



R A2 05

AKTUELNE MERNE METODE ZA AM, DIJAGNOSTIKU I ODRŽAVANJE ENERGETSKIH TRANSFORMATORA

SAŠA D. MILIĆ*, DENIS M. ILIĆ, JELENA Č. PONOČKO
ELEKTROTEHNIČKI INSTITUT „NIKOLA TESLA”, UNIVERZITET U
BEOGRADU

BEOGRAD

SRBIJA

Kratak sadržaj – U ovom radu je dat prikaz niza savremenih mernih i dijagnostičkih metoda, koje se primenjuju na energetskim transformatorima. U pregledu mernih metoda je osnovna pažnja posvećena njihovoj primeni u cilju analize prednosti i mana pojedinih metoda i njihove primene u smislu integrisanja i unapređenja koncepcije upravljanja dobrima (AM) sa aspekta energetskih transformatora. Korist od primena novih mernih metoda se ogleda u unapređenju održavanja, prelasku sa starih koncepcija održavanja po periodici na nove koncepcije održavanja po stanju, bržoj i efikasnijoj dijagnostici stanja, tačnijoj proceni stanja i životnog veka energetskih transformatora. Ne mali deo on-line, ali i off-line metoda su i in-situ metode, što omogućava merenje i analizu velikog broja proizvodnih i eksploatacionih parametara transformatora u realnom vremenu u realnim pogonima i realnim uslovima. Proces deregulacije tržišta električne energije je višedecenijski trend u razvijenim zemljama, a uloga AM-a je jedna od ključnih sa aspekta upravljanja, kako proizvodnjom, prenosom i distribucijom, tako i prilikom uvođenja novih tržišnih subjekata, a sve sa ciljem smanjenja cena električne energije, podizanja pouzdanosti proizvodnje i prenosa i stvaranja uslova za ravnopravnu utakmicu u tržišnom poslovanju. Nove merne metode u sadejstvu sa koncepcijom AM-a imaju za cilj da smanje troškove održavanja i daju tačniju procenu stanja energetskih transformatora kao najskupljih komponenti u širokoj lepezi elektroenergetske opreme.

Ključne reči – Merne i dijagnostičke metode, upravljanje dobrima (AM), energetski transformatori

* Elektrotehni ki institut Nikola Tesla, 11000 Beograd, Koste Glavini a 8a, s-milic@ieent.org,
denis.ilic@ieent.org

1 UVOD

Trfii-te elektri ne energije, kao i svako drugo trfii-te, se vodi iskljuivo ekonomskim aspektima koji, pojednostavljeno govore i, zavise od ponude i potrafnje elektri ne energije. Na trfii-te uti u korisnici, naj e- e preko kompanija koje se bave trgovinom elektri ne energije. Ovde se ne e ulaziti u ekonomske aspekte trfii-ta kao -to su kategorije potro-a a, zatim cene, rokovi isporuke i ugovorene koli ine elektri ne energije, ali je neophodno obratiti pafnju, kako na resurse i energente (ugalj, nafta, gas, hidropotencijal, vetar, broj sun anih dana, biomasa...), tako i na odrflavanje, planiranje i upravljanje proizvodnim, prenosnim i distributivnim kapacitetima.

Dana-nji trendovi i finansijska klima na trfii-tu elektri ne energije diktiraju stalnu potrebu za unapre enjem poslovanja u elektroenergetskom sistemu (EES). Glavni elektroenergetski subjekti su proizvodni, prenosni i distributivni kapaciteti elektri ne energije. Me utim, pored pomenutih subjekata, koji su u vlasni-tvu kompanija sa razli-itom vlasni kom strukturom, trfii-te elektri ne energije ine jo-i finansijska i osiguravaju a dru-tva i kompanije koje se bave razli itom vrstom usluga. Naime, poslednjih decenija, u energetskom sektoru je primetan trend deregulacije. On se ogleda u permanentnom prelasku sa neprikosnovenih monopola, naj e- e drflavnih, ka zna ajnijoj liberalizaciji kompletnog elektroenergetskog sektora. Uo eno je da ovaj proces defini-e druga ije uslove poslovanja i uvodi nove strategije u oblasti planiranja, upravljanja i odrflavanja. Drugim re ima re eno, u uslovima deregulisanog trfii-ta, potrebna je promena i unapre enje tradicionalnog pristupa upravljanja uz upotrebu novih poslovnih modela, algoritama i metodologija.

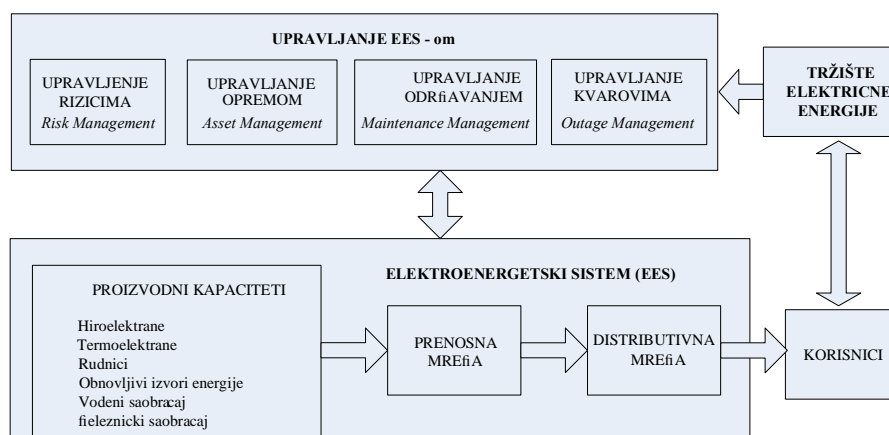
2 UPRAVLJANJE ELEKTROENERGETSKIM SISTEMOM

Poslednjih desetak godina je primetna upotreba ve eg broja teorija sa ciljem da se unapredi poslovanje u oblasti upravljanja, odrflavanja, nadzora i kontrole nad velikim tehni kim sistema. itave nau ne i tehni ke oblasti su svoja polja istraffivanja pro-irile ovom problematikom. Za potrebe upravljanja u EES-u, kao zna ajne nove oblasti, izdvojeni su: procena i upravljanje rizicima (*RA - risk assessment* i *RM - risk management*) i upravljanje dobrima (*AM - asset management*). Postoji i podela samog AM-a na upravljanje dobrima u uflem smislu (misli se na upravljanje tehni kom opremom u pogonu), na upravljanje odrflavanjem (*maintenance management*) i na upravljanje kvarovima (*outage management*) (slika br.1) [1, 2].

Pove anje energetske efikasnosti, u elektroenergetskom sektoru, se mofle realizovati u kroz dva, uslovno re eno, odvojena pristupa. Prvi pristup predstavlja skup aktivnosti i mera sa ciljem smanjenja gubitaka podizanjem kvaliteta upravljanja uvoe enjem novih tehnologija, mernih metoda i algoritama. Drugi pristup se odnosi na modernizaciju strategija odrflavanja i primenu modernih sistema daljinskog nadzora koji su u stanju da u realnom vremenu prate ve i broj procesnih parametara. Unapre enje odrflavanjaima za cilj smanjenje broja otkaza i prinudnih zastoja, odnosno podizanja nivoa raspoloffivosti i pogonske spremnosti. Raspoloffivost je verovatno a da neki deo posmatranog sistema obavlja svoju projektovanu funkciju, dok je pojam pogonske spremnosti u stvari tehni ki izraz za raspoloffivost. Stepem raspoloffivosti se iskazuje brojem devetki koje su u korelaciji sa procentima i godi-njim vremenom prekida (npr. jedna devetka predstavlja verovatno u pogonske spremnosti od 90%, odnosno vreme zastoja od 36,5 dana na godi-nje, nivou, dok sedam devetki predstavlja verovatno u pogonske spremnosti od 99,99999%, odnosno vreme zastoja od 3,2s na godi-njem nivou).

Deregulisano trfii-te sa svojim aspektima ponude i potrafnje elektri ne energije, pouzdanost njene proizvodnje, blagovremeno planiranje, smanjanje tro-kova odrflavanja, produflenje

flivotnog veka i pouzdanost rada su kategorije koje defini-u moderno upravljanje proizvodnjom elektri ne energije, a samim tim i upravljanjem eksploatacije i odrflavanja energetskih transformatora kao kapitalnih prenosnih energetskih komponenti EES-a [2].

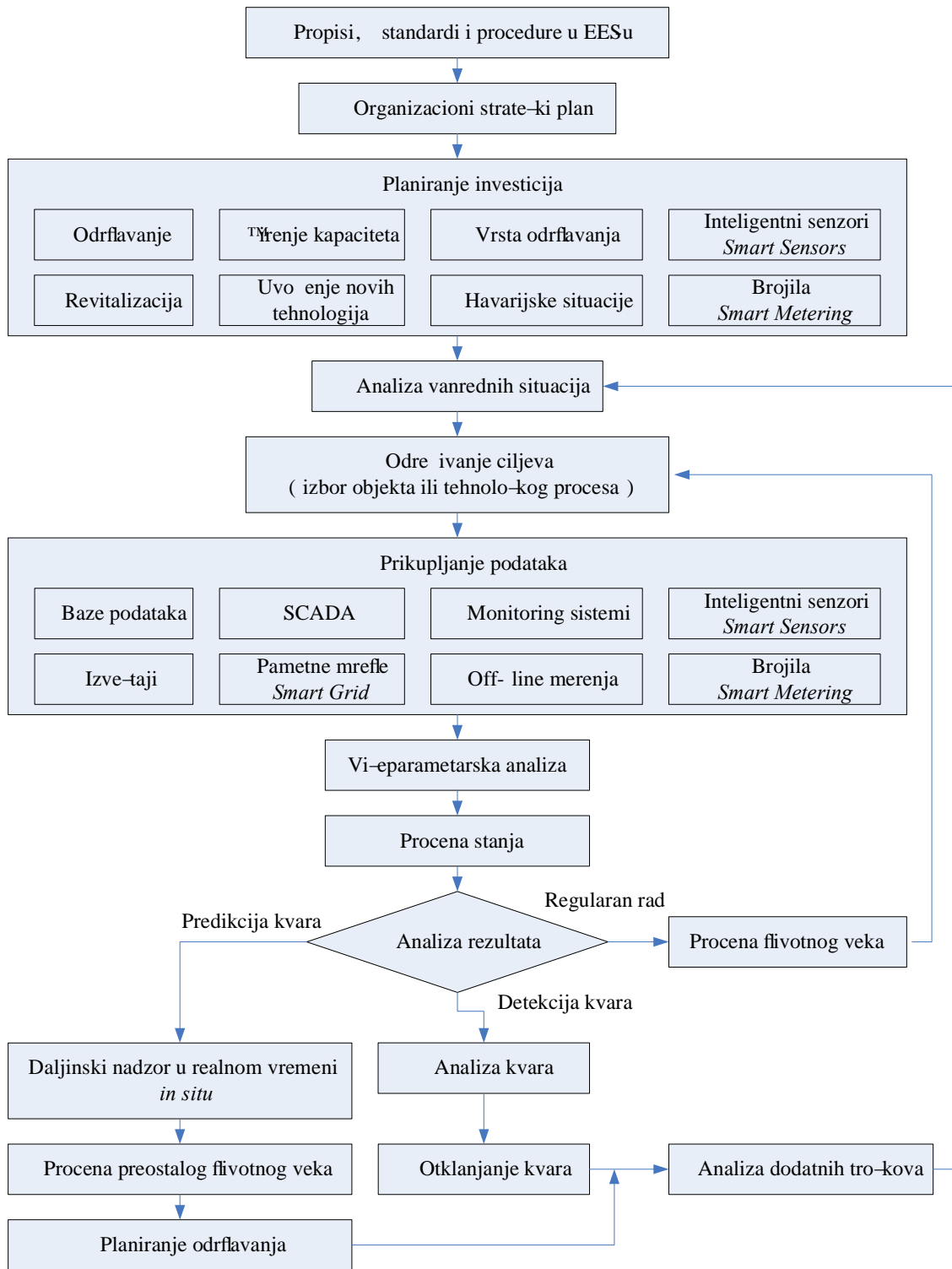


Slika 1 Mesto i uloga modernih strategija upravljanja i odrflavanja u elektroenergetskom sistemu (EES)

3 PRIMENA STRATEGIJE AM NA ENERGETSKE TRANSFORMATORE

Ovaj rad se bavi aspektom upravljanja EES-om koji se odnosi na -iroku primenu glavnih principa metodologije upravljanja dobrima tj. AM-a (*asset managment*). Kada se odnosi na fizi ka dobra, generalna definicija *Asset Management*- ö glasi: *AM* je skup disciplina, metoda, procedura i alata koji se koriste u svrhu optimizacije ukupnih tro-kova, performansi i izlofenosti riziku tokom flivotnog veka [3]. Odnosno, efikasno upravljanje dobrima je u su-tini postizanje ukupnog balansa izme u cene, rizika i odgovaraju ih perfomansi sistema (nad kojim se primenjuje AM strategija). Kada se strategija AM-a primenjuje na odrflavanje, treba ista i, da se u slu aju pojave kvara, od nje pre svega o ekuje dono-enje ispravne odluke u smislu da li treba izvr-iti popravke ili izvr-iti kompletnu ili delimi nu zamenu opreme na kojoj se javio kvar. Na slici br.2 je dat unapre en dijagram koji grafi ki ilustruje princip AM-a primenljiv u EES-u.

Energetski transformatori (ETR) predstavljaju pouzdane energetske jedinice i od su-tinskog su zna aja za energetski sistem u celini. Sa ekonomskog aspekta, oni predstavljaju kapitalne pogonske investicije, jer njihovi otkazi predstavljaju ujedno i prekid kompletnog proizvodnog i prenosnog, a ponekad i distributivnog procesa. Samim tim, transformatori kao osnovne energetske komponente, zahtevaju stalni nadzor i pra enje, ali i detaljno i savremeno odrflavanje. Proces deregulacije trfli-ta elektri ne energije sa sobom nosi stalnu potrebu za smenjenjem tro-kova odrflavanja i smanjenjem tro-kova skladi-tenja rezervnih delova i opreme. Iz ovoga proizilazi da je tradicionalna politika skladi-tenja rezervnih transformatora u ve oj meri neodrliva. Sinteza novih teorija, doktrina i metodologija upravljanja sa modernim mernim metodama i sistemima dalkjinskog nadzora podiflu energetsku efikasnost i smanjuju tro-kove odrflavanja ETR-a. Moderna merna i procesna tehnika, slofeni vi-eparametrski sistemi daljinskog nadzora, ekspertske sistemi, ra unarski programi i novorazvijeni merni i detekcioni algoritmi za prora un i procenu stanja sistema u realnom vremenu, informacioni i telekomunikacioni sistemi (korporativne IT mreffe, snafni serveri, SCADA sistemi, baze podataka...) pruffaju velike mogu nosti mogu nosti u smislu neprekidnog nadzora, ocene stanja i predikcije kvarova na kapitalnim proizvodno prenosnim jedinicima generator-transformator.



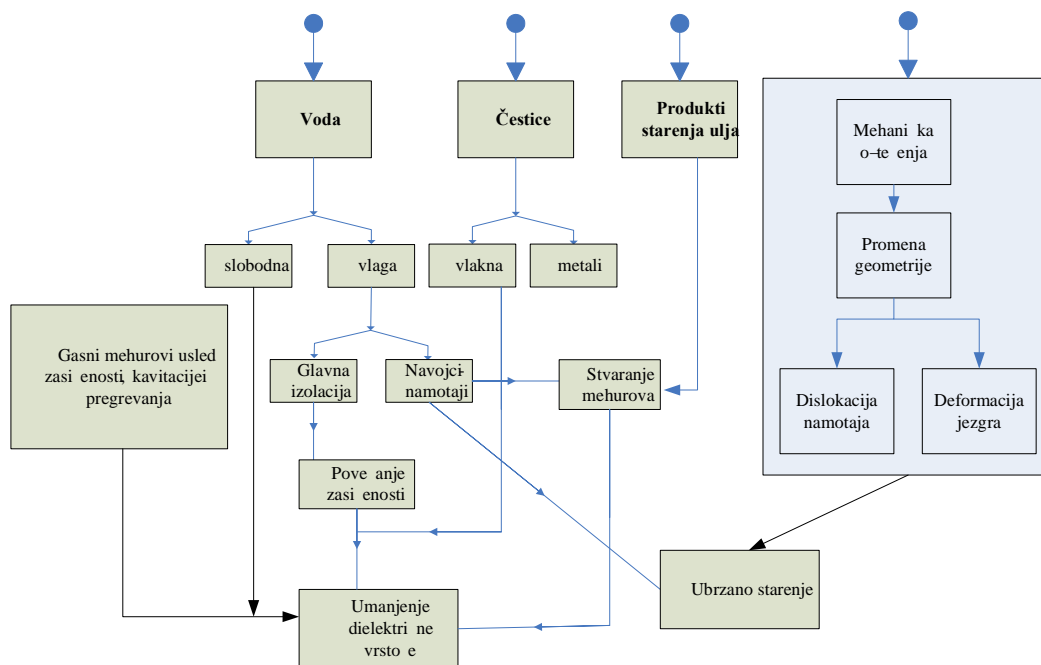
Slika 2 Strategija upravljanja dobrima (AM) u EES-u

Selekcija kvarova ETR-a i njihov trend su od velike važnosti za ocenu stanja i procenu flivotnog veka PTR-a. [4, 5]. Pregled kvarova je dat u tabeli br.1. Na slici br.3 je dat unapređen model starenja ET-a. U model je dodata nova komponenta koja ukazuje na uticaj mehaničkih oštećenja na flivotni vek ETR-a. funkciji pravilnog dugoročnog planiranja

eksploatacije, održavanja i ulaganja u elektroenergetski sektor u celini. Procena stanja energetskih transformatora (*Condition Assessment of Power Transformers*) je ujedno i proces koji obavezno prethodi pravilnoj proceni flivotnog veka. Procena preostalog flivotnog veka je usko povezana sa starenjem (*Aging*) transformatora, njegovim stanjem, na inom eksploatacije, pogonskim uslovima, na inom i u estano– u održavanja, brojem neplaniranih otkaza i brojem i vrstom neplaniranih servisnih intervencija (slika br.3).

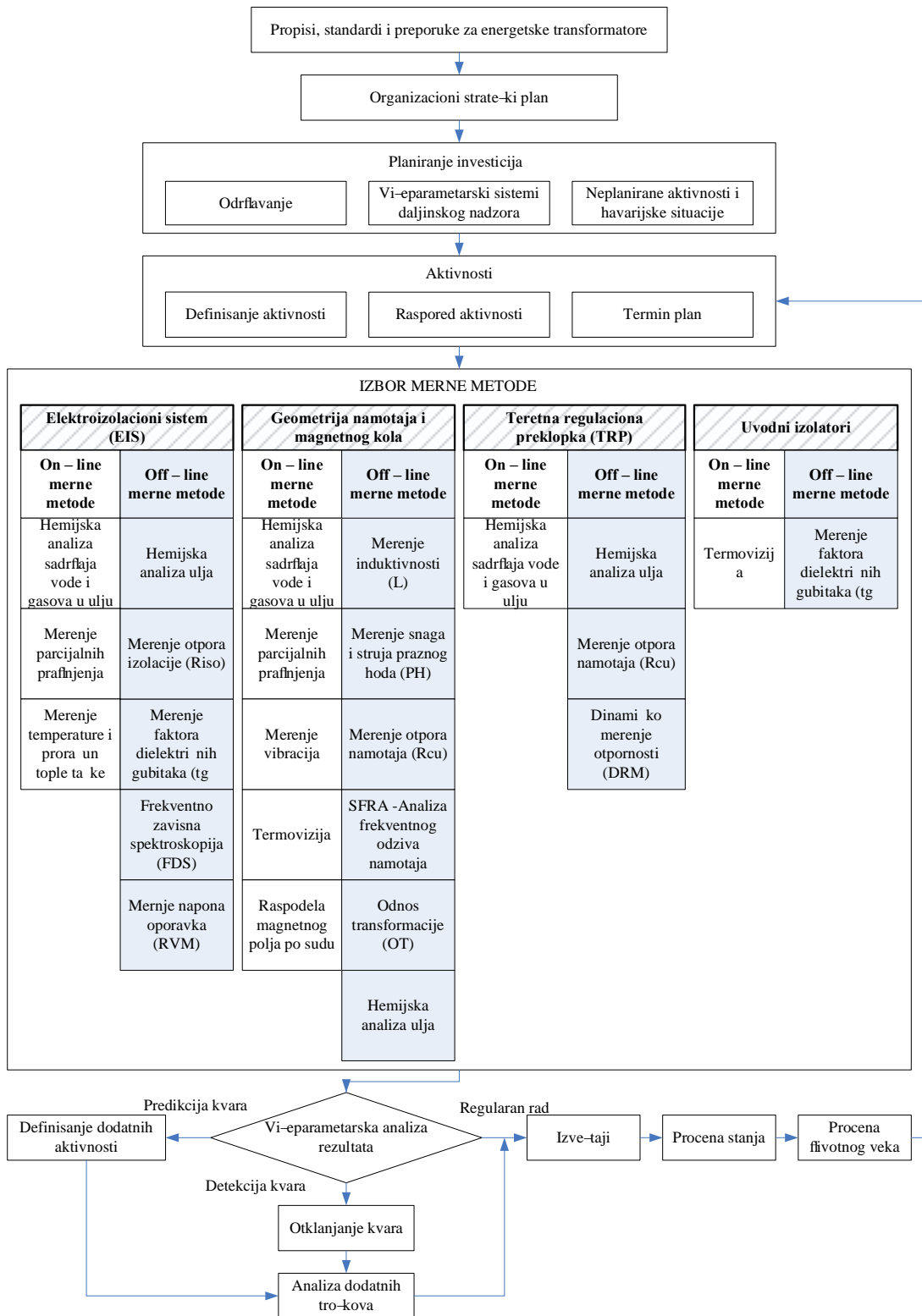
Tabela 1 ó Uzroci kvarova energetskih transformatora

Tipični uzroci kvara transformatora	
Unutrašnji	Spoljašnji
Degradacija izolacije	Udari groma
Popu–tanje mehani ke utege namotaja	Prenaponi usled manipulacija u mreffi
Pregrevanje	Preoptere enje
Kiseonik	Kratki spojevi u mreffi
Vlaga	Mehani ka o-te enja
Kontaminacija izolacionog ulja vrstim esticama	
Parcijalna praflnjenja	
Gre–ke pri projektovanju i proizvodnji	
Rezonansa namotaja	
Mehani ka o-te enja	



Slika 3 Unapre eni model starenja transformatora.

Na slici br.4 je dat prikaz modifikovane i prilago ene strategija ōupravljanja dobrimaō (AM) na ETR-ove u EES–u i mesto i uloga standardnih (tradicionalnih i novih) mernih i dijagnosti kih metoda za pra enje i ocenu stanja ETR-ova [6 – 10].



Slika 4 Merne i dijagnostičke procedure za praćenje i ocenu stanja energetskih transformatora

4 ZAKLJUČAK

Današnji trendovi i finansijska klima na tržištu električne energije diktiraju stalnu potrebu za unapređenjem poslovanja u elektroenergetskom sistemu (EES). Glavni elektroenergetski subjekti su proizvodni, prenosni i distributivni kapaciteti električne energije. Međutim, pored pomenutih subjekata, koji su u vlasništvu kompanija sa različitom vlasništvom strukturom, tržište električne energije ima još i finansijska i osiguravajuća društva i kompanije koje se bave različitim vrstama usluga. Naime, poslednjih decenija, u energetskom sektoru je primetan trend deregulacije.

Ovaj rad se bavi aspektom upravljanja EES-om koji se odnosi na široku primenu glavnih principa metodologije upravljanja dobrima tj. AM-a (*asset management*). Primena AM strategije u praksi stanja i dijagnostici kvarova treba da omogući bolje upravljanje i planiranje. U radu je ukazano na potrebu uvođenja modernih koncepcija upravljanja u EES. Detaljno je prikazana i objašnjenja modifikovana i prilagođena opšta koncepcija upravljanja dobrima *asset management*. Posebna pažnja je posvećena razvoju i prilagođenju ove koncepcije upravljanja na održavanje, praksi stanja i procenu preostalog životnog veka energetskih transformatora (ET). Dat je detaljan algoritam upravljanja primenljiv na oblasti merenja, održavanja, procenu i praksi stanja ET-ova. Objasneni su mesto, uloga i podela velikog broja *on-line* i *off-line* merenih metoda i tehnika koje služe za merenje velikog broja procesnih parametara ET-ova. Prikazan je proširen algoritam starenja za ET-ove, u kome je dodata komponenta uticaja mehaničkih kvarova na životni vek ET-ova.

5 ZAHVALNICA

Rad je nastao u okviru projekta TR 33024, štampanje 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.

6 REFERENCE

- [1] S. Mili, D. Ili: "Uloga dijagnostičkog centra u upravljanju održavanjem, kvarovima i opremom", CIGRE u Srbija, 16. Simpozijum - Upravljanje i telekomunikacije u elektroenergetskom sistemu - STK C2 i D2, zbornik radova ISBN: 978-86-82317-75-3, Kladovo, Srbija, 26. oktobar - 30. oktobar 2014, Oznaka rada R D2 12, Strane: 244 - 251.
- [2] S. Mili: "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.
- [3] John Woodhouse, **Asset Management**, The Woodhouse Partnership Ltd
- [4] CIGRÉ Working Group A2-18, Publication 227: **LIFE MANAGEMENT TECHNIQUES FOR POWER TRANSFORMER**, 2003.
- [5] CIGRÉ Working Group 12-09 on Thermal Aspects: **LIFETIME EVALUATION OF TRANSFORMERS**, *Electra*, No. 150, Oct. 1993, pp 39-52.
- [6] W. Williams, M. Jones, S. Anderson, **Managing Critical Power Transformer Assets**, *Electric Energy*, 1160 Levis, Suite 100, Terrebonne, QC Canada J6W 5S6 Issue 6, Vol.16, November i December 2012, Terrebonne, QC Canada.
- [7] M. Wang, A.J. Vandermaar, K.D. Srivastava, **Review of Condition Assessment of Power Transformers in Service**, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 18, No. 6, November/December 2002.

- [8] Saša Milić, Nidžo Miladinović "Daljinski monitoring temperature u elektroenergetskim sistemima", Meunarodni naučno-stručni simpozijum Informatičke tehnologije - Infoteh 2009, zbornik radova, Vol. 8, Ref. D-11, strane 333-336, Jahorina, Republika Srpska, mart 2009.
- [9] William H. Bartley, "Failure Analysis of Transformer", IMIA WGP 33, International Association of Engineering Insurers, 36th Annual Conference ó Stockholm, 2003
- [10] Tapan K. Saha, "Review of Modern Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers", IEEE Transactions on Dielectric and Electrical Insulation, Vol. 10, No. 5, pp. 903-917, 2003

THE UP-TO-DATE MEASUREMENT METHODS FOR AM, DIAGNOSTICS AND MAINTENANCE OF POWER TRANSFORMERS

SAŠA D. MILIĆ*, DENIS M. ILIĆ, JELENA Č. PONOČKO
ELECTRICAL ENGINEERING INSTITUTE „NIKOLA TESLA”, UNIVERSITY OF
BELGRADE

BELGRADE

SERBIA

Abstract — This paper presents a series of modern measurement and diagnostic methods applied to power transformers. In the review of measurement methods the main attention was paid to their applications in order to analyze the advantages and disadvantages of particular methods and their applications in terms of integration and promotion of the concept of asset management (AM) in terms of power transformers. The benefit of the application of new measuring method is reflected in the improvement of maintenance, the transition from the old concept of maintenance per periodicals on new concepts by condition. This allows faster and more efficient assessment and diagnostic conditions and lifetime evaluation of power transformers. A large number of on-line, off-line and in-situ methods allow the measurement and analysis of a large number of processing real time parameters of power transformers in real exploitation in power plants. The process of deregulation of the electricity market is a decades-long trend in developed countries. The role of AM is important in terms of management of the generation, transmission and distribution, as well as in the introduction of new market players, all with the aim of reducing the price of electricity, raising the reliability of generation and transmission and creating conditions for equal competition in the market operations. New measurement methods in conjunction with the AM concept aim to reduce maintenance costs and provide a more accurate assessment of power transformers as the most expensive components in a wide range of power equipment.

Keywords - Measurement and diagnostic methods, asset management (AM), power transformers

* Elektrotehnički institut Nikola Tesla, 11000 Beograd, Koste Glavinića 8a, s-milic@ieent.org, denis.ilic@ieent.org