



**Prikazivanje radova za savetovanja i simpozijume
format 21x29,7cm/A4 prema SRPS ISO 353 (za štampu)**

ULOGA DIJAGNOSTIČKOG CENTRA U UPRAVLJANJU ODRŽAVANJEM, KVAROVIMA I OPREMOM

**SAŠA D. MILIĆ*, DENIS M. ILIĆ
ELEKTROTEHNIČKI INSTITUT NIKOLA TESLA**

BEOGRAD

SRBIJA

Kratak sadržaj — U radu je objašnjena uloga dijagnostičkog centra u daljinskom nadzoru proizvodnih i eksploatacionih parametara u elektroprivredi u cilju upravljanja održavanjem (MMS), kvarovima (OMS) i opremom (AMS). Formiranje ovakvog centra, uz primenu modernih teorija upravljanja i složenih sistema daljinskog nadzora, treba da donese višestruku korist elektroenergetskom sektoru u celini. Pored konvencionalnih metoda nadzora, praćenja, održavanja, ispitivanja i merenja koja se sprovedu nad opremom instaliranom u proizvodnim, prenosnim i distribuirivnim pogonima, neophodno je primeniti nove metode upravljanja, nadzora i kontrole koje najčešće podrazumevaju jednovremeno praćenje više relevantnih parametara. Pored povezanih sistema daljinskog nadzora, SCADA sistema i telekomunikacione opreme, koji omogućavaju praćenje navedenih parametara, od vitalne važnosti su obrada i analiza dobijenih podataka sa ciljem donošenja blagovremenih odluka i rešenja, kako u incidentnim situacijama, tako i u proceni stanja. Ekonomske analize, koje je moguće sprovести na osnovu pravovremenih podataka o stanju opreme, tehnoloških procesa i pojedinih resursa (hidropotencijal, ugalj sa aspekta rudnika, ugalj sa aspekta transporta, vetar, broj sunčanih dana...), predstavljaju bitna polazišta za aspekte kao što su predviđanja, procene, analize i planiranja koja direktno utiču na ekonomske parametre tržišta električne energije.

Ključne reči — Dijagnostički centar, sistemi daljinskog nadzora, upravljanje održavanjem, upravljanje kvarovima, upravljanje opremom, SCADA.

* Koste Glavinića 8a, 11000 Beograd, Srbija
s-milic@ieent.org

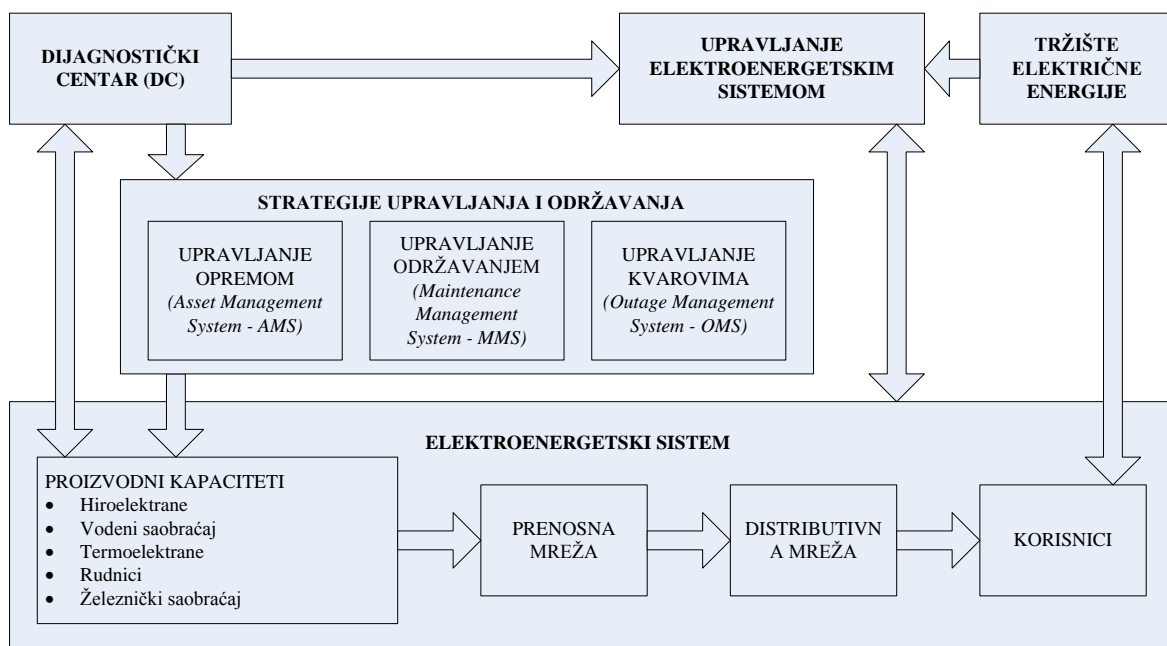
1 UVOD

Daljinski nadzor predstavlja, već odavno, usvojen pristup u praćenju proizvodnih i radnih parametara u elektranama. Novine u ovom pristupu, zahvaljujući današnjem nivou tehnološkog razvoja, predstavljaju moderni složeni nadzorni sistemi projektovani da neprekidno prate proizvodne procese kontrolišući njihov rad, alarmirajući promene i vršeći arhiviranje merenih parametara u baze podataka [1, 2]. Ponekad se u ovakve sisteme integrišu upravljačke, kontrolne i zaštitne funkcije. Razvoj nadzornih sistema za praćenje i merenje različitih parametara u industriji [3-8] zahteva sintezu znanja iz više naučnih oblasti. Nadzorni sistemi, zasnovani na daljinskom merenju nadzoru i kontroli, značajno podižu pouzdanost proizvodnog procesa, smanjuju troškove održavanja i omogućavaju pravovremene intervencije prilikom havarije. Maksimalni učinak ovakvih sistema, sa aspekta investicija, energetske efikasnosti i održavanja se postiže povezivanjem ovih sistema sa dijagnostičkim centrom (DC) [9]. Energetske kompanije su u stalnom traganju za smanjenjem troškova proizvodnje, prenosa i distribucije. Korišćenje podataka iz istorije merenja, sa podacima stanja u realnom vremenu dobijenih iz DC-a omogućava brzu analiza stanja i stvara uslove za primenu strategije održavanja po stanju. Formiranje DC-a u elektroenergetskom sektoru u okviru velikih kompanija, pa čak i na nivou države, predstavlja u širem smislu, kvalitativno nov i napredniji pristup u daljinskom nadzoru celokupnog energetskog sektora [10] koji je tradicionalno vertikalno organizovan počev od proizvodnje preko prenosa do distribucije. Koncept budućeg jedinstvenog DC-a [9, 10] podrazumeva primenu moderne nadzorne merne opreme sa ciljem ranog otkrivanja kvara i povećanja proizvodne pouzdanosti. Rano otkrivanje kvara je moguće zahvaljujući sofisticiranim daljinskim nadzornim mernim sistemima i uklapa se u modernu koncepciju održavanja po stanju. Neki od pomenutih sistema su: sistemi za temperaturni nadzor (monitoring), sistemi za parcijalna pražnjenja, sistemi za merenja vibracija, sistemi za monitoring temperature, sistemi za magnetni monitoring, sistemi za detekciju plovni objekata u brodskim prevodnicama i dr. [3 – 8]. DC predstavlja novinu u daljinskom nadzoru proizvodnih ciklusa, opreme i sredstava sa ciljem podizanja pouzdanosti, raspoloživosti i ekonomske efikasnosti elektroenergetskog sektora u celini, što je direktna posledica smanjenog broja prinudnih zastoja.

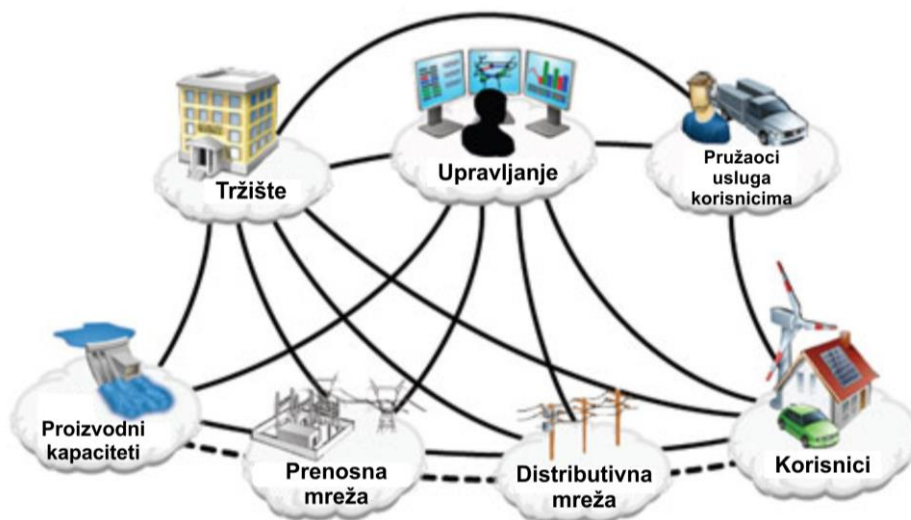
2 POLAZNE PRETPOSTAVKE I RAZVOJ DIJAGNOSTIČKOG CENTRA I NJEGOVA ULOGA U EES

DC treba da donese dobit energetskom sektoru sa aspekta investicija, energetske efikasnosti i održavanja. On treba da bude integralni deo elektroenergetskog sistema (EES) (slika 1) sposoban da prati, arhivira i obrađuje relevantne proizvodne parametre u elektranama. Krajnji cilj je davanje stručnog mišljenja sa ocenom stanja nadzirane opreme (transformator ili generator) i definisanje raspoloživosti i pogonske spremnosti. DC treba da prati kompletne proizvodne cikluse električne energije, ali i stanje pojedinih resursa (voda, ugalj, mazut ...). Slika br.1 ilustruje mesto i ulogu DC-a u EES-u. Posebno je važno istaći da se uvođenjem DC-a objedinjuju strategije upravljanja opremom i dobrima (*Asset Management System - AMS*), održavanjem (*Maintenance Management System - MMS*) i kvarovima (*Outage Management System – OMS*) u jednu jedinstvenu strategiju upravljanja DC-om (SUDC). Polazište u razvoju koncepcije DC-a i njegovog pozicioniranje u EES-u je delom nađeno u osnovnom konceptu *pametnih mreža* (Slika 2). Da bi koncept pametnih mreža bio primenjen u strategiji DC-a, potrebno je bilo razumeti i objasniti njihovu suštinu, a zatim prepoznati relacije koje su primenljive pre svega na sektor proizvodnje električne energije. Prema

literaturi [11] pod pojmom “pametne mreže” (*Smart Grid*) se smatraju mreže koje imaju sposobnost samooporavka, i u kojima su primenjene dinamičke optimizacione tehnike koje koriste rezultate merenja u realnom vremenu u cilju smanjenja gubitaka, održavanja naponskih nivoa, povećavanja pouzdanosti i poboljšanja upravljanja opremom i dobrima (*Asset Management – AM*). Međutim, u literaturi postoji veći broj definicija pametnih mreža [12], od kojih je korisno izdvojiti one koje karakteristikama pametnih mreža daju zajedničke ili slične atribute, pa su sa tog aspekta korisne i praktično primenljive, za razvoj i definisanje koncepcije DC-a. Polazeći od prethodno rečenog, u radu je akcenat stavljen na potrebu da daljinski nadzor, detekcija i merenje proizvodnih parametara u proizvodnim kapacitetima bude ravnopravan sa daljinskim nadzorom u prenosu i distribuciji električne energije, koji je već, u većoj ili manjoj meri, sastavni je deo dispečerskih i distributivnih centara.



Slika 1 Mesto i uloga Dijagnostičkog centra (DC) u elektroenergetskom sistemu (EES)



Slika 2 Koncept *pametnih mreža* u okviru elektroenergetskog sistema prema NIST (*The National Institute of Standards and Technology - USA*)

2 KONCEPT DIJAGNOSTIČKOG CENTRA

Tržište električne energije, kao i svako drugo tržište, se vodi isključivo ekonomskim aspektima koji, pojednostavljeno govoreći, zavise od ponude i potražnje električne energije. Na tržište utiču korisnici, najčešće preko kompanija koje se bave trgovinom električne energije. Ovde se neće ulaziti u ekonomske aspekte tržišta kao što su kategorije potrošača, zatim cene, rokovi isporuke i ugovorene količine električne energije, ali je neophodno obratiti pažnju na planiranje i upravljanje koji direktno zavise od rezultata analiza, procene stanja i predloga rešenja koji se očekuju od DC-a. Koncept DC-a treba da stvori uslove i omogući sledeće:

1. Snabdevanje električnom energijom uz nadzor, zaštitu i optimizaciju rada svih delova sistema - počev od centralnih i distribuiranih izvora (generatora), preko mreže prenosa i distributivnog sistema do industrijskih potrošača i domaćinstava.
2. Veću integraciju podataka dobijenih iz istorije merenja sa podacima dobijenim *on-line* i *off-line* metodama sa različitih inteligentnih uređaja i sistema daljinskog nadzora.
3. Implementaciju modernih protokola i standarda.
4. Planiranje održavanja i smanjenje troškova održavanja delimičnim prelaženjem (gde je to izvodljivo) sa koncepcije održavanja po periodici na koncepciju održavanja po stanju.
5. Planiranje ulaganja u nove sisteme višeparametarskog i umreženog daljinskog nadzora.
6. Povezivanje DC-a sa postojećim SCADA sistemima i uvođenje novih SCADA sistema.
7. Izbor parametara neprekidnog nadzora prema interesima korisnika u koje spadaju proizvođači električne energije (hidro i termo elektrane), firme za održavanja, tržište električne energije sa pratećim subjektima i dr.
8. Arhiviranje podataka dobijenih iz ranijih perioda i podataka dobijenih *on-line* i *off-line* metodama merenja i ispitivanja. Izbor podataka treba da bude takav da se njihovom analizom (u DC-u) dobije detaljan uvid u stanje nadzirane opreme i proizvodnog ciklusa.
9. Blagovremenu, po mogućstvu u realnom vremenu, višeparametarsku analizu, proračun i obradu relevantnih parametara primenom baze znanja (stručan visokokvalifikovan kadar), baze podataka i modernih računarskih programa, tehnika i alata. Procenu stanja i davanje stručnog mišljenja u pojedinim karakterističnim situacijama ili na duži vremenski period. Na osnovu procene stanja i dobijenog mišljenja se može definisati strategija održavanja i predvideti vreme raspoloživosti posmatranog pogona.
10. Razvoj komunikaciono-računarske mreže i daljinskih nadzornih sistema i usavršavanje njihove povezanosti uz podizanje nivoa zaštite i dodavanje novih poslovnih servisa.
11. Interoperabilnost, standardizaciju i usaglašenost. Neophodno je usaglašavanje različitih mernih metoda i komunikacionih protokola pojedinih proizvođača merno-regulacione opreme i sistema daljinskog nadzora, potom definisanje vremena, učestanosti i rezolucije merenja i na kraju definisanje vrste i količine potrebnih podataka i njihovih formata zapisa.

3 ULOGA AMS, MMS I OMS U DC-U U USLOVIMA DEREGULISANOG TRŽIŠTA

U poslednjih nekoliko decenija, sve je prisutniji trend deregulacije tržišta električne energije, koji pre svega podrazumeva manje uplitanje države u kreiranje ekonomske politike i centralizovane strategije vezane za elektroenergetski sektor. Upravo iz ovog razloga se otvaraju pitanja i stvaraju uslovi za dodatnu ulogu DC-a, koji treba da rezultate obrade i analize parametara, dobijenih sa SCADA sistema i složenih sistema daljinskog nadzora i

kontrole redefiniše i preformuliše tako da se mogu dobiti relevantni ekonomski pokazatelji korisni tržištu električne energije.

Uticaj deregulisanog tržišta treba očekivati i na telekomunikacioni deo DC-a. On se ogleda u permanentnom prelasku sa dosadašnjih monopola ka značajnijoj liberalizaciji telekomunikacionog segmenta. Ovaj proces ostavlja traga i u segmentu korporacijskih mreža energetskog sektora, pa je realno očekivati da će se njegov uticaj reflektovati na DC primoravajući ga na stalno usavršavanje i prilagođavanje nastupajućim promenama i trendovima. U uslovima deregulisanog tržišta, potrebna je migracija telekomunikacionih sistema ka mrežama naredne generacije (NGN, *Next Generation Network*). Već su postavljeni mrežni standardi za pristup zasnovan na tehnologiji Internet protokola (IP) i razvoj, širenje i integraciju heterogenih telekomunikacionih servisa. S obzirom na otvorenost sistema i porast broja mrežnih servisa, otvara se pitanje bezbednosti prenosa informacija i njihva zaštita. Polazne analize, koje je neophodno sprovesti u DC-u se odnose na bezbedonosne rizike.

Raspoloživost je verovatnoća da neki deo posmatranog sistema obavlja svoju projektovanu funkciju. U literaturi se često sreće pojam „pogonska spremnost“ koji je u stvari tehnički izraz za raspoloživost. U EES-u se pod raspoloživosti podrazumeva verovatnoća da je sistem u funkcionalnom stanju. Raspoloživost je osnovni aspekt pouzdanosti i obično se meri u procentima ili per-unit. Sa porastom zahteva za visokom raspoloživošću pojedinih grupa potrošača (računarske mreže, medicinski i vojni sistemi i sl.) postalo je uobičajeno da se stepen raspoloživosti iskazuje brojem devetki koje su u korelaciji sa procentima i godišnjim vremenom prekida (Tabela I).

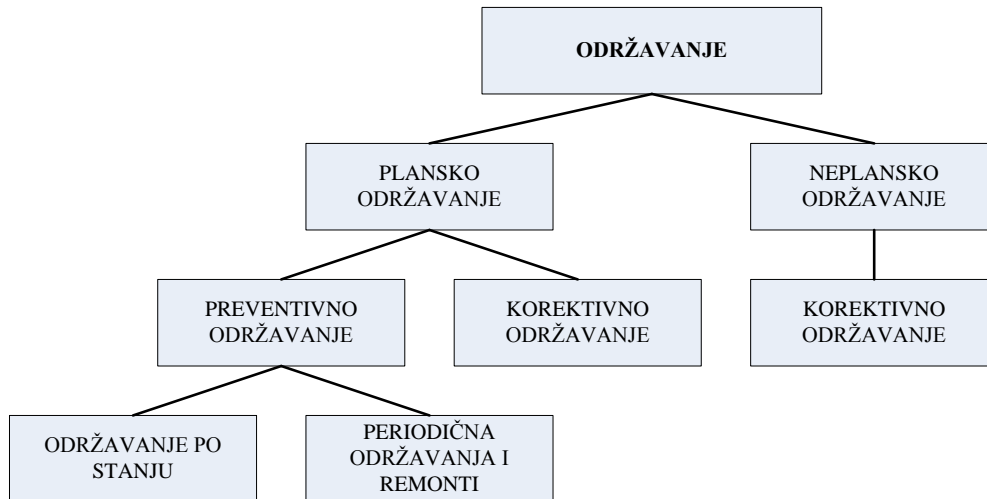
Tabela I Vremena prekida na godišnjem nivou sa odgovarajućim stepenima raspoloživosti

Raspoloživost (%)	br. devetki	godišnje vreme prekida
90	1	-36.5 dana
99	2	3.7 dana
99.9	3	8.8 h
99.99	4	52.6 min
99.999	5	5.3 min
99.9999	6	31.5 s
99.99999	7	3.2 s
99.999999	8	0.3 s
99.9999999	9	1.9 perioda(60-Hz)

Izračunavanje raspoloživosti je od suštinskog značaja za globalno planiranje u EES-u i predstavlja jedan od ključnih parametara tržišta za formiranje cene električne energije. Ona se računa na osnovu podataka o događajima koristeći se istorijom merenja i bazama. DC treba da obezbedi dovoljan broj podataka za izračunavanje raspoloživosti sa manjom greškom. S obzirom na dostupnost podacima u DC-u (*on-line* podaci sa SCADA sistema, *off-line* merenja i ispitivanja u fazama remonta i popravki, istorije merenja i baze podataka, stalni kontakti sa ekipama na terenu i pogonskim osobljem zaduženim za održavanje...) realno je očekivati brz i čest proračun raspoloživosti za pojedine delove sistema čime bi vršila njena stalna korekcija.

Strategija upravljanja i odlučivanja, koja treba da bude zastupljena u DC-u, je od vitalne važnosti, kako sa aspekta korisnika, tako i sa aspekta planiranja razvoja i ulaganja. Ova strategija, u svojoj osnovi, konačno treba da objedini i ujedini strategije upravljanja opremom (AMS), održavanjem (MMS) i kvarovima (OMS) u jedinstvenu strategiju (SUDC). Kada je

reč o AMS potrebno je dodati i strategiju EAM (*Enterprise asset management*) koja predstavlja novinu u upravljanju, a ujedno i nadgradnju AMS-a. EAM je u osnovi upravljanje dobrima koji predstavljaju zaokružene proizvodne, odnosno sistemske celine [13]. DC treba ovu strtegiju, prvo da primeni, a onda oblikuje i unapredi u smislu sposobnosti upravljanja i odlučivanja od nivoa definisanih celina, koje definiše korisnik, do nivoa više uvezanih celina jednog ili više korisnika (primer jedne kompanije sa više elektrana). Jedna od definicija održavanja kaže da je „održavanje skup svih aktivnosti kojima se postrojenju obezbeđuje sposobnost da kontinuirano obavlja svoje predviđene funkcije, ili da mu se ta sposobnost vrati, ako je izgubi“ [14]. Na slici br. 3 je data osnovna podela održavanja iz koje proizilazi koncept upravljanja održavanjem MMS.



Slika 3 Podela održavanja [14]

Uloga DC-a u upravljanju i planiranju održavanjem se ogleda u:

1. Sveobuhvatnoj analizi stanja nadzirane opreme i proizvodnih pogona sa ciljem boljeg planiranja planskog održavanja, ekonomske analize i proračuna troškova i budućih investicija. U ovom segmentu će se sprovesti detaljne analize rizika da bi se napravila bolja predikcija potencijalnih kvarova i smanjila učestanost otkaza.
2. Blagovremenom pokretanju i planiranju korektivnog održavanja sa ciljem brzog otklanjanja posledica kvara.
3. Planiranju preventivnog održavanja sa ciljem da se, gde je to moguće, težište održavanja prebaci sa periodičnog održavanja na održavanje po stanju. Upravo u održavanju DC treba da objedini strategije upravljanja održavanjem (MMS) i upravljanja kvarovima (OMS).

4 ZAKLJUČAK

U radu je prikazana detaljna koncepcija DC-a i njegova uloga u strukturi EES-a. Od DC-a se očekuje da pruži dodatni kvalitet i unapredi postojeći nadzor procesnih i proizvodnih parametara u pogonima EES-a, ne narušavajući postojeće koncepcije. U osnovi, DC se bazira na stručnom kadru, bazama podataka, računarsko-komunikacionoj opremi i programima za vizuelizaciju, proračune i obradu pristiglih podataka u realnom vremenu. Formiranje DC-a u elektroenergetskom sektoru u okviru velikih kompanija, pa čak i na nivou države, predstavlja, u širem smislu, kvalitativno nov i napredniji pristup u daljinskom nadzoru celokupnog EES-a. DC treba da donese dobit kompletnom energetskom sektoru sa aspekta investicija, energetske

efikasnosti i održavanja, a njegova dodatna uloga treba da bude da takva, da on obezbedi dovoljan broj podataka, da buduća izračunavanja raspoloživosti budu obavljena sa manjom greškom. Polazište u razvoju koncepcije DC-a i njegovog pozicioniranja u EES-u je delom nađeno u osnovnom konceptu pametnih mreža. Da bi koncept pametnih mreža bio primenjen u strategiji DC-a, potrebno je bilo razumeti i objasniti njegovu suštinu, a zatim prepoznati relacije koje su primenljive pre svega na sektor proizvodnje električne energije. S obzirom na projektovanu ulogu DC-a, strategija upravljanja i odlučivanja, koja treba da bude zastupljena u DC-u je od vitalne važnosti, kako sa aspekta korisnika, tako i sa aspekta planiranja razvoja i ulaganja. Upravo su prethodno pomenuti aspekti uslovlili razvoj strategije upravljanja DC-om tako da ona u svojoj osnovi konačno treba da objedini i ujedini strategije upravljanja opremom (AMS), održavanjem (MMS) i kvarovima (OMS) u jedinstvenu strategiju upravljanja (SUDC).

ZAHVALNICA

Rad je nastao u okviru projekta TR 33024, „Povećanje energetske efikasnosti, pouzdanosti i raspoloživosti elektrana EPS-a utvrđivanjem pogonskih dijagrama generatora i primenom novih metoda ispitivanja i daljinskog nadzora”, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

REFERENCE

- [1] Douglas J. Smith, IEng, Senior Editor: “Remote Monitoring”, Published: Mar 1, 2004. Available: <http://www.power-eng.com/articles/print/volume-108/issue-3/features/remote-monitoring.html>
- [2] Claude Major, Gilles Allen, Yves Houle: “Benefits of On-line Monitoring System in Operating and Refurbishing Generators at Rapide-des-Iles Powerplant”, Uprating and Refurbishing Hydro Powerplants VI, October 1997, Montreal, Canada.
- [3] Saša Milić, Nidžo Miladinović "Daljinski monitoring temperature u elektroenergetskim sistemima", Međunarodni naučno-stručni simpozijum Informacione tehnologije - Infotech 2009, zbornik radova, Vol. 8, Ref. D-11, strane 333-336, Jahorina, Republika Srpska, mart 2009.
- [4] S. Milić, N. Miladinović, A. Žigić, N. Karanović, Z. Kršenković, M. Kožicić, "Merni sistem za praćenje temperatura polova rotora hidrogeneratora na hidroelektrani Đerdap II", CIGRE - Srbija 29. savetovanje, zbornik radova R B5 - 08, Zlatibor, Srbija, 31. maj - 06. jun 2009.
- [5] S. Milić, A. Žigić, M. Ponjavić: "On-line Temperature Monitoring, Fault Detection and a Novel Heat Run Test of Water-Cooled Rotor of Hydrogenerator", IEEE Transactions on Energy Conversion, Volume 28, Issue 3, ITCNE4 (ISSN 0885-8969), Article DOI: 10.1109/TEC.2013.2265262, Sept. 2013, Pages: 698 - 706.
- [6] 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.
- [7] Detlev Gross und Markus Soeller, Power Diagnostix Systems GmbH, Aachen, Germany, Networked Partial Discharge Monitoring and Condition Assessment of large Rotating Machines, Encontro Nacional de Monitoramento, Brasil, 19.-20. Novembro de 2006
- [8] Detlev Gross und Markus Soeller, Power Diagnostix Systems GmbH, Aachen, Germany, Partial Discharge Diagnosis and Monitoring on Generators and Motors, Draft, Paper 4.5,

- submitted to ETG, "Diagnostik Elektrischer Betriebsmittel", Berlin, February 26-27, 2002.
- [9] S. Milić: "Opšti koncept dijagnostičkog centra u proizvodnji EPS-a", CIGRE - Srbija 31. savetovanje, zbornik radova STK C5, R C5 - 15, ISBN: 978-86-82317-72-2, Zlatibor, Srbija, 26. maj - 30. maj 2013.
- [10] Studija: "Formiranje dijagnostičkog centra za realizaciju monitoringa parcijalnih pražnjenja u IS na generatorima u elektranama EPS", studija rađena za JP EPS, rukovodilac studije Dr Saša Milić, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, Srbija, 2011.
- [11] James Momoh: "Smart Grid – Fundamentals of Design and Analysis", IEEE Press, Published by John Wiley & Sons Inc. Hoboken, New Jersey, Copyright 2012 by IEEE, ISBN 978-0-470-88939-8.
- [12] „Communication Access to Electrical Energy Consumers and Producers”, TB 495 CIGRE, WG D2.29, April 2012.
- [13] T. K. Mahakul, S. Baboo, S. Patnaik: "Implementation of enterprise asset management using IT tools: A case study of IB thermal power station", Journal of Information Technology Management, ISSN 1042-1319, Volume XVI, Number 4, 2005.
- [14] Vojislav Škundrić: "Unapređenje upravljanja održavanjem – efikasno sredstvo za poboljšanje rezultata poslovanja", obuka za upravljanje održavanjem, Beograd, 2008.

THE ROLE OF DIAGNOSTIC CENTRE IN MAINTENANCE, OUTAGE AND ASSET MANAGEMENT SYSTEMS

Saša D. Milić and Denis M. Ilić
Engineering Institute "Nikola Tesla", Belgrade

Serbia

Abstract – This paper explains the role of diagnostic centre in remote monitoring of the production and operational parameters of the electric power industry in order to apply maintenance management system (MMS), outage management system (OMS) and asset management system (AMS). The establishment of this center with using the modern management theory and complex system of remote monitoring should bring multiple benefits to the power sector at all. In addition to conventional methods of monitoring, maintenance, testing and measurements that are carried out over the equipment installed in the production, transmission and distribution systems, it is necessary to apply the new methods of management, supervision and control that usually involve the simultaneous remote monitoring of few relevant parameters. The linked remote monitoring, SCADA and telecommunication systems are useful for monitoring, processing and analysing the various parameters. The diagnostic centre plays vital role in remote monitoring conditions and fault detections in almost all emergency situations in power system. The economic analysis should be carried out and implemented on the basis of correct information about the equipment status, technological processes and resources (hydropower potential, coal mines, coal transportation, wind and sunny days for renewable energy...). These are important starting points for a predictions, estimates, analysis and planning aspects that directly affect on the economic parameters of the electricity market.

Keywords — Diagnostic centre, remote monitoring system, maintenance management system, outage management system, asset management system, SCADA.