanje niskonaponskih strojeva.

## 3. DIJAGNOSTIČKA ISPITIVANJA

Dijagnostika je pravovremeno ili periodičko određivanje stanja nekog stroja s ciljem procjene pouzdanosti daljnjeg pogona i predlaganja načina i obima servisiranja [4]. Integracija dijagnostike u sustav održavanja olakšava planiranje akcija održavanja čime se vrijeme zastoja nastalo zbog izvođenja radnji održavanja smanjuje na minimum. Dijagnostički sustavi mogu biti opremljeni elementima i sklopovima koji u bilo kojem trenutku mogu dati operateru informaciju o tehničkom stanju električnog rotacijskog stroja. Ispitivanja obuhvaćaju kontrolne metode koje se mogu izvesti na motoru kad je on u pogonu, i postupke koji se jedino mogu izvesti na zaustavljenom stroju.

### 3.1. Ispitne metode

- 1. Vizualni pregled (1DM)** - obuhvaća inspekciju svih ljudskom oku dostupnih dijelova i elemenata stroja koji su za tu metodu prethodno demontirani i rastavljeni. Potraga za fizičkim oštećenjima (npr. stanje varova, postojanje napuknuća, dijelovi podložni habanju, hrđa, oštećenja izolacije i ostala oštećenja namota, rotora, ležajeva i statora).
- 2. Mjerenje temperature (2DM)** - je uobičajena metoda nadzora stanja električnih strojeva i pogona od pregrijavanja. Ovaj tip ispitivanja može se izvesti na motoru u pogonu (senzori u namotu) i kad je zaustavljen. Granice korištenja električnih strojeva su uvelike određene najvećom temperaturom koju izolacija stroja može izdržati. Metode za mjerenje temperature stroja su: mjerenje omskog otpora namota U-I metodom, mjerenje temperature pomoću ugrađenih temperaturnih senzora (kontaktno lokalno mjerenje temperature), mjerenje temperature pomoću naknadno postavljenih termometara, mjerenje omskog otpora namota metodom superpozicije i beskontaktno mjerenje temperature - IC termografija [3].

- 3. Mjerenje rasipnih magnetskih tokova (3DM)** - je metoda koja se temelji na mjerenju i spektralnoj analizi magnetskog polja električnog stroja. Kvar pojedinog dijela motora može izazvati nesimetrije rasipnih magnetskih tokova [7]. Informacija o nesimetriji magnetskog polja se dobiva pomoću mjernih senzora koji su raspoređeni izvana po kućištu.
- 4. Ispitivanja rotacijom pri jednofaznom napajanju (4DM)** - zbog izmjenjivanja grijanja i hlađenja rotora može doći do malog pomaka kaveza unutar paketa što dovodi do pucanja štapova. Ovom metodom izvodi se provjera ispravnosti štapova u rotorskom paketu. [5].
- 5. Mjerenje otpora namota statora (5DM)** - provjerava se simetričnost namota armature i stroja kao tereta trofaznog simetričnog sustava.
- 6. Ispitivanje izolacijskog otpora (6DM)** - odnosi se na utvrđivanje kvalitete izolacije namota asinkronog motora prema zemlji i s obzirom na druga dva namota. Mjeri se U-I metodom istosmjernim naponom. Na izvod faze, kojoj se mjeri izolacijski otpor, priključuje se jedan kraj izvora istosmjernog napona dok se drugi kraj priključuje na masu [8]. Ovim ispitivanjima mogu se otkriti međufazni i međuzavojni kratki spojevi. Ispitivanje se provodi nakon servisa i tijekom redovitog održavanja radi otkrivanja kvarova koji nastaju zbog starenja izolacije.
- 7. Mjerenje vibracija (7DM)** - visoke ili rastuće vibracije asinkronog motora ukazuju na promjene stanja stroja. Postoje tzv. električne vibracije - to su vibracije kojima su uzroci električne veličine, pa tako ovise prvenstveno o frekvenciji, indukciji, obliku napona i javljaju se kod nesimetrija magnetskog polja u stroju. Jedan od uzroka nastanka nesimetrija magnetskog polja je nesimetrija u rasporedu struja koja može biti izazvana oštećenjem štapova u rotoru. Mehaničke vibracije se javljaju zbog oštećenja u ležajevima ili zbog nepravilnog spoja motora s teretom i podlogom, pri čemu i mala odstupanja u spoju mogu uzrokovati znatne vibracije. Više o mjerenju vibracija moguće je pronaći u [9].

## 4. POSTUPAK ISPITIVANJA

### 4.1. Vizualni pregled:



Slika 1. Fotografija ispitivanog motora

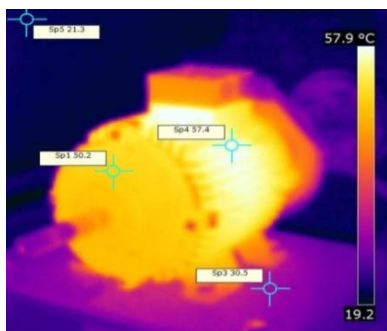
Kontrola se radi najprije izvana na kompletnom montiranom stroju (slika 1.), a zatim se motor rastavi na dijelove i prema već unaprijed definiranom planu (tabela 1.), pregledava se svaki segment stroja zasebno.

**Tabela 1.** Plan vizualnog pregleda statora i rotora

Stator i rotor	Kontrola/Test	Zadovoljava	Broj napomene
Jezgra statora – paket limova	Popravci, napuknuća, varovi	Da, uz napomenu	1
Statorski trofazni namot	Oštećenja na izolaciji	Da	-
Priključnice statora	Kontakti, izolacija	Da	-
Instrumentacija	Stanje kabela i veza između kabela	Da	-
Rotorski paket	Napuknuća, čistoća	Da	-
Vratilo	Napuknuća, čistoća, hrđa	Da	2
Kratkospojni prsten	Napuknuća, hrđa	Da	-

#### 4.2. Mjerenje zagrijavanja i temperature

Ispitivanja se izvode termovizijskom kamerom [3]. Prednost takvog mjerenja je rano otkrivanje kvarova bez zaustavljanja stroja. Motor u praznom hodu radi dok mu se temperatura izmjerena na kućištu ne ustali na određenoj vrijednosti (slika 2.).

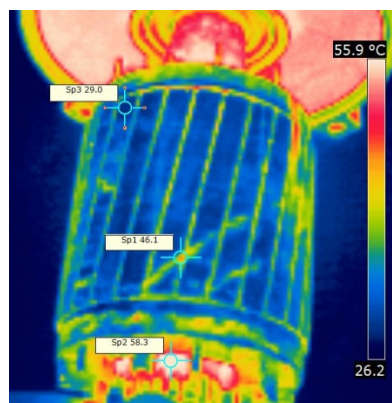


**Slika 2.** Termoslika motora u pogonu

Vrlo brzo se otvori ležajni štiti i izvadi rotorski paket (slika 3.). Važno je da se sve navedene radnje izvedu što brže kako bi se izbjeglo znatnije hlađenje stroja. Termografska slika (slika 4.) daje podatak o izmjerenoj vrijednosti temperature u određenoj točki koji se upisuje u pripadnu tabelu (tabela 2.).



**Slika 3.** Fotografija rotorskog paketa i kaveza s perima za balans



**Slika 4.** Termoslika rotorskog paketa i kaveza 1 min nakon zaustavljanja motora

**Tabela 2.** Rezultati ispitivanja

Objekt mjerenja	$\vartheta$ (°C)	$\vartheta_0$ (°C)	$\varepsilon$	$l$ (m)	Napomena
Kavez, mjerna točka 1	46,1	20,5	0,95	2	1
Kavez, mjerna točka 2	29,0	20,5	0,95	2	Zadovoljava
Krajevi štapova rotora	58,3	20,5	0,95	2	Zadovoljava

$\vartheta$  – izmjerena temperatura °C

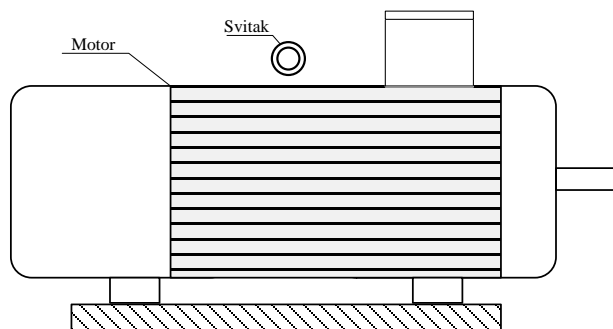
$\vartheta_0$  – temperatura radne okoline

$\varepsilon$  – emisivnost

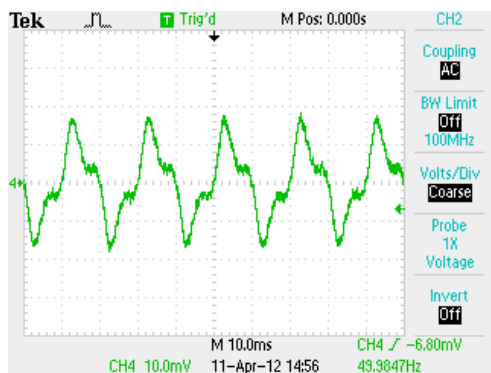
$l$  – udaljenost kamere od ispitivanog objekta

#### 4.3. Ispitivanje rasipnih magnetskih tokova

Mjerenje se izvodi pomoću specijalne valjkaste zavojnice, koja se postavlja neposredno uz motor u položajima koji dobro obuhvaćaju rasipna magnetska polja (slika 5.). Na taj način mjeri se srednja vrijednost promjene gustoće magnetskog toka (slika 6.) pri različitim aksijalnim, radijalnim i tangencijalnim položajima mjernog svitka prema vratilu. Ispitivanjem se provjerava ispravnost kaveza rotora [7].



**Slika 5.** Položaj svitka na hrptu motora



Slika 6. Snimljeni rasipni magnetski tokovi

#### 4.4. Ispitivanja rotacijom pri jednofaznom napajanju.

Na dva motorska izvoda priključi se jednofazni napon iznosa  $\cong 25\%$  nazivnog napona motora. Zatim se rotor stroja zakreće rukom i pri tome se pomoću strujnih kliješta promatra vrijednost struje koja se zatvara kroz opisanu strujni krug. U trenutku kada slomljeni rotorski štap dođe u položaj ispod napajano para polova, pojavit će se zamjetno veće odstupanje struje naspram ostalih izmjerenih u jednom punom zakretu (titranje struje). Ukupno je izvedeno sedam mjerenja za sedam različitih položaja osovine (tabela 3.).

Tabela 3. Izmjereni rezultati

U, V	$r, ^\circ$	$I_s, A$
90	0	2,386
90	30	2,374
90	60	2,372
90	90	2,368
90	120	2,365
90	150	2,378
90	360	2,385

#### 4.5. Mjerenje otpora namota statora

Izvodi se mjerenjem otpora za svaku fazu zasebno. Na krajeve istog statorskog svitka spaja se precizni termometar kojim se najprije mjeri temperatura namota a zatim i ohmmetar koji mjeri vrijednost otpora. U pokusu je izvedeno mjerenje otpora namota pri  $20^\circ\text{C}$ , stoga se izmjerene rezultati dodatno preračunavaju na pogonski toplo stanje ( $75^\circ\text{C}$ ).

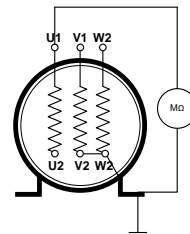
Tabela 4. Rezultati mjerenja

Oznaka namota	$\vartheta_0, ^\circ\text{C}$	$\vartheta, ^\circ\text{C}$	$R_{\vartheta_0}, \Omega$	$R_{\vartheta}, \Omega$
U1 – U2	20	75	7,95	9,67
W1 – W2	20	75	8,15	9,90
V1 – V2	20	75	8,05	9,74

Iz navedenih rezultata dobivenih pri temperaturi  $20^\circ\text{C}$  nema većih odstupanja u vrijednostima otpora što dokazuje simetričnost namota armature (tabela 4.).

#### 4.6. Ispitivanje otpora izolacije namota statora

Ispitivanje se provodi pomoću mjerača izolacije (induktor), istosmjernim naponom (500 V) između namota i uzemljenja motora, po shemi kako je navedeno u shematskom prikazu (slika 7.). Rezultati kontrolnog ispitivanja izolacije za svaku fazu namota prema zemlji i ostalim namotima dani su u tabeli niže (tabela 5.).



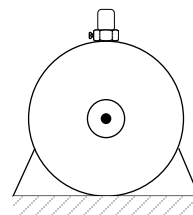
Slika 7. Mjerenje izolacijskog otpora za svaku fazu namota prema zemlji i ostalim namotima

Tabela 5. Rezultati ispitivanja

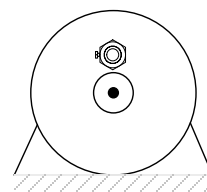
Oznaka stezaljki	Otpor izolacije, M $\Omega$	Ispitni napon, V
U1 – W2, V2, PE	> 1000	515
V1 – V2, U2, PE	> 1000	515
W1 – U2, W2, PE	> 1000	515

#### 4.7. Mjerenje vibracija

Razine vibracija su obzirom na njihove srednje vrijednosti podijeljene u nekoliko razreda ili klasa koje daju informaciju o njihovom djelovanju na rotacijski stroj (A-dobro; B-zadovoljavajuće; C-dopustivo i D-nedopustivo djelovanje). Njihove međusobne granice, osim vrijednosti samih, definirane su i s obzirom na veličinu i tip motora, a sadržane su u normativnim dokumentima [6]. Mjerenja se izvode na prednjem i stražnjem ležajnom štitu motora piezoelektričkim pretvornikom u radijalnom (slika 8.) i aksijalnom (Slika 9) položaju s obzirom na osovinu asinkronog motora, a rezultati upisuju u pripadne tabele (tabela 6.).



Slika 8. Mjerenje vibracija piezoelektričkim pretvornikom u radijalnom položaju

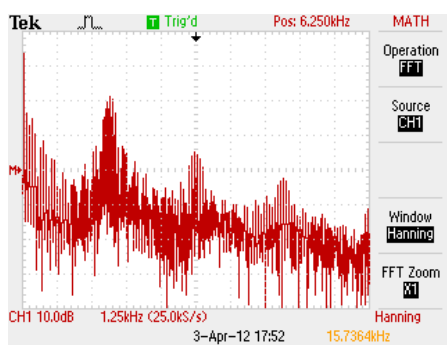


Slika 9. Mjerenje vibracija piezoelektričkim pretvornikom u aksijalnom položaju

**Tabela 6.** Izmjerene vrijednosti jačine vibracija na navedenim mjernim mjestima

Točka mjerenja	Srednja vrijednost vibracija $v_{ef}$ , mm/s	Brzina vrtnje, $\text{min}^{-1}$
Radijalno na prednji ležajni štít	0,89	1482
Aksijalno na prednji ležajni štít	0,91	1483
Radijalno na stražnji ležajni štít	1,19	1483
Aksijalno na stražnji ležajni štít	1,74	1482

Vibracijski signal iz piezoelektričnog pretvornika može se iskoristiti i za analitičko višefunkcijsko (FFT) mjerenje vibracija [3]. Prepoznavanjem harmonika rotacijskih dijelova motora mogu se otkriti različite greške u sustavima: asimetrije, ekscentričnosti, greške u ležajevima, neravnoteže i sl. Pojava harmonika na frekvenciji jednakoj dvostrukoj brzini vrtnje ( $2xRPM$ ) ukazuje na nepravilnosti vezane uz ležaj (slika 10.).

**Slika 10.** Frekvencijski spektar vibracijskog signala radijalno na stražnji ležajni štít

## 8. REZULTATI I ANALIZA ISPITIVANJA

Vizualnim pregledom ustanovljena su mehanička oštećenja na rotorskom paketu limova (tabela 1 – napomena 1) koja u daljnjem radu mogu dovesti do većih nesimetrija u magnetskim tokovima i povećanog zagrijavanja stroja. Osovina rotora prekrivena je mazivom, vjerojatno iz samopodmazivajućeg ležaja, što indicira njegovu neispravnost (tabela 1 – napomena 2).

Povećano zagrijavanje izmjereno je na oštećenim mjestima rotorskog paketa koja su već ranije uočena vizualnim pregledom. Klasa izolacije (F) dopušta navedeno zagrijavanje, a kako opisana mehanička oštećenja nisu kritična i ne izazivaju poremećaj drugih karakteristika motora (vibracije, magnetski tokovi), zasada nije potrebno intervenirati s time u svezi.

Magnetsko polje stroja vrlo je kompleksno jer se sastoji od polja osnovne frekvencije na koje su superponirana polja viših i nižih frekvencija. Da bi se to moglo izmjeriti, potrebno je istodobno koristiti specifične mjerne svitke. S obzirom na referentne podatke i izvedena ispitivanja rasipnih magnetskih tokova [3] može se ustanoviti da ne postoji nesimetrija magnetskih tokova izazvana kvarom na rotorskom kavezu.

Ispitivanje rotacijom pri jednofaznom napajanju provodi se radi kontrole stanja štapova u rotorskom

paketu. Ako vrijednost struje na ampermetru varira za više od 5% od prosječne vrijednosti, to je indikator prekinutog štapa rotora. Prema rezultatima ispitivanja (tabela 3.) taj podatak iznosi najviše 1%, što dokazuje da su štapovi rotorskog kaveza - ispravni.

Analizom izmjerenih vrijednosti otpora statorskog namota pri temperaturi namota  $20^{\circ}\text{C}$ , (tabela 4.) nisu ustanovljena veća odstupanja u rezultatima za sva tri namota, što dokazuje simetričnost namota armature i stroja kao trofaznog opterećenja.

Prema rezultatima kontrole (tabela 5.), stanje izolacije zadovoljava propisane norme i kriterije prihvatljivosti. Za niskonaponske strojeve vrijednost otpora izolacije mora biti veća od  $1\text{ k}\Omega/\text{V}$  pogonskog napona. U praksi se stroj sa izolacijskim otporom manjim od  $1\text{ M}\Omega$  smatra neprihvatljivim za pogonski rad.

Ako se izmjerene brzine vibracija usporede s referentnim vrijednostima iz normativnog dokumenta, one na prednjem ležajnom štítu se mogu okvalificirati kao zadovoljavajuće, jer se podudaraju s vrijednostima iz B razreda. Povećane vibracije izmjerene su na stražnjem ležajnom štítu (tabela 6.). Vrijednosti su im još u B razredu, no vrlo blizu granice s C razredom (dopustivo).

Ispitivanja su pokazala da je neophodno zamijeniti kotrljajući ležaj u stražnjem ležajnom štítu. Na to upućuju mjerenja vibracija i temperature te vizualni pregled unutrašnjosti motora. Ostali dijelovi motora su ispravni, što su potvrdile i ostale mjerne metode.

## 9. PROGRAM ODRŽAVANJA

Program održavanja električnih strojeva sadrži popis, raspored i intervale svih preventivnih ispitivanja i kontrolno-servisnih aktivnosti. Preventivna ispitivanja se izvode kroz čitav radni vijek stroja a mogu se organizirati i izvoditi u četiri razine (faze) održavanja (R1, R2, R3, i R4). Međusobno se razlikuju po vrsti, vremenskom trajanju i veličini predviđenih zahvata. Intervali po kojima se one međusobno smjenjuju (tabela 7.) definirani su s obzirom na potrebno razdoblje između dvije preventivne aktivnosti, a mogu se mjeriti vremenski (u danima, mjesecima, godinama) ili u efektivnim radnim satima stroja (Eq. h).

**Tabela 7.** Intervali preventivnih aktivnosti

Razine održavanja	Ekvivalent satova rada (Eq.h)	Vremenski interval
R1	4000/12000/ 20000/28000	Svakih 6 mjeseci
R2	8000/16000	Svake godine
R3	24000	Svakih 3-5 godina
R4	80000	Remont

Razina 1 ili R1 održavanje se sastoji od vizualnih kontrola i manjih popravaka. Na temelju tog pregleda donose se određene preporuke o tome koji bi se radovi na održavanju trebali napraviti u nekoj od sljedećih faza održavanja. Razina 2 ili R2 održavanje obuhvaća kontrole, testove i manje zahvate na strojevima. Svrha joj

je provjeriti stanje stroja i napraviti manje popravke kako bi se osigurao daljnji nesmetan rad. Razina 3 ili R3 održavanje se sastoji od detaljnijih kontrola i popravaka koji su već za tu razinu određeni tijekom prethodnih faza održavanja, (npr. zamijeniti dijelove podložne habanju). Razina 4 ili R4 održavanje predstavlja remont rotacijskog stroja. Sastoji se od najopširnijih kontrola i zahtjevnih servisno-korektivnih akcija kojima je za cilj vratiti stroj u normalno, sigurno i funkcionalno radno stanje [3]. U donjoj tabeli (tabela 8.) su sadržane kontrolne aktivnosti u opisane poglavlju (3.1.), raspoređene prema fazama održavanja.

**Tabela 8.** Program dijagnostičkih metoda ispitivanja statora i rotora niskonaponskog asinkronog motora

Objekt održavanja	R1	R2	R3	R4
Feromagnetski paket limova statora	1DM	1DM	1DM	1DM 2DM 3DM
Izolacija na namotima statora	1DM	1DM	1DM 6DM	1DM 6DM 7DM
Namot statora preko izvoda	1DM	1DM	1DM	1DM 5DM
Držači namota statora	1DM	1DM	1DM	1DM
Utorski klinovi statora	1DM	1DM	1DM	1DM
Priključnice statora	1DM	1DM	1DM	1DM
Feromagnetski paket rotora	1DM	1DM	1DM 2DM 3DM	1DM 2DM 7DM
Spojevi kaveznih prstenova i štapova	1DM	1DM	1DM 2DM	1DM 2DM
Uravnoteženost vratila	1DM	1DM	1DM	1DM 7DM
Štapovi kaveza	1DM	1DM	1DM 3DM	1DM 3DM 4DM

## 10. ZAKLJUČAK

Dijagnostička ispitivanja su učinkovita metoda za utvrđivanje stvarnog stanja stroja, što je potvrđeno mjerenjima na asinkronom stroju prikazanima u članku. Na temelju dijagnostičkih ispitivanja donosi se plan održavanja koji uzima u obzir zatečeno stanje stroja. Plan, odnosno program održavanja donesen za ovaj stroj ima cilj uspostaviti rutine održavanja koje će jamčiti dugotrajan i pouzdan rad motora.

## 11. LITERATURA

- [1] Hrvatski normativni dokument HRN EN 13306:2011, Hrvatski zavod za norme, 2011
- [2] Wolf, R.: Ispitivanje električnih strojeva III dio; Elektrotehnički fakultet Zagreb, 1964
- [3] Abraham, M.: Utvrđivanje stanja električnog rotacijskog stroja nakon razdoblja korištenja i prijedlog plana i programa budućeg održavanja, diplomski rad, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, 2012.
- [4] Ban, D. i suradnici: Tehničke preporuke za redovito održavanje elektrostrojarske opreme u termoelektranama HEP-a, Knjiga 1: Opći dio, FER, Zagreb, 1999.
- [5] Miletić, A.: Dijagnostičke metode i kriteriji za ocjenu elektromehaničkog stanja asinkronog stroja, magistarski rad, FER, Zagreb, 2002.
- [6] ISO 10816-1:1995: Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts - Part 1: General guidelines, ISO, Ženeva, Švicarska, 1995.
- [7] Srb, N.: Magnetski monitoring električnih rotacijskih strojeva; Graphis Zagreb 2007.
- [8] Čorak, T.: Sustav automatiziranog ispitivanja asinkronog stroja u tvornici; Magistarski rad: Fakultet elektrotehnike i računarstva; Zagreb 2001
- [9] Tavner, P.; Ran, L.; Penman, J.; Sedding, H.: Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines; Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom; 2008

Kontakt autora:

**Mario Abraham, struč. spec. ing. el.**

Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin  
104. brigade 3  
42000 Varaždin  
mario.abraham@unin.hr

**Mr.sc. Veselko Tomljenović, v. pred.**

Tehničko veleučilište u Zagrebu  
Elektrotehnički odjel  
Konavoska 2  
10000 Zagreb  
vtomljenovic@tvz.hr,