

Računarski program za monitoring sadržaja gasova i vode u ulju blok transformatora

Nikola Miladinović, Nenad Kartalović, Vesna Radin,
Vladimir Polužanski
Centar za elektromerjenja
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički institut Nikola
Tesla
Beograd, Srbija
nikola.miladinovic@ieent.org

Nenad Mikić, Suzana Kostić
Hidroelektrana Pirot
Pirot, Srbija

Sažetak— U radu je prikazan računarski program za monitoring sadržaja gasova i vode u ulju blok transformatora. Program je izrađen za potrebe pristupa podacima sa monitoring sistema preko lokalne računarske mreže i uključivanja monitoring sistema u integrisani sistem monitoringa elektroenergetske opreme elektrane. Program je instaliran na serverskom računaru sistema monitoringa i na industrijskim računarima u ormanima sistema monitoringa na dva agregata. Program vrši akviziciju podataka sa ugrađenih sistema za monitoring sadržaja gasova i vode u ulju transformatora, vizuelni prikaz i arhiviranje u bazu podataka. U okviru programa je omogućeno prikazivanje opomenskih i alarmnih vrednosti parametara. Monitoring sistem je povezan u lokalnu računarsku mrežu hidroelektrane, čime je omogućen pristup inženjerima održavanja elektrane, a putem VPN veze i ekspertima za dijagnostiku stanja transformatora. Na ovaj način se unapređuje procena pogonskog stanja transformatora, povećava mogućnost pravovremenog detektovanja kvarova i drugih anomalija i samim tim povećava pouzdanost i raspoloživost transformatora.

Ključne riječi- kontinualni monitoring, računarski program, energetski transformator, sadržaj gasova u ulju transformatora, baza podataka (key words)

I. UVOD

Energetski transformatori su veoma značajni objekti u proizvodnji, prenosu i distribuciji električne energije. Komercijalni gubici koji nastanu zbog kvara na njima podrazumevaju, pored štete nastale na samoj opremi i gubitke nastale prekidom rada i isporuke električne energije, koji su često veći od troškova popravke opreme. Razvoj i primena sistema za kontinualni nadzor transformatora omogućavaju efikasniju eksploataciju, povećanu pouzdanost i raspoloživost transformatora, unapređenje zaštite životne sredine kao i pomoć pri donošenju odluka o potrebnim intervencijama koje treba preduzeti [1].

Poslednjih godina, sa značajnim unapređenjem senzora, razvojem senzorskih mreža i računarskih sistema (industrijski internet stvari), modeli održavanja elektroenergetske opreme koji su vođeni podacima postali su sve popularniji [2]-[4].

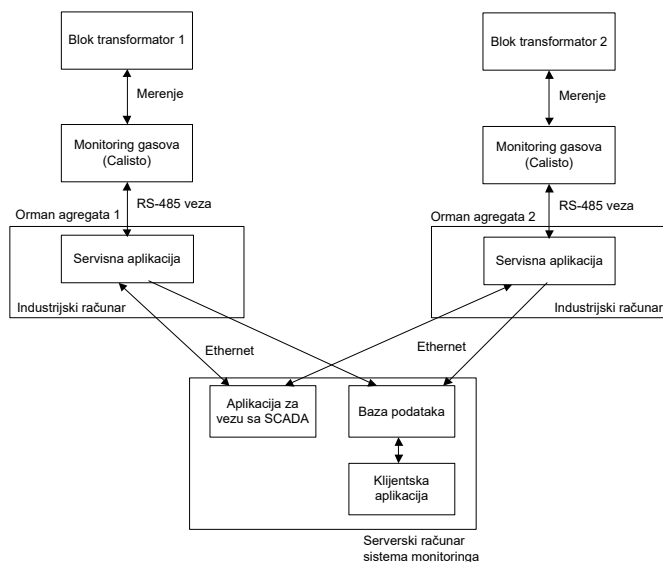
U radu je prikazan primer integracije podataka monitoring sistema transformatora sa integrisanim sistemom monitoringa elektrane. Opisan je računarski program za monitoring transformatora koji obuhvata kontinualno praćenje sadržaja gasova i vode u ulju na dva blok transformatora hidroelektrane. Prikazani su kratak opis sistema za monitoring, veza sa drugim sistemima, korišćeni softverski alati, primenjeni komunikacioni protokol i kratak opis aplikacije.

II. OPIS SISTEMA ZA MONITORING

A. Opis sistema

Na slici 1 je prikazan blok dijagram sistema monitoringa blok transformatora uključujući i aplikaciju za akviziciju i vizuelizaciju [5]. Sistem se sastoji iz sledećih celina:

- Kontinualni monitoring gasova u ulju transformatora bloka 1,
- Kontinualni monitoring gasova u ulju transformatora bloka 2,
- Servisna aplikacija za akviziciju podataka sa bloka 1,
- Servisna aplikacija za akviziciju podataka sa bloka 2,
- Klijentska aplikacija monitoring sistema.
- Baza podataka monitoring sistema.



Slika 1. Blok dijagram sistema za kontinualni nadzor

Uređaji za monitoring su povezani sa industrijskim računarima koji se nalaze u ormanima sistema monitoringa agregata preko dvožične RS-485 veze. U industrijskom računaru je instalirana servisna aplikacija koja vrši:

- Akviziciju podataka sa uređaja za kontinualni nadzor,
- Upis podataka sa monitoring sistema u bazu podataka,
- Upis opomenskih i havarijskih vrednosti u bazu podataka,
- Slanje podataka do aplikacije za vezu sa centralnim nadzornim (SCADA) sistemom preko Modbus TCP/IP protokola.

Akvizicija podataka se vrši preko Modbus protokola koristeći podešavanja i spisak parametara iz uputstva proizvođača [6]. Aplikacija proverava da li vrednosti parametara imaju opomenske ili havarijske vrednosti preko granica za parametre koje se čuvaju u bazi podataka. Opomenske i havarijske vrednosti parametara se upisuju u bazu podataka. Servisna aplikacija šalje podatke do aplikacije za vezu sa SCADA sistemom. Aplikacija za vezu sa SCADA sistemom prihvata podatke od svih monitoring sistema koji su ugrađeni u elektrani.

Servisna aplikacija je ista na oba industrijska računara. Podešavanje parametara za komunikaciju, upis u bazu i upis u aplikaciju za vezu sa SCADA se vrši preko konfiguracionog fajla. Ovime je pojednostavljeno održavanje aplikacije.

Klijentska aplikacija monitoring sistema je instalirana na industrijskim računarima agregata i na serverskom računaru, a može biti instalirana na bilo kom računaru u okviru lokalne računarske mreže elektrane. Na serverskom računaru sistemu monitoringa je integrisan kompletan monitoring sistem elektrane.

Na serverskom računaru sistema monitoringa se nalazi baza podataka monitoring sistema.

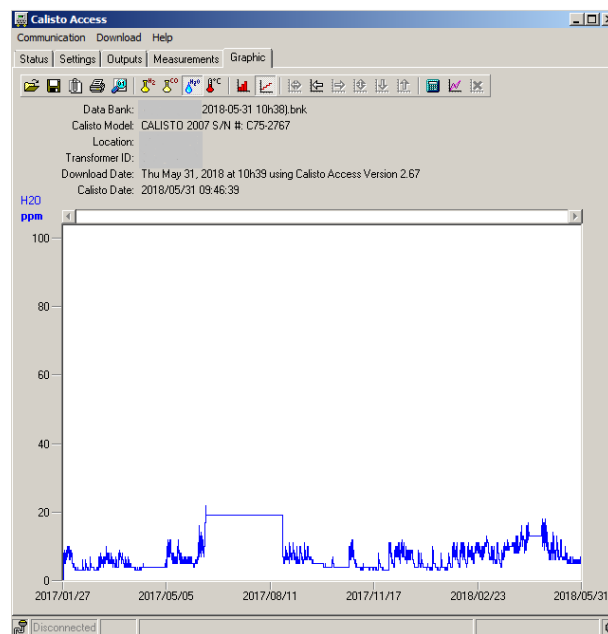
B. Kontinualni monitoring sadržaja gasova i vode u ulju

Kontinualni monitoring sadržaja gasova i vode u ulju se vrši preko uređaja Calisto [7]. Uređaj Calisto se nalazi pored blok transformatora, a dizajniran je tako da vrši stalno merenje sadržaja vodonika i vode rastvorenih u ulju.

Vodonik je gas koji se javlja prilikom svakog kvara u manjoj ili većoj količini [8]. Značaj kontinualnog praćenja ogleda se u činjenici da je moguća brza detekcija porasta sadržaja vodonika odnosno lako uočavanje neuobičajenog rada transformatora.

Praćenje sadržaja vode rastvorene u ulju transformatora je drugi značajan parametar za praćenje stanja ulja [9]. Povišen sadržaj vode može imati negativan uticaj na dielektrične karakteristike ulja i degradaciju izolacionog sistema transformatora. Prednost kontinualnog merenja tokom dužeg vremenskog perioda omogućava brzo uočavanje velikih promena i blagovremeno planiranje adekvatnih mera.

Uz uređaj Calisto stiže i softver Calisto Access [10] koji omogućava prikaz podataka. Nedostatak korišćenja softvera u ovoj verziji uređaja Calisto je što je moguće njegovo povezivanje samo preko RS-232 veze. Time je neophodno da se koristi iz neposredne blizine pomoću prenosivog računara. Primer grafičkog prikaza je dat na Sl. 2.



Slika 2. Prikaz sadržaja vode u ulju u softveru calisto Access

Razlozi za izradu posebnog računarskog programa za monitoring sadržaja gasova i vode u ulju su:

- Pristup podacima sa monitoring sistema preko lokalne računarske mreže elektrane.
- Integracija monitoringa sadržaja gasova i vode u ulju u kompletan monitoring sistem elektrane.

III. RAČUNARSKI PROGRAM ZA MONITORING

A. Protokol za komunikaciju i spisak memnih kanala

Računarski program komunicira sa hardverom za monitoring sadržaja gasova i vode u ulju transformatora preko komunikacionog Modbus RTU protokola putem RS-485 serijske veze. Udaljenost od uređaja do industrijskih računara je oko 200m na oba bloka, što je zadovoljavajuće za izabranu brzinu prenosa od 9600 bps. U komunikaciji, servisna aplikacija je *master*, a uređaj za monitoring gasova je *slave*, što znači da servisna aplikacija inicira komunikaciju, dok uređaj za monitoring odgovara na zahteve. Spisak memnih kanala obuhvata vodonik, sadržaj vode u ulju i status uređaja za monitoring gasova.

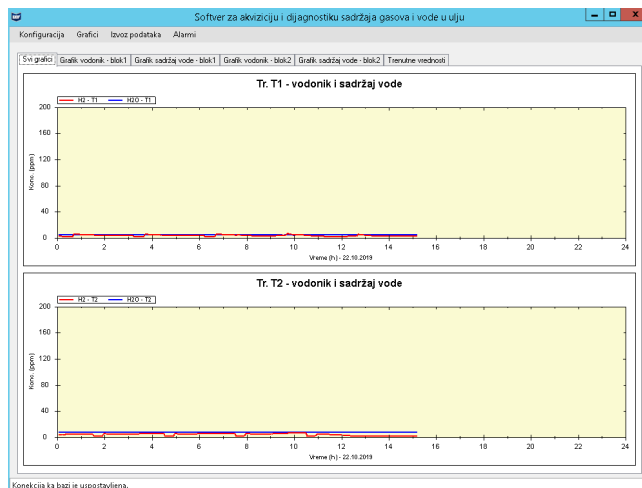
B. Računarski program

Za izradu aplikacije je korišćen programski jezik Visual C#, razvojno okruženje .NET i razvojni alat Visual Studio 2008. Razvojno okruženje .NET predstavlja moderno razvojno okruženje koje poseduje biblioteku osnovnih klasa koja sadrži klase za pristup raznim bazama podataka, za rad sa XML fajlovima, Web formama, Windows formama. Omogućava automatsko upravljanje memorijom, upotrebu višestrukih kopija dll-a, korišćenje različitih programskih jezika, povezivanje različitih sistema kroz Remoting i Web servise, jednostavnu distribuciju aplikacije. Visual C# spada u objektno-orijentisane programske jezike i izvorno je pisan za .NET platformu. Omogućava korišćenje COM (Component Object Model) objekata, automatizaciju Word-a i Excel-a, proširivost novim objektima. Postoji veliki broj dodatnih biblioteka, a jedna od njih je iskorišćena u aplikaciji za iscertavanje grafika [11], [12].

Računarski program vrši akviziciju i prikaz parametara sistema monitoringa. Prikaz podataka se vrši tablearno i grafički. Svi podaci se unose u bazu podataka, tako da je moguć izvoz podataka u format koji je prihvatljiv za napredne programe za analizu podataka. Model baze podataka sadrži 7 tabela. Struktura baze podataka nije složena, ali je baza neophodna zbog arhiviranja velikog broja podataka. Za sistem za upravljanje bazom podataka izabran je MySQL, verzija 5.1, čije su se performanse u potpunosti pokazale odgovarajućim za ovu primenu [13].

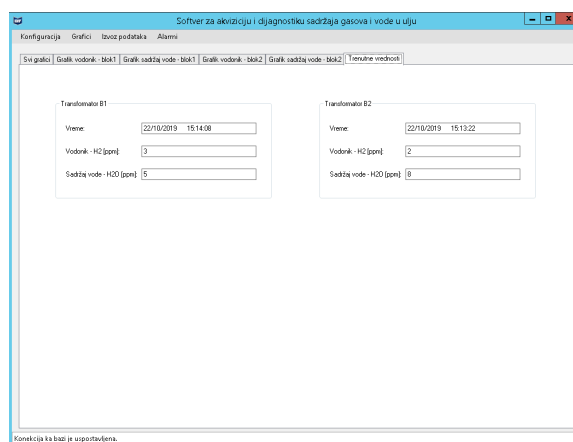
1) Glavni prozor korisničkog interfejsa

Na Sl. 3 je prikazan glavni prozor korisničkog interfejsa aplikacije koja se izvršava na industrijskom računaru koji se nalazi u ormanu agregata, gde su grafički prikazane vrednosti parametara. Perioda osvežavanja podataka je 60 sekundi.



Slika 3. Grafički prikaz parametara transformatora na dnevnom nivou

Na Sl. 4 su prikazane trenutne vrednosti parametara monitoringa transformatora. Ova opcija je pogodna, jer su tu prikazana vremena ažuriranja baze podataka.

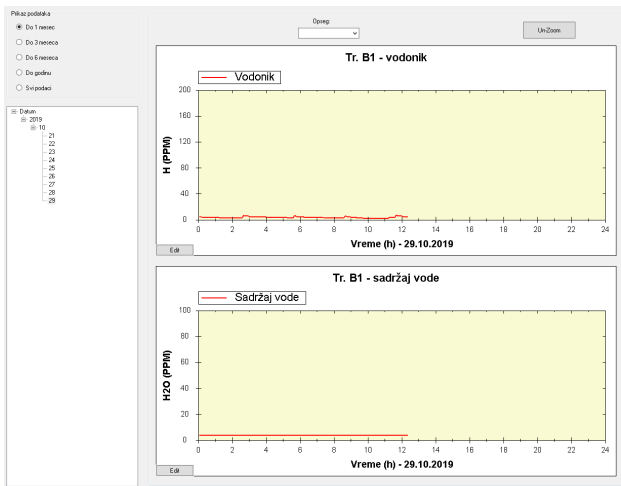


Slika 4. Prikaz trenutnih vrednosti parametara monitoringa transformatora

Na glavnom prozoru korisničkog interfejsa je dat i grafički prikaz pojedinih parametara sistema monitoringa transformatora. Prikaz je dat na zasebnim karticama.

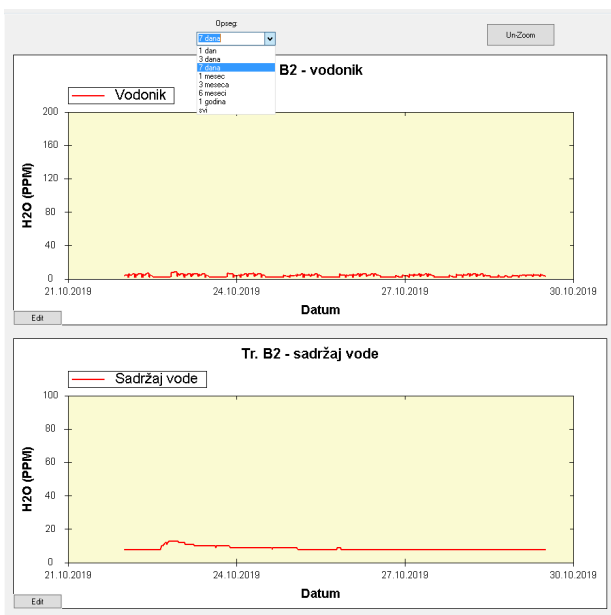
2) Grafički prikaz arhive podataka

Radi bržeg uočavanja trenda promena rezultata merenja omogućen je grafički prikaz arhive podataka. Vršiti se grafički prikaz podataka na dnevnom nivou Sl. 4, a postoji i posebna forma gde se bira vremenski interval u kome se vrši grafički prikaz, Sl. 5.



Slika 5. Grafički prikaz arhive podataka - 1 dan

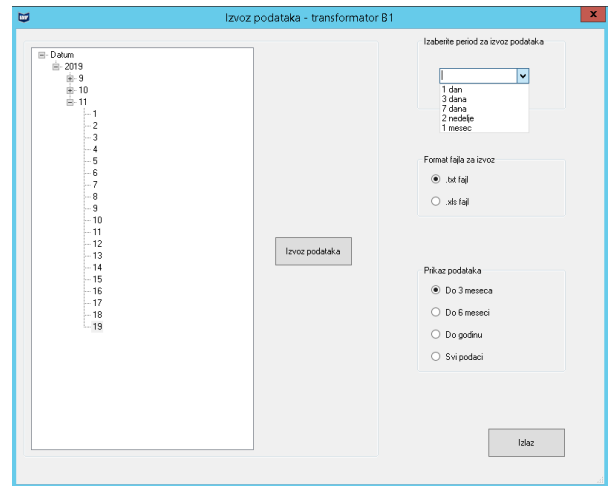
Na primeru sa Sl. 5 je izabran interval od 7 dana, a postoje i intervali: 1 dan, 3 dana, 1 mesec, 3 meseca, 6 meseci i 1 godina.



Slika 6. Grafički prikaz arhive podataka - interval od 7 dana

3) Izvoz podataka

Veoma često dolazi do potrebe za detaljnijom analizom rezultata merenja u nekom od programa za analizu (Matlab, MathCad, MS Excel). U tom slučaju se vrši izvoz podataka biranjem datuma ili vremenskog intervala i formata fajla za izvoz, Sl. 7. Podržani su izvoz u .txt fajl i .xls fajl, podaci su pravilno formatirani, tako da ih je nakon toga moguće uvesti u bilo koji specijalizovani program za analizu ili koristiti MS Excel u čiji fajl format je podržan automatski izvoz.

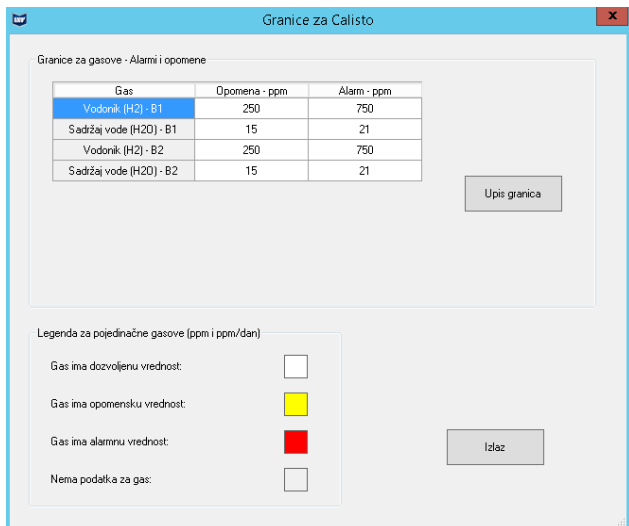


Slika 7. Izvoz podataka

4) Granične vrednosti parametara sistema monitoringa

Za adekvatnu primenu monitoring sistema potrebno je pažljivo odabrati granične vrednosti odnosno alarme.

Praćenje rada transformatora je sprovedeno laboratorijskim merenjem sadržaja gasova rastvorenih u ulju. Merenja su vršena periodično tokom celog perioda eksploatacije i u skladu sa odgovarajućim standardom [8]. Statističkom obradom rezultata merenja definisane su tipične vrednosti sadržaja gasova sa nivoom pouzdanosti od 95 %. Tipične vrednosti dobijene na ovaj način su individualne za svaki transformator i karakteristične su za normalan rad transformatora pod uobičajenim pogonskim uslovima. Imajući u vidu tipične vrednosti određenog transformatora kao i granice date u literaturi [14], moguće je postaviti dva nivoa alarma. Definisane su opomenske i alarmne vrednosti za izvršena merenja. Nakon toga su granice implementirane u aplikaciji, Sl. 8 i omogućena je odgovarajuća vizualizacija. Sada je moguće u realizovanoj aplikaciji odmah videti da li postoje parametri sistema monitoringa sa opomenskim i alarmnim vrednostima, tako što se promeni boja pozadine trenutnih vrednosti na Sl. 4 u skladu sa legendom sa Sl. 8. Ukoliko postoje parametri sa opomenskim vrednostima preporučuje se poštreno praćenje ispitivanjem ulja u laboratoriji. U zavisnosti od brzine porasta koncentracija gasova preporučuju se i druga električna ispitivanja transformatora. Cilj opomenskih granica je da se preduzmu odgovarajuće akcije u cilju sprečavanja razvoja kvara i dostizanja havarijskih vrednosti parametara.

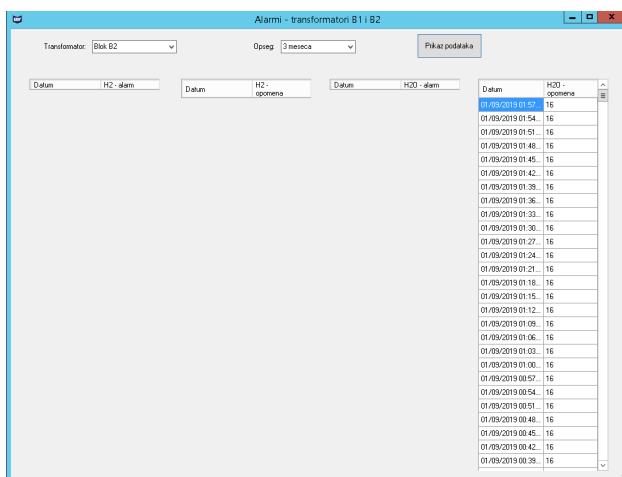


Slika 8. Granične vrednosti parametara sistema monitoringa

5) Pregled alarmnih vrednosti parametara sistema monitoringa

Jedna od najbitnijih funkcionalnosti programa je pregled alarmnih vrednosti u određenom vremenskom intervalu.

Forma koja prikazuje alarmne vrednosti parametara sistema monitoringa je prikazana na Sl. 9. Preko forme se mogu videti sve alarmne vrednosti, a postoje i kriterijumi za pretraživanje.



Slika 9. Prikaz alarmnih vrednosti parametara sistema monitoringa

IV. ZAKLJUČAK

U radu je opisan računarski program koji prikazuje parametre sistema monitoringa gasova i sadržaja vode u ulju transformatora, kao i alarmne vrednosti parametara. Realizovani računarski program je dostupan inženjerima održavanje elektrane za kontinualno praćenje i ekspertima za dijagnostiku stanja za dodatnu analizu trendova i tumačenje rezultata parametara sistema monitoringa. Na ovaj način se omogućava predviđanje neuobičajenog rada, pravovremeno detektovanje kvarova i preventivno održavanje transformatora.

Prikazani računarski program je otvoren za dalju nadogradnju i povezivanje sa integrisanim sistemom monitoringa i centralnim nadzornim sistemom.

LITERATURA

- [1] Studija "Savremene metode i uređaji za ispitivanje, monitoring i dijagnostiku stanja energetskih i mernih transformatora", Elektrotehnički Institut Nikola Tesla, Beograd 2010
- [2] S. Liu *et al.*, "Data-Driven Condition Monitoring of Data Acquisition for Consumers' Transformers in Actual Distribution Systems Using t-Statistics," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 34, no. 4, pp. 1578-1587, 2019.
- [3] T. Zhuang, M. Ren, X. Gao, M. Dong, W. Huang, and C. Zhang, "Insulation Condition Monitoring in Distribution Power Grid via IoT-Based Sensing Network," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 34, no. 4, pp. 1706-714, 2019.
- [4] R. Zhao, R. Yan, Z. Chen, K. Mao, P. Wang, and R. X. Gao, "Deep learning and its applications to machine health monitoring," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 115, pp. 213-237, 2019.
- [5] Projekat sistema monitoringa u HE Pirot, Institut Nikola Tesla, 2016 (urađeno za HE Pirot)
- [6] Calisto Modbus Protocol Specification RD-07-02, Morgan Schaffer
- [7] Calisto Manual Version 2.10, Morgan Schaffer
- [8] International standard IEC 60599, ed. 3, "Mineral oil-filled electrical equipment in service – Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis", 2015
- [9] International standard IEC 60422, edition 4.0: Mineral insulating oils in electrical equipment – Supervision and maintenance guidance, 2013
- [10] Calisto Access Software Version 2.67, Morgan Schaffer
- [11] C. Sells, "Windows Forms Programming in C#", Addison Wesley, 2003
- [12] Nikola Miladinović, Aleksandar Nikolić, Aleksandar Žigić, Radoslav Antić, Vladimir Polužanski, "Računarski program za monitoring transformatora bloka 1 termoelektrane Nikola Tesla B", Infoteh 2017, Jahorina
- [13] S. Allen, S. F. Gilani, J. H. Pedersen, R. Raghunathan, J. Reid "C# baze podataka", Beograd 2007
- [14] IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers, IEEE Std. C57.104-2008

ABSTRACT

This paper describes the computer program for gas and water content monitoring of power transformers. The program is installed in the server computer of the monitoring system and the industrial computers of the monitoring system. The program acquires data from the system for monitoring of gas and water content in transformer oil, displays the data and archives in the database. The program enables display of warning and alarm values of parameters. The monitoring system is connected to the local area network of the hydropower plant, which enables access to the maintenance engineers of the power plant, and through the VPN connection to experts for diagnostics of transformers condition. In this way the estimation of the transformer condition is improved, the possibility of failures detection is increased, and thus the reliability and availability of the transformers are increased.

COMPUTER PROGRAM FOR GAS AND WATER CONTENT MONITORING OF POWER TRANSFORMERS

Nikola Miladinović, Nenad Kartalović, Vesna Radin, Vladimir Polužanski, Nenad Mikić, Suzana Kostić