

## DALJINSKI TEMPERATURNI NADZOR POLOVA ROTORA HIDROGENERATORA

Saša Milić

*Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd*

**Kratak sadržaj:** U radu je prikazan daljinski sistem za temperaturni nadzor polova rotora generatora na hidro elektrani Đerdap II. Pored prikaza hardverske koncepcije sistema, dat je i prikaz računarskog programa za vizualizaciju mernog procesa. Osnovni uzrok pregrejanosti namotaja su problemi u sistemu vodenog hlađenja polova. Koncepcija ovog mernog sistema se bazira na optičkom beskontaktnom merenju apsolutne temperature bočne površine namotaja rotora u radu pomoću, optičkog infracrvenog (IC) uređaja. Sam merni uređaj je razvijen za merenje temperature objekata u pokretu u teškim industrijskim uslovima. Rezultate merenja optički IC sklop prosleđuje u procesnu jedinicu za obradu podataka, koja zatim izračunata vrednosti temperatura sa pripadajućim rednim brojem pola šalje na panel računar na kome su instalirani virtualni instrument i baza podataka. Sistem radi automatski u on-line, intermitentnom režimu. Predviđena je mogućnost poluautomatskog režima rada gde operater može da izvrši merenje u svakom trenutku. Na ekranu panel računara na komandnoj tabli se prikazuju vrednosti temperatura polova rotora. Sistem sadrži svu potrebnu funkcionalnost i mogućnost generisanja pisanih izveštaja o merenjima, kao i vezu sa nadzornim SKADA sistemom. Rezultati merenja su dati u vidu praktične verifikacije u realnom radu. Ovi merni sistemi su instalirani na svih deset agregata čime je značajno podignuta pouzdanost proizvodnog procesa električne energije u hidroelektrani Đerdap II.

**Ključne reči:** temperaturni nadzor, namotaji rotora, polovi rotora, infracrveno merenje, virtualni instrumenti.

### 1. UVOD

U današnje vreme, razvoj sistema za merenje različitih parametara u industriji zahteva sintezu znanja iz više naučnih oblasti. Sve se češće sreću složeni merni sistemi koji objedinjuju oblasti optike, mehanike, komunikacija, merne i procesne tehnike i dr. Upotreba računara i uvođenje automatizacije se više i ne pominje kao moderno već kao podrazumevano. U ovom radu je dat prikaz mernog sistema koji je razvijen za potrebe hidroelektrana. Sistem služi za merenje temperatura namotaja rotora, odnosno vodom hlađenih polova rotora hidrogeneratora u radu. Konstrukcija rotora je takva da se vodom hlade i bakarni provodnici i paketi limova.

Osnovni uzrok pregrejanosti namotaja polova rotora je začepljenje samih namotaja i dovodnih cevi u sistemu vodenog hlađenja rotora generatora. Prisustvo vazduha u rashladnoj vodi dovodi do oksidacije bakra u namotajima polova, a samim tim i taloženje bakar-oksida  $\text{Cu}_2\text{O}$  u istim. Taloženje produkata oksidacije je prostorno neravnomerno i vremenski teško predvidivo.

Temperature namotaja rotora predstavljaju važan parametar na osnovu koga se procenjuje stanje rashladnog sistema na samom rotoru. Ovde je primenjena beskontaktna metoda merenja temperature na bazi infracrvenog zračenja sa bočne

(vidljive prednje strane) površine namotaja rotora. Merenje se obavlja u radu agregata i to za namotaje svaka dva susedna pola ponaosob. Meri se temperatura susednih namotaja iz razloga što susedni namotaji poseduju zajedničku cevnu vezu rashladnog sistema (redna veza dva susedna pola u rashladnom sistemu). Posebna prednost ove beskontaktno metode i daljinskog nadzora temperature je u tome da se ceo merni ciklus odvija u realnom vremenu i bez prekidanja procesa proizvodnje odnosno rada generatora.

Sistem je predviđen da registruje svaku promenu mirnog temperaturnog stanja na kontrolnom displeju (monitoru). Signal o prekoračenju opomenske i havarijske vrednosti se kao zbirni signal prosleđuje na komandnu tablu agregata (relejni izlaz), ka štampaču i u "istoriju" događaja. Mirno stanje je stanje bez opomenskih i havarijskih vrednosti. Uredaj treba da registruje i upamti, kako očekivanu promenu temperature namotaja rotora usled promene snage agregata, tako i neočekivane poraste temperatura na polovima. Istorija događaja se pamti u bazi podataka. Definisana su po dva praga alarma za vrednosti izmerenih temperatura: opomenski alarm i havarijski alarm koji se može realizovati zajedno sa upravljačkim signalom havarijskog zaustavljanja generatora.

Izvršeno je povezivanje sa sistemima za merenje temperatura sa stacionarnih davača i povezivanje na SKADA sistem. Sistem je otvoren za dalju nadogradnju.

## **2. TEHNIČKI ASPEKT RASHLADNOG SISTEMA I POTREBA ZA TEMPERATURNIM NADZOROM POLOVA ROTORA**

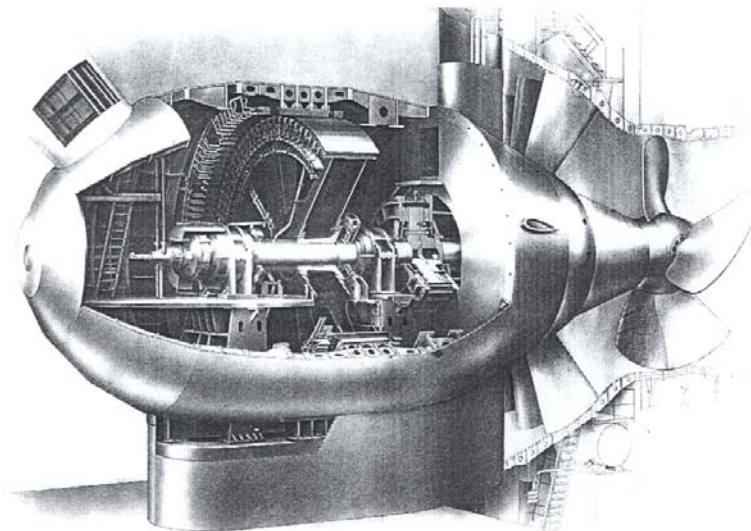
Potreba za razvojem ovakvog mernog sistema je višestruka. Sa ekonomskog aspekta, na ovaj način se omogućava praćenje stanja zaprljanosti celog rashladnog sistema polova, kao i čišćenje samo grana rashladnog sistema koje povezuju polove sa povišenom temperaturom. U užem smislu, sa aspekta sigurnosti, ovaj sistem značajno podiže pouzdanost proizvodnje i olakšava održavanje davanjem tačne pozicije pregrejanih polova. U širem smislu posmatrano, sistem smanjuje verovatnoću havarije na generatoru koja je prouzrokovana pregrejanošću namotaja rotora. Ovaj problem je prisutan na hidroelektrani Đerdap II gde se na generatorima polovi (i namotaji i paketi limova) rotora hlade vodom u toku rada.

U hidroelektrani Đerdap II, odnosno u srpskom delu elektrane, se nalaze 10 horizontalnih cevni agregata ukupne instalisane snage 270 MW (Sl.1 Turbine su Kaplanovog tipa. Hidrogeneratori su aktivne snage 27 MW, faktora snage 0,98 i nalaze se u kapsulama. Osnovni delovi hidrogeneratora su: stator, rotor, radijalni ležajevi, aksijalni i kontraaksijalni ležajevi, regulacioni generator (tahogenerator), sistem za hlađenje i sistem za gašenje požara. Sistem termokontrole spada u prateću (pomoćnu) opremu agregata i sastoji se od dva funkcionalno i tehnički povezana sistema: sistem daljinskog monitoringa temperature namotaja rotora i sistem za merenje temperatura sa stacionarnih davača.

Električne karakteristike hidrogeneratora:

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| • aktivna snaga       | 27 000 KW  |
| • prividna snaga      | 27 550 KVA |
| • faktor snage (cosφ) | 0,98       |
| • linijski napon      | 6 300 V    |
| • nominalna struja    | 2 527 A    |
| • učestanost          | 50 Hz      |

|  |              |
|--|--------------|
| • nominalna brzina obrtanja                          | 62,5 obr/min |
| • pobudna struja pri praznom hodu                    | 1 305 A      |
| • napon pobudnog namotaja pri praznom hodu           | 115 V        |
| • napon pobudnog namotaja pri nominalnom opterećenju | 185 V        |



*Sl. 1. Generator u hidroelektrani Đerdap II*

### **3. KONCEPCIJA MERNOG ALGORITMA I NJEGOVA PRAKTIČNA REALIZACIJA**

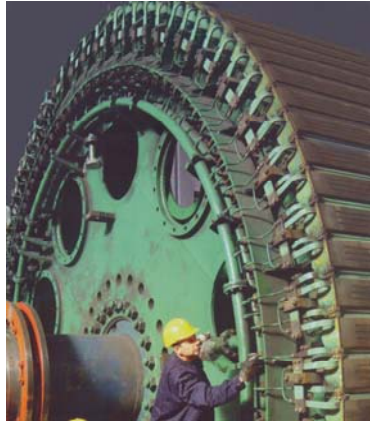
Pokretni objekti u industriji mogu biti pokretni delovi nekih mašina ili sami proizvodi (npr. na pokretnoj traci), u saobraćaju su to delovi vozila ili sama vozila itd. Generalno, u industrijskoj primeni, postoje dve koncepcije merenja temperature pokretnih objekata. Prva koncepcija predstavlja kontaktno merenje temperature na bazi ugradnje najrazličitijih tipova, najčešće integrisanih, temperaturnih senzora sa radio predajnicima na ili u same pokretne objekte. Druga koncepcija se bazira na beskontaktnom merenju temperature na bazi infracrvenog (IC) zračenja sa pokretnog objekta gde se merni uređaj (IC detektor sa objektivom ili IC kamera) postavlja pored objekta čija se temperatura meri. U tabeli br.1 je data komparativna analiza osnovnih prednosti i mana kontaktnih senzora koji se ugrađuju u pokretne objekte i mernih uređaja i senzora na bazi infracrvenog zračenja.

Ovde se ne razmatra merenje na bazi kontaktnog merenja temperature u pokretnim objektima jer je neopravdano skupo, kompikovano za ugradnju i nerentabilno za održavanje. Korisno je pomenuti ni da fiber-optički senzori za merenje temperature takođe nisu upotrebljivi u pokretnim objektima iz istih razloga (problemi montaže, prenosa signala i sl.).

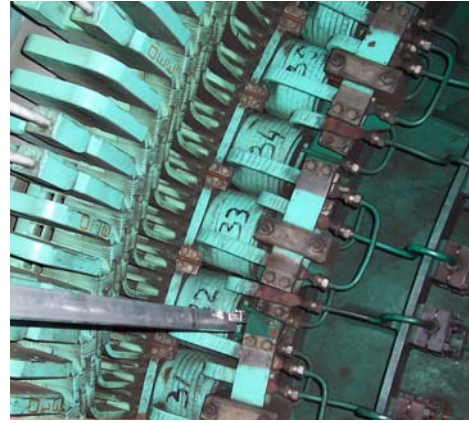
Merni sistem za praćenje temperatura namotaja rotora vodom hlađenih polova (vodom se hlade i bakarni provodnici i paketi limova) hidrogenatora na hidroelektrani

Derdap II služi za blagovremeno otkrivanje i alarmiranje pregrejanosti namotaja u toku rada agregata (Sl.2 i 3).

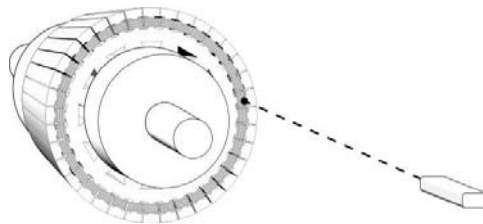
Temperature polova predstavljaju važan parametar na osnovu koga se procenjuje stanje rashladnog sistema. Ovde je primenjena beskontaktna metoda merenja temperature na bazi infracrvenog (IC) zračenja razvijena u institutu Nikola Tesla za merenje u teškim industrijskim uslovima. Razvijen je IC optički merni uređaj [1], [2] modularnog tipa pogodan za ugradnju u složene daljinske merne nadzorne sisteme [3], [4]. Merenje temperature se zasniva na merenju IC zračenja sa površine namotaja rotora (Sl.4) i obavlja se neprekidno u toku rada agregata i to za svaka dva susedna pola ponaosob. Mere se dva susedna pola (Sl.3) iz razloga što poseduju zajedničku cevnu vezu rashladnog sistema (redna veza rashladanog sistema dva susedna namotaja). Posebna prednost ove beskontaktna metode i daljinskog nadzora temperature je i u tome da se sve odvija u realnom vremenu i bez prekidanja procesa proizvodnje odnosno rada generatora.



Sl. 2. Rotor hidrogenatora



Sl. 3. Namotaji rotora hidrogenatora



Sl. 4. Princip merenja temperature polova

**Tab.1.** Komparativna analiza kontaktne i beskontaktna metode merenja temperature objekta u pokretu

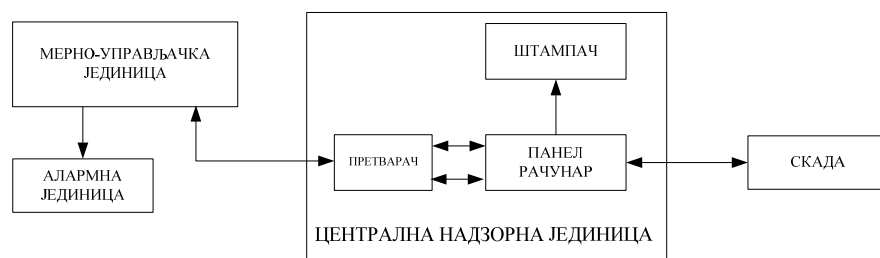
| Kategorije za poredenje                          | <b>Kontaktna metoda</b><br><i>temperaturnih senzori sa radio predajnicima u ili na pokretne objekte</i> |  | <b>Beskontaktna metoda</b><br><i>IC uređaji i kamere sa optičkim objektivima pored pokretnih objekta</i>  |  |
|--|---|--|---|--|
|  | <i>prednosti</i>  | <i>mane</i>  | <i>prednosti</i>  | <i>mane</i>  |
| <b>Postavljanje, održavanje i zamena senzora</b> | -<br>merenje zavisi od usmerenosti  | neophodno zaustavljenje tehnološkog procesa<br>-<br>merenje zavisi od kvaliteta prijanjanja senzora na površinu  | nepotrebno zaustavljenje tehnološkog procesa<br>-<br>merenje ne zavisi od kvaliteta kontakta sa površinom | -<br>merenje zavisi od položaja (vidno polje objektiva)<br>-<br>potrebno je čišćenje objektiva |
|  | -   | postavljanje i zamena zahtevaju rasklapanje objekta  | nije potrebno rasklapanje objekta   | -  |
|  | -   | postavljanje i zamena zahtevaju ponovno sklapanje objekta  | nije potrebno ponovno sklapanje objekta   | -  |
| <b>Uslovi merenja</b>                            | -<br>na merenje ne utiču prašina, vlaga i atmosferski uslovi  | napajanje<br>-<br>hemijske osobine objekta utiču na izbor senzora predajnici podložni elektromagnetnim smetnjama | napajanje<br>-<br>hemijske osobine objekta ne utiču na izbor senzora<br>nisu uslovljeni na bežični prenos | -<br>na merenje utiču prašina, vlaga i atmosferski uslovi<br>-<br>-                            |
| <b>Ekonomski aspekt</b>                          | <i>Neopravdano skupi i komplikovani sistemi sa aspekta ugradnje</i>                                     |  | <i>Cene ovih sistema potpuno opravdavaju njihovu ugradnju</i>   |  |

Osnovni uzrok pregrejanosti polova je posledica problema njihovog hlađenja. Hlađenje polova je vodeno i realizovano je složenim sistemom cevi i kanala. Usled nekog defekta ili kvara na pomenutom rashladnom vodenom sistemu dolazi do

pregrevanja polova rotora. Merni sistem je razvijen na principu automatizovanog daljinskog nadzora, merenja i kontrole, a u cilju podizanja pouzdanosti proizvodnje. Uvođenjem ovog sistema u proizvodni ciklus, promenjena je i koncepcija održavanja. Sa održavanja po periodici (ovde se misli pre svega na merenje temperatura polova rotora hidrogenatora) prešlo se na održavanje po stanju, što i jeste trenutni svetski trend [5].

#### 4. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE MERNOG SISTEMA

Na blok dijagramu (Sl.5) su date osnovne funkcijske celine mernog sistema, dok je realizovana koncepcija kompletnog mernog sistema data na sledećem blok dijagramu (Sl.6). U osnovi, merni sistem, se bazira na optičkom beskontaktnom merenju apsolutne temperature površine namotaja rotora pomoću optičkog infracrvenog (IC) uređaja [1],[2] i [6].

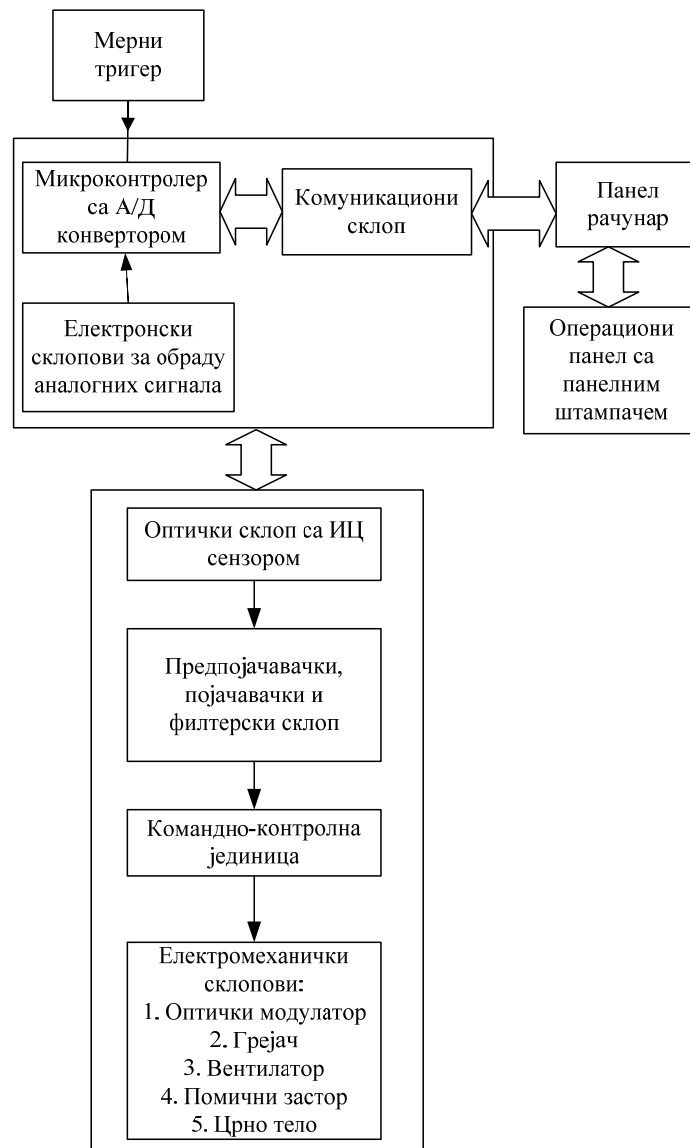


Sl. 5. Blok dijagram mernog sistema

Rezultate merenja optički IC sklop prosleđuje u procesnu jedinicu za obradu podataka (srce procesne jedinice čini DSP). Izračunate vrednosti temperatura sa pripadajućim rednim brojem pola se šalju (RS-485) na panel PC na kome su instalirani virtualni instrument i baza podataka. Sistem radi automatski u on-line, intermitentnom režimu. Usvojena je koncepcija: za jedan agregat jedan merni sistem i jedan industrijski računar iz razloga pouzdanosti i prihvatanja osnovnih načela stand-alone arhitekture [7], [8].

Merni sistem se postavlja u kapsuli hidrogenatora (Sl.7). Analogni signal sa IC uređaja se digitalizuje u A/D konvertorskom modulu merno-upravljačke jedinice, da bi se dobili podaci o merenju. Ti podaci se obrađuju u cilju nalaženja temperatura polova i prosleđuju ka centralnoj nadzornoj jedinici (CNJ) prikazanoj na slici 8. Komunikacija je ostvarena po specijalno dizajniranom protokolu putem RS-485 serijske veze [9].

U razvijanoj koncepciji je korišćen DSP (digital signal procesor) za obradu merenih rezultata [10]. Prednosti DSP-a, u odnosu na koncepciju sa standardnim mikrokontrolerom su višestruke: paralelno procesiranje signala, veća brzina, mogućnost primene modernih algoritama kao što su FIR filter (*Finite-length Impulse Response*) i FFT (*Fast Fourie Transformation*) [11].



Sl. 6. Blok dijagram mernog sistema za merenje temperature polova rotora u pokretu

Glavne funkcije upotrebljenog DSP-a su: obrada analognog mernog signala i A/D konverzija. Analogni signal je stalno samplovan sa 2 KS/s. U nominalnom režimu, koji podrazumeva stalnu brzinu merenog objekta (ali ne mora), meri se po 40 vrednosti temperatura za svaki ciklus merenja od 20 ms. Ukoliko je moguće obezbediti ciklično merenje istog objekta (što je moguće u merenju namotaja rotora na hidrogenatoru), onda je uzeto (radi manje greške) da se dovoljan broj merenih uzoraka po svakom paru susednih polova postiže merenjem 8 punih rotacija rotora.



Sl. 7. Merni sistem u kapsuli hidrogenatora

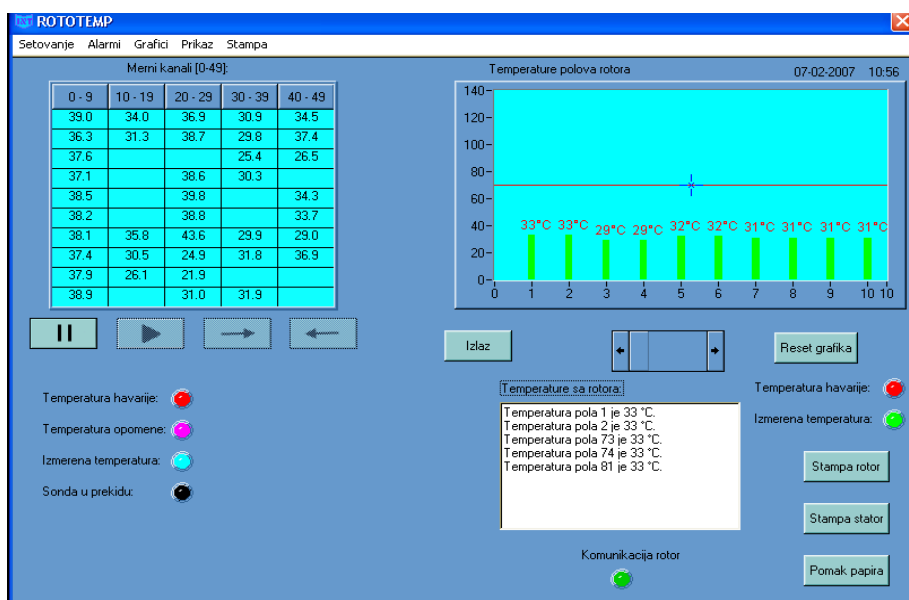


Sl.8. Centralna nadzorna jedinica (CNJ)

Centralna nadzorna jedinica - CNJ (Sl.7) je jedinstvena za sistem termokontrole i objedinjuje dva sistema: sistem daljinskog nadzora temperature polova rotora i sistem za merenje temperatura sa stacionarnih davača. CNJ se sastoji iz pet delova [9]: panel računar, POS (*point of sale*) štampač, upravljačko komunikacioni modul, alarmni modul i konvertor. Podaci od merno-upravljačkih jedinica stižu preko RS-485 veze, jer je dužina komunikacionog kabla oko 50 m [12]. Konvertor vrši konverziju RS-485 signala u RS-232 signale koje panel računar prihvata preko serijskih portova. Na panel računaru se nalaze računarski program Rototemp [9] i baza podataka. Panel računar je modifikovana verzija personalnog računara, posebno dizajniranog za ugradnju u industriji [9].

Centralizacijom merenja se na jednom mestu, na panel računaru u CNJ prikazuju sve relevantne temperature agregata. Glavna radna maska korisničkog interfejsa (Sl.9) je realizovana na bazi virtualnih instrumenata tako da korisniku omogućava jednostavnu upotrebu programa. Vrednosti izmerenih temperatura se prikazuju on-line u vidu bar dijagrama i grafički kada je potrebno analizirati duži vremenski period merenja u vidu grafika. Moguć je jednostavan pregled arhiviranih merenja. Postoji više načina prikazivanja: po mernim grupama, samo jedan merni kanal, maksimalne temperature mernih grupa, karakteristične temperature i pet maksimalnih temperatura polova rotora. Generisanje izveštaja je takođe moguće za navedene kriterijume.





Sl.9. Glavna radna maska korisničkog interefejsa

## 5. REZULTATI

Rezultati rada mernog sistema su dobijeni iz njegove realne eksploatacije. Slika 10 prikazuje jedno predhavarijsko stanje prouzokovano pregrevanjem dva pola u toku rada agregata.

Na slici 10 je dat prikaz porasta temperature dva namotaja susednih polova (polovi br. 5 i 6) u vremenu od 90,5 sati. Srednja vrednost temperature (donja kriva sa slike br.10) ostalih polova se nije značajno promenila, odnosno, ostali polovi (broj polova je 96) su imali radnu temperaturu (oko 38°C). Opomenski alarm (i zvučni signal i svetlosni signal) je podešen na 75°C i uključio se u 88-mom satu. Pre isteka 90-tog sata je smanjena struja pobude agregata (sa nominalne struje od oko 2200A na 1500A), čime se postiglo i smanjenje temperature polova. Za poslednjih 30 minuta mernog ciklusa je temperatura pregrevanih polova opala ispod alarmne vrednosti na 73°C kada je i zaustavljen agregat. Pregledom cevnog sistema koji služi za hlađenje polova je ustanovljeno začepljenje polova broj 5 i 6. Cevi su pročišćene i agregat je ponovo pušten u rad.

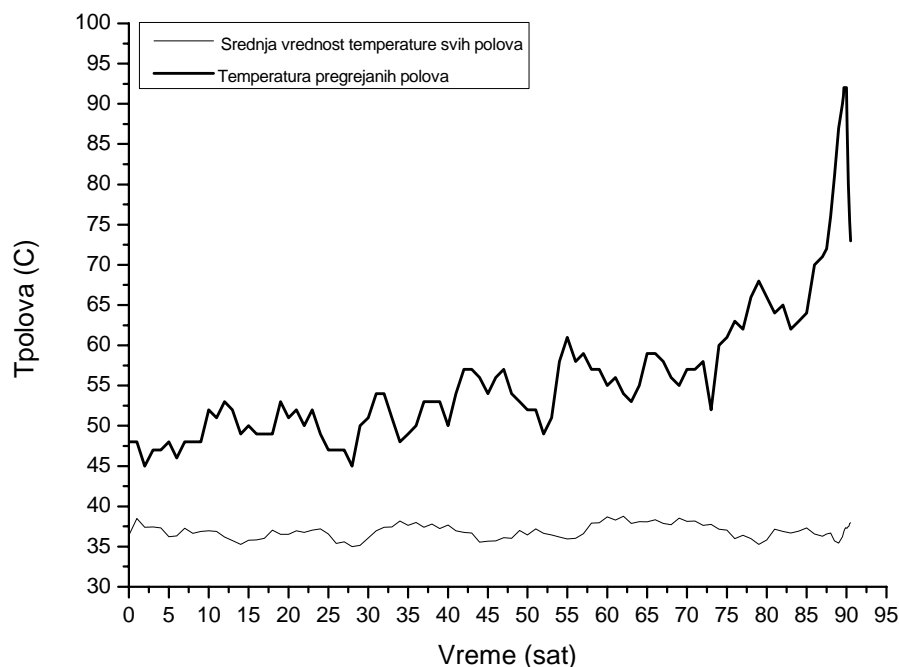
Kao sekundarni etalon, a za proveru rada mernog sistema, korišćena je termovizijska kamera (Fluke Thermal Imager - Ti45), kojom je vršeno merenje i snimanje neposredno pre zaustavljanja generatora (Sl.10). Emisivnost kamere je podešena na  $\epsilon=0,9$ .

Može se zaključiti da je sistem odradio dobro jer je najtoplija temperatura pregrevanih polova, izmerena kamerom, bila 94°C, a merni sistem je u radu izmerio najtopliju temperaturu od 92°C.

U narednoj tabeli (Tab.2) je dat spisak aktivnosti, u periodu od dve godine, koje su usledile nakon prorade alarma o nekoj od povišenih temperatura na polovima rotora svih

deset agregata u elektrani. Tabela br.2 u stvari predstavlja spisak sprečenih havarijskih situacija zahvaljujući upotrebi opisanog mernog sistema. Korist je višestruka:

- Ekonomski aspekt - nepotrebna je zamena oštećenih polova novim jer nije došlo do oštećenja i cena stajanja agregata je niža.
- Proizvodni aspekt - agregat je posle čišćenja zaprljanog dela rashladnog sistema posle nekoliko sati vraćen u proizvodni ciklus.



Sl.10. Prikaz predhavarijskog stanja zabeležen sistemom za temperaturni monitoring namotaja rotora

Tab.2. Spisak aktivnosti na agregatima nakon alarmiranja, od strane mernog sistema, o pregrejanim polovima rotora

| Redni broj | Broj agegata | Broj polova |  | Datum intervencije |
|------------|--------------|-------------|--|--------------------|
| 1          | A4           | 5,6,79,80   | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 23.05.2007         |
| 2          | A4           | 17,18       | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 19.07.2007         |
| 3          | A4           | 15,16       | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 13.08.2007         |
| 4          | A4           | 7,8         | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 17.09.2007         |

| Redni broj | Broj agegata | Broj polova |  | Datum intervencije |
|------------|--------------|-------------|--|--------------------|
| 5          | A4           | 9,10        | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 24.09.2007         |
| 6          | A4           | 3,4         | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 25.06.2008         |
| 7          | A4           | 23,24       | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 01.08.2008         |
| 8          | A4           | 19,20       | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 17.12.2008         |
| 9          | A4           | 21,22       | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 16.03.2009         |
| 10         | A3           | 41,42       | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 01.11.2007         |
| 11         | A2           | 91,92,93,94 | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 04.02.2008         |
| 12         | A2           | 79,80       | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 18.03.2008         |
| 13         | A2           | 65,66,67,68 | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 14.07.2008         |
| 14         | A2           | 71,72,73,74 | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 29.09.2008         |
| 15         | A4           | 25,26       | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 30.03.2009         |
| 16         | A9           | 17,18,19,20 | Pregled i čišćenje odvodnih i dovodnih cevčica i produvanje polova | 30.04.2009         |

## 6. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj ovog rada je prikaz kompleksnog mernog sistema za daljinski nadzor temperature u hidroelektrani Đerdap II. Prikazan je sistem za daljinski nadzor temperature namotaja polova rotora hidrogeneratora u radu. Kompletan sistem je rezultat domaćeg razvoja koji je uspešno realizovan u Elektrotehničkom institutu Nikola Tesla iz Beograda.

Realizovani sistem, baziran na tehnikama i tehnologijama kontinualnog praćenja, predstavlja jasan iskorak ka primeni savremenog koncepta održavanja po stanju, umesto

starijih koncepata korektivnog i/ili preventivnog održavanja koji su dominantni u našoj tehničkoj praksi.

Praktična realizacija je izvršena na modularnom principu i otvorena je za dalju nadogradnju i povezivanje sa drugim sistemima. Ovo je ostvareno povezivanjem na nadređeni sistem upravljanja, (SCADA). Time je omogućeno da ovaj sistem postane integralni deo upravljačko-informacionog sistema cele elektrane.

Praktična dobit za HE Đerdap 2 se sastoji u tome da je stajanje agregata zbog intervencije "samo nekoliko sati", za razliku od ranijih 3 dana, kada se začepljenje pola utvrđivalo tek kad izgori izolacija namotaja pregrejanog pola i oseti miris paljevine. Sledila je zamena i vađenje pola na licu mesta (težine oko 500kg i direktne cene materijalnih troškova od oko 20000 evra). Sa ovim novim sistemom nema potrebe za zamenom polova jer sistem za daljinski nadzor ne dozvoljava njihovo pregrevanje do uništenja, tako da je potrebno samo produvavanje i odčepljenje cevi koje su deo rashladnog sistema rotora.

#### LITERATURA

- [1] S.Milić: "Optical Device of Non-contact Temperature Measurement and Hot Box Detecting", International Symposium on Optics East 2006, Boston, Massachusetts, USA, 1-4 October 2006.
- [2] S.Milić, M.Srećković: "A stationary System of Non-contact Temperature Measurement and Hot Box Detecting", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 57, Issue 5, Sept. 2008, Pages: 2684-2694.
- [3] S.Milić, D.Kovačević, S.Đorđević, M.Srećković: "Sistem za praćenje temperatura osovinskih ležajeva teretnih kola u pokretu", časopis zajednice jugoslovenske elektroprivrede, ELEKTROPRIVREDA br.1, januar-mart 2005, Srbija i Crna Gora.
- [4] S.Milić, D.Kovačević, A.Žigić, D.Misović: "Bežični merni sistem za daljinsko merenje temperature osovinskih ležajeva teretnih kola", 28. savetovanje JUKO-CIGRE, Vrnjačka Banja, Srbija, 30.septembar-05.oktobar 2007, grupa B4, rad R B4-08.
- [5] Dušan Stamenković, "Monitoring sistemi u održavanju železničkih vozila", XI naučno-stručna konferencija o železnici Želkon '04, Niš, 21-22 oktobar, 2004.
- [6] Varduca, Dan F., "Monitoring system for over temperature detection of water cooled rotor poles of hydro electrical generators installed at the Danube River Iron Gates Power Plant", in Proceedings of the Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, vol. 2, 1996, Pages 1459-1464.
- [7] Miodrag V. Popović, Digitalna obrada signala, drugo izdanje, Nauka, Beograd, 1997.
- [8] John Park, Steve Mackay, Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems, Newnes an imprint of Elsevier, UK, 2003.
- [9] Nidžo Miladinović, Saša Milić, Đorđe Stojić, Aleksandar Žigić, Mileša Srećković, "Računarski program za akviziciju i monitoring temperatura agregata", konferencija ETRAN - Palić, 08-12. juna 2008.
- [10] Edmund Lai, Practical Digital Signal Processing for Engineers and Technicians, Newnes an imprint of Elsevier, UK, 2003.
- [11] Lars Wanhammar, DSP Integrated Circuits, London, Academic Press, UK, 1999.

- [12] A.C. Fischer-Cripps, "Newnes interfacing companion", Elsevier Science, UK, 2002.
- [13] National Instruments Corporation, "LabWindows CVI User Manual", USA, 1996.
- [14] National Instruments Corporation, "LabWindows CVI SQL Reference Manual for Windows 95/98/2000/XP", USA, 1998.
- [15] Luke Welling, Laura Thomson, "PHP i MySQL: Razvoj aplikacija za Web", 2005.

**Abstract:** This paper presents the complex system for remote temperature monitoring of rotor poles of generators at hydro power plant Đerdap II. The descriptions of the hardware concept and the computer program for measuring processes visualization are given. The main reason for overheating of the poles are various problems of their water cooling system. The temperature measurements are based on on-line measurement of infrared (IR) radiation emission from lateral rotor windings surfaces. The entire system operates in harsh industrial conditions. The DSP unit acquires and processes temperature data and then sends them to the panel-PC. The virtual instrument and database operate from the panel-PC. The entire system works on-line in intermittent mode. Manual mode is also provided. Graphical user interface is used for visualisation purposes. The realized software provides the generation of printed reports and files for subsequent analysed. The link with SCADA is also provided. The results are obtained in real exploitation. These systems are installed on all ten generators at hydro power plant.

**Keywords:** *Temperature monitoring, rotor windings, rotor poles, infrared measuring, virtual instruments.*

## **REMOTE TEMPERATURE MONITORING OF ROTOR POLES OF HYDRO GENERATORS**

Saša Milić

*Electrical Engineering Institute "Nikola Tesla", Belgrade*