

Određivanje optimalnih godina preventivnog održavanja energetskog transformatora pomoću genetičkog algoritma

Determination of the optimal years for preventive maintenance of a power transformer using a genetic algorithm

Biljana Trivić*, Jelisaveta Krstivojević**

* Agencija za energetiku Republike Srbije, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet Beograd

** Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet Beograd

Apstrakt - Da bi se povećala efikasnost opreme koja se koristi u elektroenergetskim sistemima, produžio njen životni vek i smanjili troškovi uzrokovani kvarovima potrebno je periodično vršiti radove na njenom održavanju. Kvarovi opreme mogu nastati usled raznih razloga kao što su npr. njena starost, neadekvatno održavanje ili rukovanje, vremenski uslovi, spoljašnji faktori itd. Za svaki element elektroenergetskog sistema unapred su definisane godine u kojima se vrši preventivno održavanje manjeg obima i definisano je šta svako od ovih periodičnih održavanja obuhvata. U ovom radu za analizu je izabran jedan energetski transformator snage 63MVA i prenosnog odnosa 110/35/10 kV/kV/kV. Pretpostavljeno je da se održavanja manjeg obima vrše po unapred utvrđenoj određenoj dinamici koja, osim što su unapred definisana za svaki tip opreme, određena su i preporukama i zahtevima kompanija koji su vlasnici opreme. Sa druge strane, pretpostavljeno je da se održavanje većeg obima vrši jednom u pet do deset godina. U radu će biti prikazan jedan od načina za određivanje optimalnih godina preventivnih održavanja većeg obima. Nakon što se definišu svi potrebni parametri i podaci, biće izvršeni proračuni na osnovu kojih će se za analizirani energetski transformator odrediti u kojim godinama tokom njegovog životnog veka je potrebno odraditi preventivno održavanje većeg obima tako da troškovi rada i održavanja tog energetskog transformatora budu minimalni. Pored određivanja konkretnih godina preventivnog održavanja, biće izračunati troškovi rada i održavanja analiziranog energetskog transformatora i biće određene konkretne vrednosti pokazatelja pouzdanosti tokom njegovog životnog veka. Za dobijanje optimalnih godina održavanja biće korišćena metoda optimizacije pomoću genetičkog algoritma korišćenjem MATLAB programa.

Gljučne reči - kvar, održavanje, optimizacija, pouzdanost, troškovi

Abstract- In order to increase the efficiency of the equipment used in the power systems, prolong its service life and reduce the costs caused by failures, it is necessary to perform maintenance works periodically. Equipment failures can occur due to various reasons such as e. age, inadequate maintenance or handling, weather conditions, external factors, etc. For each element of the power system, the years in which the preventive maintenance of a smaller volume is performed are defined in advance, and it is defined what each of these periodic maintenance includes. In this paper, one 63MVA power transformer with 110/35/10 kV/kV/kV transmission ratio was selected for analysis. It is assumed that maintenance of a smaller volume is performed according to a predetermined dynamics which, in addition to being predefined for each type of equipment, are also determined by the recommendations and requirements of the companies that own the equipment. On the other hand, it is assumed that the maintenance of a larger volume is done once in five to ten years. The paper will present one way to determine the optimal years of preventive maintenance of a larger volume. After determination of all necessary parameters and data, the calculations will be performed. For the analyzed power transformer will be determined in which specific years of its life cycle it is necessary to carry out the maintenance of the power transformer so that the costs will be minimal. In addition to determining the specific years of preventive maintenance, the operating and maintenance costs of the analyzed power transformer will be calculated. Also, the specific values of reliability indicators during its life cycle will be determined. To obtain all these results the genetic algorithm method and MATLAB program will be used.

Keywords – costs, failure, maintenance, optimization, reliability

I. UVOD

Trošenje i starenje opreme koja se koristi u elektroenergetskim sistemima je normalna pojava koja počinje da se dešava odmah nakon njene ugradnje. Stoga je potrebno redovno proveravati stanje i istrošenost opreme jer ukoliko se ovo ne radi može doći do iznenadnih kvarova ili nepravilnosti u radu, koje mogu da izazovu razne neželjene posledice. Provera stanja opreme vrši se periodično, a pored same provere potrebno je vršiti i određene radove na održavanju opreme da bi se povećala njena efikasnost, produžio njen životni vek i smanjili troškovi uzrokovani kvarovima. Kvarovi mogu da nastanu iz različitih razloga kao npr. starenje opreme (habanje, slabljenje izolacije, korozija, zamor materijala i sl.), neadekvatno održavanje ili rukovanje, povećana naprezanja, vremenski uslovi i različiti spoljašnji faktori. Nekada nije moguće izvršiti popravku elementa. Tada se vrši zamena celog elementa ili njegovih delova. Pri tome se povećavaju troškovi usled nabavke i zamene neispravnog elementa, a dodatno se prave i troškovi izazvani zastojima ili poremećajima u radu zbog obavljanja poslova zamene i/ili popravke [1].

Redovnim održavanjem elektroenergetske opreme produžava se njen životni vek, a takođe se i obezbeđuje tehnička ispravnost opreme. Pored toga, smanjuju se i ukupni troškovi rada tog elementa.

U radu je prikazan način za određivanje optimalnih godina preventivnih održavanja većeg obima energetskog transformatora, koji se bazira na pokazateljima pouzdanosti u kombinaciji sa ekonomskim parametrima. Radni vek transformatora započinje njegovim puštanjem u rad nakon što se instalira u transformatorskoj stanici. Optimizacijom održavanja obezbeđuje se potrebna raspoloživost i pouzdanost transformatora tokom njegovog životnog veka uz minimalne troškove. Danas se primenjuje više tehnika (preventivnog) održavanja među kojima su najzastupljeniji: održavanje prema unapred definisanim intervalima (*Time Based Maintenance*) i održavanje u zavisnosti od stanja opreme (*Condition Based Maintenance*) [2].

Za dobijanje optimalnog rešenja korišćena je metoda optimizacije pomoću genetičkog algoritma korišćenjem MATLAB programa.

II. TEORIJSKA OSNOVA

2.1 Održavanje elektroenergetske opreme

Održavanje zavisi od mnogih činilaca, kao što su planiranje rada i održavanja, nabavka opreme i delova opreme, raspoloživa novčana sredstva itd. Oblast održavanja opreme je uređena kako zakonima, normativima, standardima, preporukama proizvođača opreme, tako i internom tehničkom regulativom firme koje se bave održavanjem. Zadovoljenjem propisanih uslova ne garantuje se optimalnost troškova. Pored primene zakonske regulative, preporuka proizvođača opreme i iskustava iz prakse, pojedine firme donose svoje interne dokumente za održavanje - interna tehnička regulativa [1].

Održavanje opreme može da se podeli na korektivno i preventivno [1].

Korektivno održavanje je ono održavanje koje se vrši nakon što se desi kvar. Ova vrsta održavanja ima kao glavni nedostatak veoma velike troškove koji obuhvataju troškove popravke kvara i troškove nastale zbog neisporučene električne energije koja je uzrokovana kvarom.

Preventivno održavanje je ono održavanje kod kojeg se radovi vrše pre nego što dođe do kvara, a cilj je da se kvar izbegne ili odloži kao i da se umanje posledice kvara. Kod preventivnog održavanja vrši se isključivanje opreme koja se održava, što takođe donosi određene troškove ali ovi troškovi su manji od onih koji bi nastupili usled iznenadnog kvara kod kojeg se isključivanje vrši planski po unapred određenim vremenskim intervalima. Za svaki element elektroenergetskog sistema unapred su definisani vremenski intervali (meseci, godine) u kojima se vrši preventivno održavanje i definisano je šta svako od ovih periodičnih održavanja podrazumeva. Za određivanje ovih vremenskih intervala koriste se podaci o stanju opreme, uslovima rada opreme, starosti, pouzdanosti, kao i preporuke proizvođača opreme. Preventivnim održavanjem opreme postiže se bolja pouzdanost, ali ovo održavanje donosi velike troškove. Sa druge strane, kvarovi koji se iznenada dešavaju na opremi koja se koristi u elektroenergetskim sistemima mogu da izazovu velike neželjene posledice, pa tako i da stvore velike troškove koji su često mnogo veći od troškova preventivnog održavanja. Iz navedenog proističe da postoji potreba za preventivnim održavanjem ali potrebno je pronaći optimalno rešenje kada da bi bilo najbolje da se preventivno održavanje obavi i to sa uslovom da troškovi održavanja budu manji od troškova koji bi nastali usled kvara kada se ne bi vršilo preventivno održavanje. Preventivna održavanja podrazumevaju održavanja manjeg obima u koja spadaju redovna ispitivanja i provere opreme što je za energetske transformatore definisano u [3].

Pored navedenih vrsta održavanja postoji i **investiciono održavanje** koje podrazumeva zahvate većeg obima u cilju povećanja pouzdanosti i poboljšanja uslova korišćenja objekta u toku eksploatacije [1]. Održavanja većeg obima (investiciona održavanja) se vrše na svakih pet do deset godina u toku celog životnog veka elektroenergetskog elementa. Investiciono održavanje može da obuhvati radove zamene opreme, izvođenja građevinsko-zanatskih radova, rekonstrukcije dalekovodnih i spojnih polja transformatorskih stanica, ugradnju savremenih uređaja kao npr. uređaj za *online* praćenje gasova kvara i sadržaja vode u izolacionom ulju ili ugradnja daljinskog upravljanja transformatorskim stanicama iz dispečerskog centra i sl. [4], [5]. Vremenski intervali u kojima se vrše ove aktivnosti nisu unapred određeni nekim pravilnicima i standardima već vlasnik ove opreme sam procenjuje kada bi bilo najbolje da se odradi investiciono održavanje, a pri tome koristi parametre kao što su stanje opreme, uslovi rada opreme, starost, pouzdanost i dr.

2.2 Promena intenziteta otkaza u toku radnog veka

Promena intenziteta otkaza nekog elektroenergetskog elementa sa dužinom trajanja tog elementa može se, za ceo njegov životni vek, predstaviti koristanom krivom kao što je prikazano na slici 1.

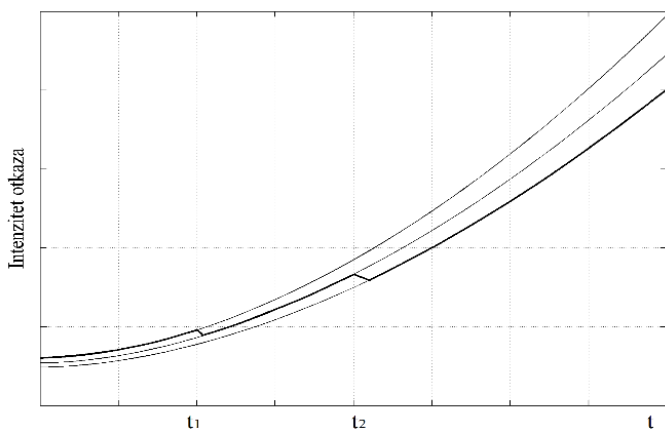


Slika 1. Promena intenziteta otkaza u toku radnog veka elementa

Tokom celog radnog veka nekog elektroenergetskog elementa mogu se uočiti tri faze. Prva faza je period nakon puštanja elementa u rad. U ovoj fazi su izraženi kvarovi izazvani konstrukcijom elementa, montažom, transportom i pogrešnim rukovanjem. U ovom periodu intenzitet otkaza je velik. Nakon prve faze sledi druga faza u kojoj se smanjuje intenzitet otkaza i postaje približno konstantan u toku dugog perioda. U toku druge faze, koja traje veći deo životnog veka elementa, dolazi do njegovog trošenja i starenja. U momentu kada intenzitet otkaza počinje da raste prelazi se u treću fazu u kojoj je intenzitet otkaza u stalnom porastu [6].

Na slici 1 takođe je prikazano kako redovno održavanje utiče na smanjenje intenziteta otkaza tokom sve tri faze njegovog radnog veka.

Na slici 2 prikazano kako se intenzitet otkaza jednog elementa smanjuje nakon što se izvrši redovno održavanje (u prikazanom primeru održavanje je izvršeno u godinama t_1 i t_2).



Slika 2 Promena intenziteta otkaza nakon izvršenog održavanja

III. ULAZNI PODACI I KRITERIJUMSKA FUNKCIJA

U ovom radu je određivanje optimalnih godina preventivnog održavanja većeg obima vršeno za jedan energetske transformator naznačene snage 63MVA i prenosnog odnosa 110/35/10 kV/kV/kV.

Osnovni ulazni podaci koji su korišćeni u proračunima su [7]:

1. Ukupni troškovi energetskeg transformatora, kao i pojedinačni troškovi od kojih se formiraju ukupni troškovi, a to su:
 - inicijalni troškovi nabavke energetskeg transformatora,
 - troškovi rada energetskeg transformatora,
 - troškovi redovnog održavanja,
 - troškovi popravke kvarova i
 - troškovi povlačenja iz rada.
2. Funkcija koja opisuje intenzitet otkaza energetskeg transformatora u funkciji vremena.
3. Funkcija koja daje vezu između ukupnih troškova ovog energetskeg transformatora, godina u kojima se vrši preventivno održavanje i podataka o pouzdanosti za taj energetske transformator.
4. Životni vek energetskeg transformatora.
5. Diskontna stopa – predstavlja stopa u procentima sa kojom se budući novac svodi na sadašnji novac.

Pretpostavke koje su korišćene prilikom izvršavanja proračuna:

1. Ukupni troškovi energetskeg transformatora tokom njegovog životnog veka sastoje se od prethodno navedenih pojedinačnih troškova. Od svih navedenih troškova samo troškovi redovnog održavanja i troškovi popravke kvarova nisu fiksni, dok su ostali troškovi u većini slučajeva konstantni tokom životnog veka energetskeg transformatora. Zbog toga ukupni troškovi energetskeg transformatora najviše variraju zbog troškova redovnog održavanja i troškova popravke kvarova [7].

Iz prethodno navedenog zaključuje se da u slučaju kada se želi postići smanjenje ukupnih troškova energetskeg transformatora potrebno je raditi na smanjenju troškova redovnog održavanja i troškova popravke kvarova jer se smanjenje ostalih troškova teško može postići zbog njihove nepromenljivosti.

2. Za inicijalne troškove nabavke ovog energetskeg transformatora usvojena je vrednost od 756 000 € do koje se došlo na osnovu tržišnih cena nabavke energetskeg transformatora u Republici Srbiji [8].
3. Za troškove rada energetskeg transformatora usvojena je vrednost od 80 000 €, što iznosi oko 10-15 % od nabavne cene ovog energetskeg transformatora [8].
4. Za trošak preventivnih održavanja većeg obima pretpostavljeno je da je isti za svako preventivno

održavanje većeg obima. Uzeta je vrednost od 10 000 € do koje se došlo na osnovu podataka o troškovima preventivnog održavanja većeg obima za ovaj tip energetskeg transformatora u Republici Srbiji.

5. U troškove kvarova ulaze troškovi popravke kvara i troškovi nastali zbog neisporučene električne energije koja je uzrokovana kvarom. Za proračun izvršen u ovom radu u obzir je uzeta samo prva komponenta. Troškovi nastali zbog neisporučene električne energije nisu uzeti u obzir jer se u važećoj zakonskoj regulativi u Republici Srbiji ovi troškovi ne isplaćuju potrošačima, pa ne postoje dostupni podaci o ovim troškovima. Pretpostavljeno je da je trošak kvarova isti za svaki kvar. Uzeta je vrednost od 30 000 € do koje se došlo na osnovu podataka o troškovima kvarova za ovaj tip energetskeg transformatora u Republici Srbiji.
6. Za troškove povlačenja iz rada ovog energetskeg transformatora uzeta je vrednost od 80 000 €. Do ove vrednosti se došlo na osnovu podataka o troškovima demontaže, konzervacije ili rashodovanja demontiranog energetskeg transformatora za koje je utvrđeno da iznose od 10-15% od cene nabavke energetskeg transformatora u Republici Srbiji [9].

Kriterijumska funkcija koju je potrebno minimizovati, odnosno čiju minimalnu vrednost tražimo, a koja daje vezu između troškova energetskeg transformatora, godina u kojima se vrši preventivno održavanje opreme i podataka o intenzitetu otkaza ovog energetskeg transformatora predstavljena je formulom (1) [7]:

$$f(t) = \sum_{m=1}^N C_M \cdot \left(\frac{1}{1+r_d} \right)^{t_m} + \sum_{t=T_0}^{T_a} C_F \cdot \lambda(t) \cdot \left(\frac{1}{1+r_d} \right)^t \quad (1)$$

gde su:

N – broj preventivnih održavanja,

C_M – trošak jednog preventivnog održavanja,

r_d – diskontna stopa,

t_m – godina u kojoj se vrši preventivno održavanje,

T_0 – godina od koje se posmatra rad energetskeg transformatora,

T_a – životni vek energetskeg transformatora i

λ – intenzitet otkaza energetskeg transformatora.

Intenzitet otkaza energetskeg transformatora za ovaj primer definisan je mešavinom eksponencijalne i Vejbulove raspodele. Formula za proračun pouzdanosti koja se koristi u tom slučaju je (2) [6]:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \frac{\beta}{\alpha^\beta} t^{\beta-1} \quad (2)$$

gde su:

β – parametar koji određuje oblik krive gustine raspodele,

α – parametar koji određuje razmeru krive gustine raspodele,

λ_0 – početna vrednost intenziteta otkaza.

IV. METODOLOGIJA PRORAČUNA

Nakon definisanja svih potrebnih podataka, pretpostavki i funkcija, koji su opisani u prethodnom poglavlju, potrebno je naći minimum funkcije koja daje vezu između troškova preventivnog održavanja i troškova kvarova energetskeg transformatora, godina u kojima se vrši preventivno održavanje energetskeg transformatora i podataka o intenzitetu otkaza tog energetskeg transformatora. U ovom radu optimizacija je izvršena primenom metode genetičkog algoritma korišćenjem MATLAB programa. U funkciji koja se minimizuje (1) upravljачke promenljive (nepoznate) su godine održavanja. Pomoću genetičkog algoritma dobiju se vrednosti za ove nepoznate pri kojima funkcija (1) ima minimalnu vrednost [10]. Izabrani kriterijum za zaustavljanje proračuna je postizanje konvergencije. Za godinu od koje se posmatra rad energetskeg transformatora (T_0) uzeta je deseta godina. Za životni vek energetskeg transformatora uzimane su vrednosti od 30 do 40 godina i na taj način se za različite godine životnog veka ovog energetskeg transformatora dobiju optimalne godine održavanja. Za svaku izabranu godinu životnog veka izvršeno je više proračuna da bi se dobila minimalna vrednost kriterijumske funkcije. Primenjen je uslov za zaustavljanje proračuna koji podrazumeva dostizanje konvergencije rešenja, odnosno program se zaustavlja kada se dostigne optimalno rešenje posle kojeg nema više promene vrednosti funkcije.

Za broj preventivnih održavanja pretpostavljeno je da za posmatrani period, koji traje od desete godine rada energetskeg transformatora do kraja njegovog životnog veka, uradi ukupno tri preventivna održavanja i to tako da se radi jedno preventivno održavanje većeg obima na svakih pet do deset godina [5].

Pre izvršavanja optimizacije bilo je potrebno odrediti podatke za intenzitet otkaza ovog energetskeg transformatora koji je predstavljen funkcijom (2).

Za početnu vrednost intenziteta otkaza (λ_0) usvojena je vrednost 0,02 otkaza u godini. Vrednosti za parametre α i β određene su proizvoljno ali tako da zadovoljavaju ograničenja $1 \leq \alpha \leq 50$ i $1 \leq \beta \leq 4$ [11], a da pri tom granične vrednosti intenziteta otkaza ovog energetskeg transformatora budu $0,02 \leq \lambda \leq 0,09$ otkaza u jednoj godini. Usvojene vrednosti su $\alpha = 44.65643$ i $\beta = 3.8779$.

Ostala usvojena ograničenja:

- t_{m1} – godina prvog preventivnog održavanja; usvojene vrednosti su $11 \leq t_{m1} \leq 15$;

- t_{m2} - godina drugog preventivnog održavanja; usvojene vrednosti su $16 \leq t_{m2} \leq 25$;
- t_{m3} - godina trećeg preventivnog održavanja; usvojene vrednosti su $26 \leq t_{m3} \leq 37$;
- razlika između dva preventivna održavanja mora da bude veća od pet godina.

Diskontna stopa za ovaj proračun je uzeta od 3%.

Pretpostavljeno je da se nakon svakog preventivnog održavanja smanjuje intenzitet otkaza za 10%.

V. REZULTATI PRORAČUNA

U Tabeli 1 su prikazani: optimalne godine održavanja, troškovi održavanja i ukupni troškovi rada dobijeni primenom optimizacije za različite godine životnog veka analiziranog energetskog transformatora. U genetičkom algoritmu upravljačke promenljive (nepoznate) su godine održavanja energetskog transformatora.

Tabela 1. Rezultati dobijeni pomoću optimizacije

Godina života	t_m (godina)	Troškovi održavanja (€)	Ukupni trošak rada (€)
30	14, 22, 28	25004	941004
31	15, 24, 29	25006	941006
32	15, 24, 29	25109	941109
33	14, 25, 31	25416	941416
34	15, 25, 32	26081	942081
35	15, 24, 33	26430	942430
36	15, 22, 34	26719	942719
37	15, 24, 35	27099	943099
38	15, 25, 36	27669	943669
39	13, 25, 35	28106	944106
40	15, 25, 37	28641	944641

Da bi rezultati koji su dobijeni pomoću optimizacije mogli da se verifikuju izvršeni su i proračuni troškova gde su godine održavanja unapred određene. Rezultati koji su dobijeni za različite godine životnog veka ovog energetskog transformatora sa unapred izabranim godinama održavanja prikazani su u sledećoj tabeli.

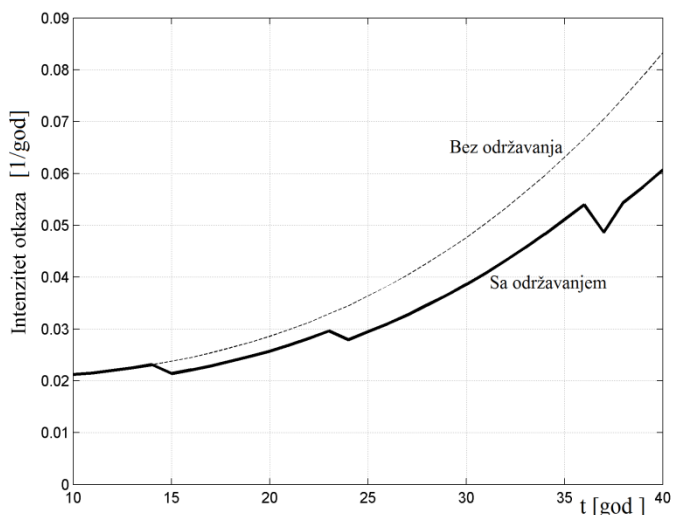
Poređenjem rezultata koji su dobijeni primenom optimizacije sa rezultatima koji su dobijeni za unapred odrađene godine održavanja, može se uočiti da se za sve analizirane godine životnog veka energetskog transformatora dobijaju manji troškovi kada se koristi metoda za određivanje optimalnih godina održavanja.

Tabela 2. Rezultati sa unapred određenim godinama održavanja

Godina života	t_m (godina)	Troškovi održavanja (€)	Ukupni trošak rada (€)
30	10, 20, 30	25899	941899

31	10, 20, 30	26340	942340
32	10, 20, 30	26792	942792
33	10, 20, 30	27258	943258
34	10, 20, 30	27735	943735
35	10, 20, 30	28225	944225
36	10, 20, 30	28728	944728
37	10, 20, 30	29245	945245
38	10, 20, 30	29775	945775
39	10, 20, 30	30320	946320
40	10, 20, 30	30878	946878

U slučaju kada je životni vek ovog transformatora 40 godina urađeno je poređenje intenziteta otkaza bez održavanja i intenziteta otkaza sa održavanjem u godinama koje su dobijene primenom metode predstavljene u ovom radu, što je prikazano na slici 3 za period od godine T_0 do kraja životnog veka ovog energetskog transformatora. Na slici se može uočiti, kao što je i očekivano, da se nakon svakog održavanja vrednost intenziteta otkaza smanjuje.



Slika 3. Intenzitet otkaza analiziranog energetskog transformatora

VI. ZAKLJUČAK

U ovom radu predloženo je korišćenje metode optimizacije pomoću genetičkog algoritma za određivanje optimalnih godina održavanja jednog energetskog transformatora. Analiza je izvršena za različite godine životnog veka energetskog transformatora. U proračunu je uzeto u obzir da se intenzitet otkaza tog energetskog transformatora smanjuje za 10% nakon svakog izvršenog održavanja.

U radu su upoređeni rezultati dobijeni pomoću optimizacije i rezultata dobijeni za unapred odrađene godine održavanja. Na osnovu izvršenog poređenja može se videti da se za sve analizirane godine životnog veka ovog energetskog transformatora dobijaju manji troškovi kada se koristi metoda optimizacije.

Sve ovo dovodi do zaključka da se primenom metode koja je prikazana u ovom radu mogu smanjiti ukupni troškovi rada, u posmatranom slučaju jednog energetskog transformatora.

Prikazana metoda je može primeniti i na bilo koji drugi element elektroenergetskog sistema.

U budućem radu prikazana metoda za određivanje optimalnih godina održavanja se može unaprediti tako što će biti korišćeni podaci o stanju energetskog transformatora prikupljeni na terenu, kao i istorijski podaci rada i održavanja energetskog transformatora.

LITERATURA

- [1] Priručnik za održavanje visokonaponske opreme, dr Radoje Radetić, 2017;
- [2] CIGRE – Working Group A2.34 “Guide for transformer maintenance”, 2011 – Published in 2011
- [3] Tehnička preporuka br. 15 obim i učestanost radova na održavanju elektroenergetskih objekata, EPS Distribucija doo Beograd;
- [4] Godišnji tehnički izveštaj EMS AD, 2019,
- [5] Plan razvoja prenosnog sistema električne energije za period 2019-2028, EMS AD, 2019;
- [6] Pouzdanost sistema za distribuciju električne energije, Jovan Nahman, Vladica Mijailović;
- [7] Fuzzy Age Reduction Based Optimal Maintenance Decision for In-service Power Equipment, Xing Chen, Yiqun Song, Jingfei Yang;
- [8] Tehničko uputstvo za budžetsku procenu ulaganja u investicione VN postrojenja i VN vodova, EMS AD, 2019;
- [9] MV transformer replacement decision, European Cooper Institute, 2017; <https://www.slideshare.net/sustenergy/mv-transformer-replacement-decisions>
- [10] Metode optimizacije - Primena u elektroenergetici, Aleksandar Savić, Darko Šošić, Goran Dobrić, Mileta Žarković;
- [11] IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems;

AUTORI

Prvi autor – Biljana Trivić, diplomirani inženjer elektrotehnike, Agencija za energetiku Republike Srbije, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultete Beograd, biljana.trivic@aers.rs

Drugi autor – Jelisaveta Krstivojević, docent, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet Beograd, j.krstivojevic@etf.rs