

Mr.sc. Krešimir Tačković, dipl.ing.
HEP – ODS Elektroslavonija Osijek
kresimir.tackovic@hep.hr

Dr.sc. Ivica Petrović, dipl.ing.
HOPS Prijenosno područje Osijek
ivica.petrovic@hops.hr

Doc.dr.sc. Hrvoje Glavaš
Elektrotehnički fakultet Osijek
Hrvoje.glavas@etfos.hr

ENERGETSKA UČINKOVITOST TRANSFORMATORA

SAŽETAK

Rad daje pregled postojećih transformatora jednog distribucijskog područja "Elektroslavonije" Osijek, s osvrtom na uvođenje energetski učinkovitijih transformatora. Prikazani su postojeći gubici u mreži te analizirana moguća ušteda u slučaju ulaganja u nove energetski učinkovitije transformatore.

Ključne riječi: energetska učinkovitost, transformatori, gubici transformatora

ENERGY EFFICIENCY OF TRANSFORMERS

SUMMARY

The paper provides an overview of currently installed transformers in "Elektroslavonija" Osijek distribution area, with emphasis on the implementation of energy-efficient transformers. Existing transformers losses are analyzed and prediction of potential savings in the case of investments in new energy-efficient transformers is made.

Keywords: energy efficiency, transformers, transformer losses

1. UVOD

Analizom postojećeg stanja jednog distribucijskog područja „Elektroslavonije“ Osijek koja prostorno obuhvaća oko 4.150 km² uočava se velik broj instaliranih jedinica koje značajno doprinose ukupnim gubicima u mreži.

Zadaća rada je analizirati postojeće stanje instaliranih transformatora te pronaći rješenje smanjenja gubitaka.

Prateći razvojne programe Europske unije dolazi se do razvojne strategije primjene energetske učinkovitijih transformatora. Cilj ovih programa je promicanje korištenja energetske učinkovitijih transformatora čime se pridonosi uštedi energije, te pridonosi ispunjenju ciljeva energetske politike Europske unije.

Energetski učinkovitiji transformatori mogu značajno doprinijeti uštedi energije ukoliko se uoči postojeća problematika, promovira njihovo uvođenje, te podrži sa zakonskom regulativom. Energetski učinkovitiji transformator ima niže energetske gubitke, manje operative troškove nego današnji prosječni transformator. Jednako tako veći su mu početni troškovi prilikom nabave, ali u konačnici manji troškovi gubitaka tijekom životnog vijeka transformatora.

Iako u Europskoj uniji ne postoji obavezni jedinstveni standard za energetske učinkovitost distribucijskih transformatora oni podliježu pod direktivu energetske učinkovitosti Commission Directive 2012/27/EU on energy efficiency, a u hrvatskom zakonodavstvu pod Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji NN 152/08 i Zakon o tržištu električne energije NN 22/13.

2. RAZVOJ DISTRIBUCIJSKIH TRANSFORMATORA

Prikaz aktualne situacije razvoja učinkovitih transformatora osnova su za prijedlog smjernica za odabir novih jedinica u procesu zamjene postojećih transformatora energetske učinkovitijim.

Transformator kao jedan od najstarijih elemenata elektroenergetskog sustava dolazi pod povećalo pod kojim se analiziraju svi elementi koji dovode do povećanja energetske učinkovitosti. Analiza obuhvaća gubitke praznog hoda u obliku gubitaka petlje histereze, vrtložnih struja, lutajućih struja i dielektričnih gubitaka. Druga skupina gubitaka koja se odnosi na gubitke vezene uz opterećenje, kao i gubitke uslijed harmonijskog izobličenja i reaktivne snage analizirani su na teoretskoj razini.

Zadatak rada je prikazati raspoložive mogućnosti povećanja energetske učinkovitosti distribucijskih transformatora uzimajući u obzir životnu dob instaliranih jedinica i njihovo brojčano stanje.

Razmatrani su mogući pristupi rješenju ovih problema kroz postepenu zamjenu starih transformatora sa najvećim gubicima novim, te dinamika u moguća ulaganja uzimajući u obzir troškove gubitaka.

Trošak gubitaka očituje se kroz godišnje energetske gubitke, trošak životnog ciklusa i proizvodnu cijenu transformatora. Rad osim prikaza prosječne životne dobi distribucijskih transformatora daje udjele uljnih i suhih transformatora na promatranom području.

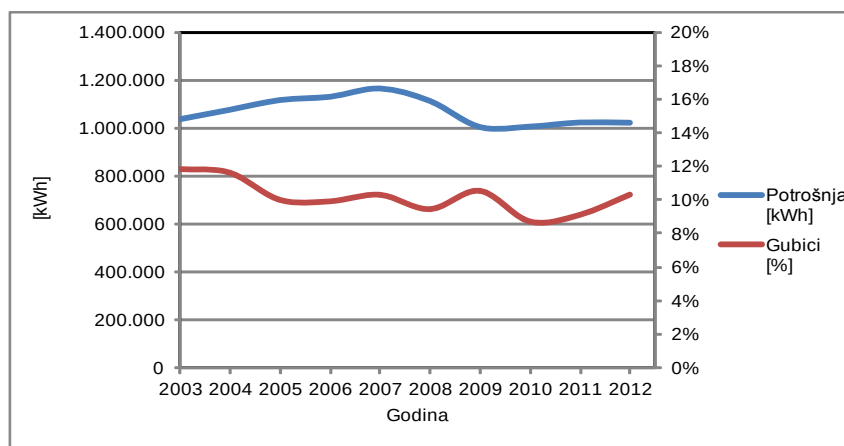
2.1. Postojeće stanje

U desetogodišnjem razdoblju 2002.-2012. godine u promatranom području zabilježen je oscilirajući trend opterećenja, prema tablici I. Potrošnja u prvih 6 godina promatranog razdoblja od 2002. do 2007 u promatranom području rasla je skokovito, a zatim usporeno.

Gubici u promatranom razdoblju kretali su se između 9 % i 12 %. Na slici 1 vidljivo je gotovo konstantno smanjivanje gubitaka u promatranom razdoblju što je rezultat konstantnih ulaganja u sanaciju postojeće distribucijske mreže povećanjem presjeka vodiča, te pojačanom aktivnošću na smanjenju ne tehničkih gubitaka.

Tablica I. Opterećenje i gubici desetogodišnjeg razdoblja

Godina	Potrošnja [kWh]	Gubici [kWh]	Gubici [%]	Godišnja promjena potrošnje
2002	1.022.926	116.205	11%	Razdoblje
2003	1.035.854	122.586	12%	Promjena potrošnje [%]
2004	1.074.592	124.942	12%	2003/2002
2005	1.114.664	111.639	10%	2004/2003
2006	1.128.105	112.003	10%	2005/2004
2007	1.162.446	119.953	10%	2006/2005
2008	1.111.191	105.103	9%	2007/2006
2009	1.003.448	105.927	11%	2008/2007
2010	1.005.238	87.746	9%	2009/2008
2011	1.022.335	93.288	9%	2010/2009
2012	1.021.116	105.416	10%	2011/2010
				2012/2011

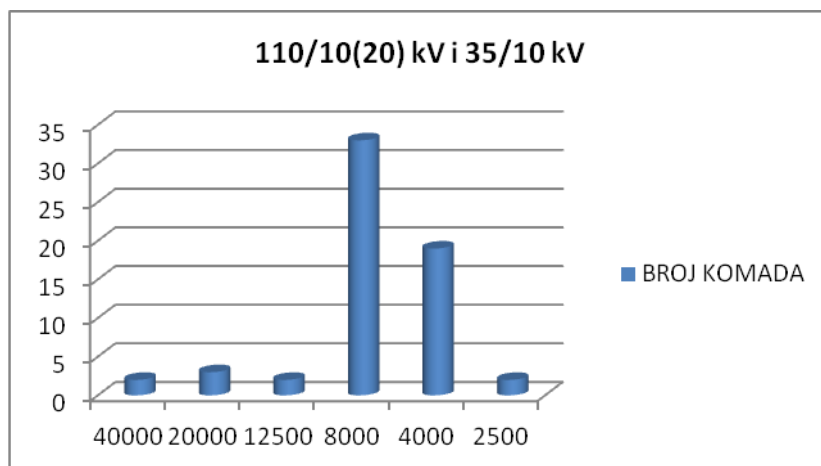


Slika 1. Dijagram opterećenja i gubitaka desetogodišnjeg razdoblja

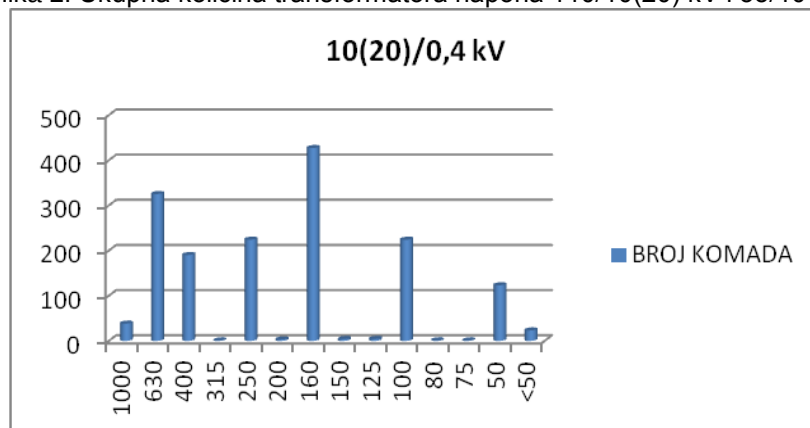
Značajan doprinos smanjenju gubitaka osim navedenog svakako je i odabir energetske učinkovitijih transformatora koji će biti profitabilni u budućim investicijama. Energetski učinkovitiji transformatori mogu imati znatan doprinos u politici uštede energije, te smanjenju gubitaka.

Energetski učinkovitiji transformatori imaju oko 50% smanjene gubitke i značajno smanjuju troškove od prosječno instaliranih transformatora danas. Energetski učinkovitiji transformatori imaju smanjene ukupne troškove cijelog vremena eksploatacije (životne dobi) unatoč višoj početnoj cijeni, te su budući troškovi u njihovoj životnoj dobi smanjeni.

Broj distribucijskih transformatora u razmatranom području „Elektroslavonije“ Osijek iznosi 1649, prema slikama 2 i 3.

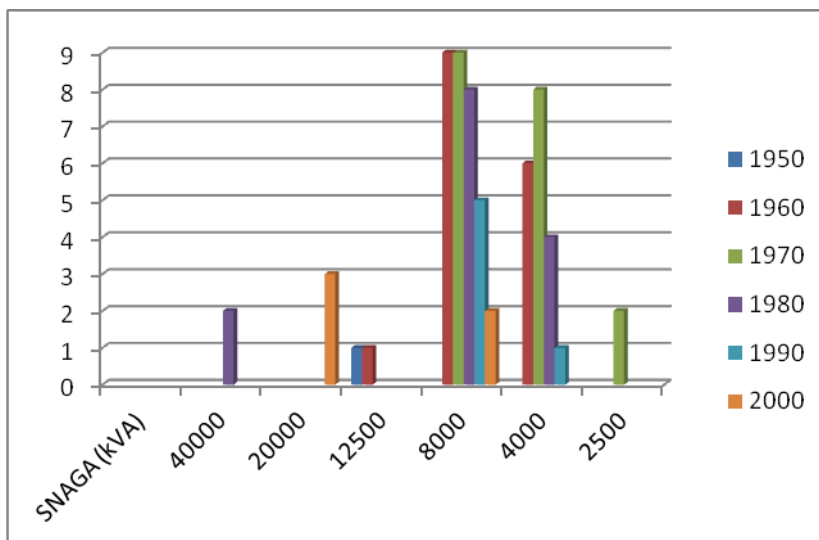


Slika 2. Ukupna količina transformatora napona 110/10(20) kV i 35/10 kV

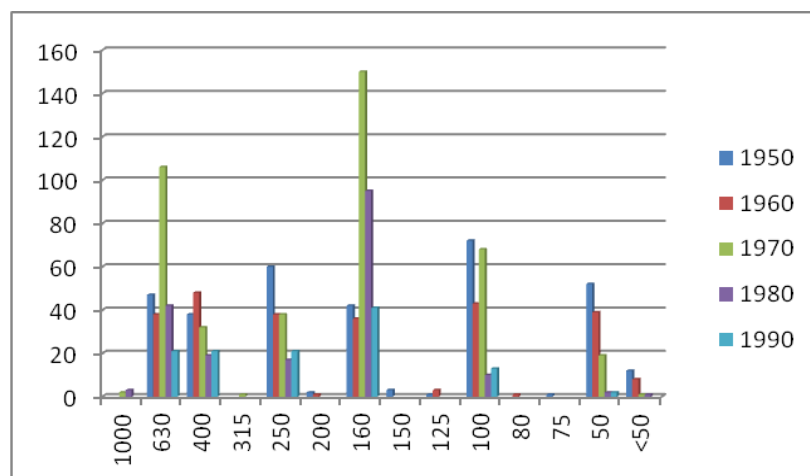


Slika 3. Ukupna količina transformatora napona 10(20)/0,4 kV

Prosječna snaga većine transformatora je između 630 i 160 kVA. Najvećim dijelom to su uljni transformatori. Broj suhih energetske transformatora je zanemariv. Velik broj tih transformatora je podopterećen, što pridonosi povećanju tehničkih gubitaka.



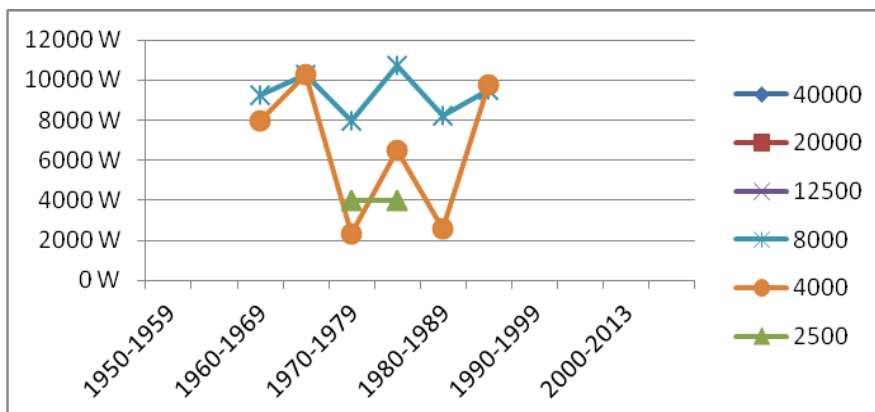
Slika 4. Starosna dob transformatora 110/10(20) kV i 35/10 kV



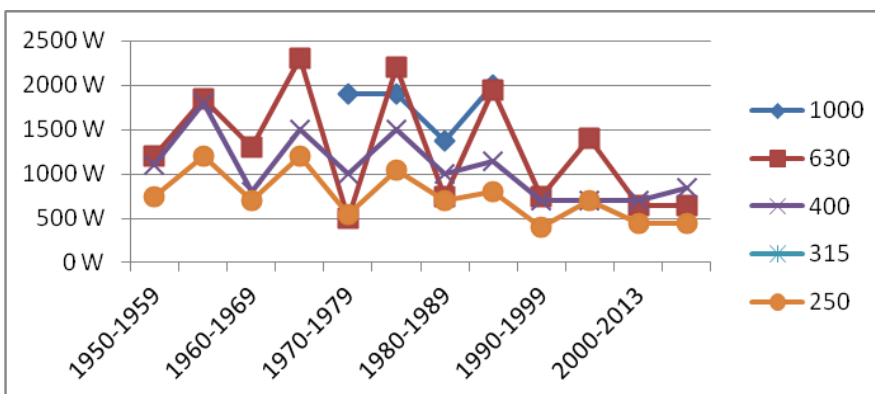
Slika 5. Starosna dob transformatora 10(20)/0,4 kV

Najstariji transformator je iz 1947. godine proizvođača GRESHAM snage 50 kVA, 10/0,4 kV. Novokupljeni primjerci imaju veće nazivne snage, od čega udio manji od 50% spada u kategoriju male snage.

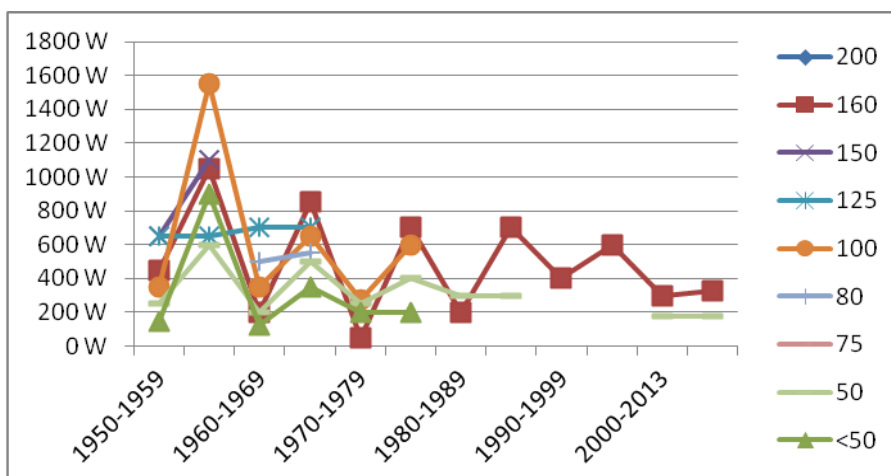
Svi transformatori su analizirani u pogledu gubitaka, gdje su podijeljeni po godištim (po deset godina za jednu grupu) u kojoj se promatraju gubici praznog hoda, kao i gubici kratkog spoja. Raspon gubitaka praznog hoda distribucijskih transformatora dan je u slijedećim slikama: 6, 7 i 8.



Slika 6. Raspon gubitaka praznog hoda transformatora prema godištim snage 2500 kVA do 40000 kVA



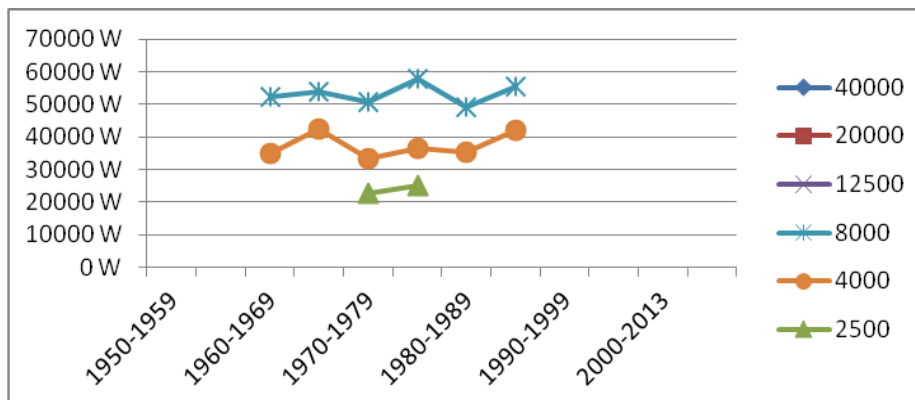
Slika 7. Raspon gubitaka praznog hoda transformatora prema godištim snage 250 kVA do 1000 kVA



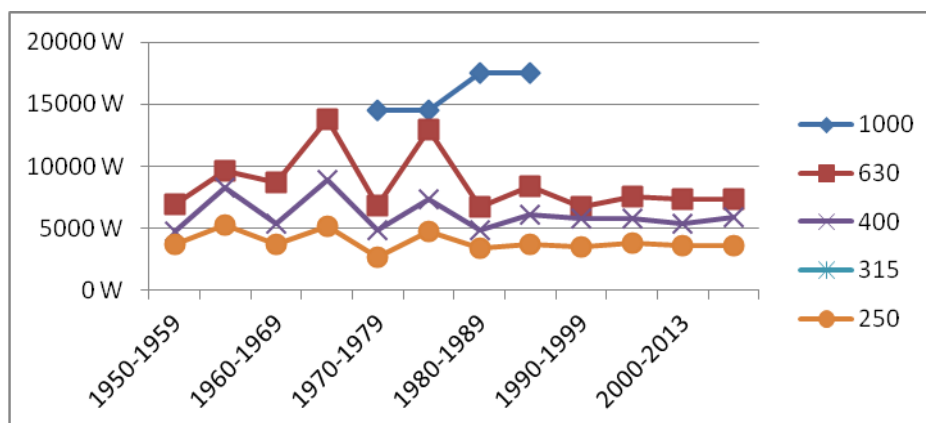
Slika 8. Raspon gubitaka praznog hoda transformatora prema godištim snage 50 kVA do 200 kVA

Iz slika 6, 7 i 8 daje se uočiti da se gubici praznog hoda smanjuju proporcionalno sa razvojem novih materijala od kojih je jezgra izgrađena. Silicijski čelik ima mnogo manju histerezu od običnog čelika. Danas se gubici histereze mogu smanjiti obradom materijala, kao što je hladno valjanje, tretiranje laserom ili orjentiranjem čestica. Udio gubitaka histereze bio je veći u prošlosti zbog većeg udjela gubitaka nastalih uslijed vrtložnih struja, osobito u relativno debelim i laserski ne tretiranim lamelama jezgre.

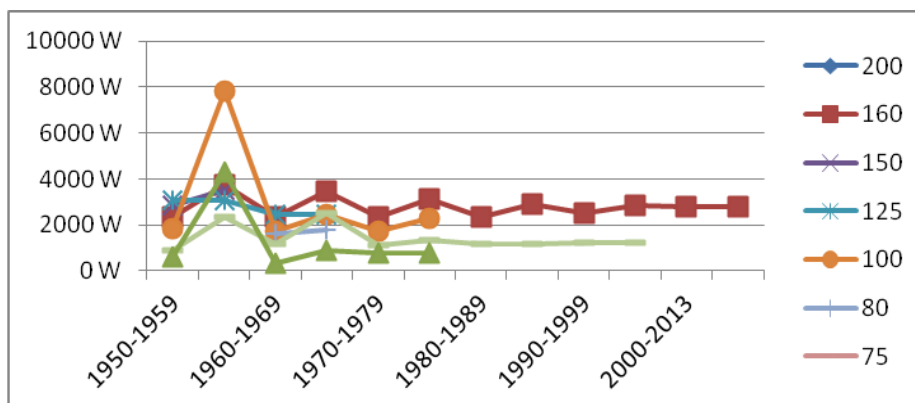
Osim navedenih gubitaka analizirani su i gubici kratkog spoja na svim transformatorima, prema njihovim godištim. Slike 9, 10 i 11 prikazuju gubitke kratkog spoja.



Slika 9. Raspon gubitaka kratkog spoja transf. prema godištim snage 2500 kVA do 40000 kVA



Slika 10. Raspon gubitaka kratkog spoja transformatora prema godištim snage 250 kVA do 1000 kVA



Slika 11. Raspon gubitaka kratkog spoja transformatora prema godištim snage 50 kVA do 200 kVA

Gubici kratkog spoja ili gubici u bakru prilično su ujednačeni budući su uzrokovani otporom vodiča. Većina ovih gubitaka povećava se sa kvadratom struje i proporcionalna je otporu namota. Mogu se smanjiti povećanjem presjeka vodiča ili smanjenjem dužine namota. Korištenje bakra kao vodiča predstavlja kompromis između težine, veličine, cijene i otpora. Smanjenje ovih gubitaka moguće bi bilo sa dodavanjem većih količina bakra čime bi se povećao promjer vodiča, ali u okviru konstrukcijskih zahtjeva.

2.2. Učinkovitost transformatora

2.2.1. Tradicionalni transformatori

Prema obavljenim istraživanjima tijekom zadnjih 40 godina gubici opterećenja su smanjeni između 30 % i 50 %. Aluminijski vodiči zamijenjeni su sa bakrenim vodičima zbog nižeg otpora i veće vlačne čvrstoće. Konstrukcija vodiča je također napredovala sa uvođenjem kontinuirano izokrenutih vodiča kod većih jedinica, 2500 kVA, 4000 kVA, 8000 kVA i dr. (gdje je vodič podijeljen na nekoliko ravni pod-vodiča koji su međusobno kontinuirano izokretani), što smanjuje gubitke zbog vrtložnih struja i omogućuje veću gustoću namatanja.

Zbog poboljšane konstrukcije vodiča i unaprijeđene izolacije namotaji su postali tanji, te mogu podnijeti rad na višim temperaturama i imaju veću dielektričnu čvrstoću. Smanjeni su gubici kratkog spoja zbog poboljšanog odvođenja topline i povećane površine vodiča. Gubici u praznom hodu u zadnjih 40 godina smanjili su se radi napuštanja izrade čelika vrućim valjanjem sa hladno valjanim čelikom, čime su potaknuta mnoga poboljšanja u materijalima koja su dovela do razvoja silikatnog čelika s niskim gubicima.

Lasersko rezanje lamela smanjilo je nesavršenosti obrade, poboljšalo izolaciju između lamela i smanjilo gubitke u praznom hodu. Lamele su također stanjene do 0,1 mm (obično između 0,2 i 0,3 mm), dodatno smanjujući gubitke praznog hoda.

2.2.2. Supravodljivi transformatori

U supravodljivim transformatorima namotaji, napravljeni od visokotemperaturnog supravodljivog materijala (HTS), hlađeni su tekućim dušikom na otprilike 77°K (-196,15°C) tako da je otpor praktički zanemariv. Gubici pod opterećenjem, čak i s uračunatim gubicima obrade dušika, mogu biti smanjeni za 50 %.

Ovi transformatori imaju manju težinu i obujam i otporniji su na preopterećenje, ali im je cijena oko 150 % do 200 % cijene običnih transformatora. U primjenama gdje je potrebno smanjiti težinu primjena ovih transformatora nije prikladna, budući se njihovim smanjivanjem smanjuje njihova efikasnost.

HTS transformatori su prikladni samo u primjenama gdje gubici pod opterećenjem čine velik dio ukupnih gubitaka, ali nisu još spremni za opću upotrebu.

2.2.3. Amorfni transformatori

Amorfne slitine razlikuju se od običnih kristalnih slitina u svojim magnetskim i mehaničkim svojstvima, kao što su tvrdoća i čvrstoća. Udio amorfno-jezgrenih transformatora na svjetskom tržištu je oko 5 % tržišnog udjela, ali se u europskom tržištu još ne pojavljuju. Europsko tržište amornih transformatora tek je u začetku.

Iz perspektive troškova proizvodnje, amorfni transformatori imaju nešto višu ili gotovo jednaku cijenu kao i visoko učinkoviti tradicionalni transformatori.

2.3. Izračun isplativosti

Kod izračuna isplativosti zamjene postojećih transformatora energetski učinkovitijim potrebno je odrediti godišnje energetske troškove transformatora, prema (1):

$$W_{Loss} = (P_0 + P_K \cdot L^2) \cdot 8760 \text{ h} \quad [kWh] \quad (1)$$

gdje su:

W_{Loss} – godišnji gubici energije u kWh
 P_0 – gubici praznog hoda u kWh

- P_K - gubici opterećenja u kWh
 L - srednje opterećenje transformatora
 8760 - broj sati u godini.

Za izračunavanje cijene troškova gubitaka, gubici moraju biti sagledani prema trenutku kupovine da bi se mogli staviti u istu perspektivu sa kupovnom cijenom. Time je potrebno izračunati ukupne kapitalizirane troškove gubitaka TCC_{Loss} prema slijedećem izrazu (2):

$$TCC_{Loss} = W_{Loss} \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \cdot C \cdot 8760 \quad (2)$$

gdje je:

- C – procijenjena prosječna cijena po kWh u svakoj godini
 i – procijenjena kamatna stopa
 n – procijenjeni životni vijek transformatora.

Da bi se provela ekonomska analiza transformatora, potrebno je izračunati troškove životnog vijeka, koji se nazivaju i ukupnim troškom posjedovanja (TCO) ili drugim riječima kapitalizirane troškove transformatora. Ovi izrazi znače da se jednoj formuli izračunava trošak kupovine, korištenja i održavanja transformatora, te se uspoređuju uzimajući u obzir vremensku promjenjivost vrijednosti novca.

To znači da neka suma danas ima veću vrijednost, nego ista ta suma u nekom budućem vremenu. U praksi se može napraviti pojednostavljenje. Iako svaki transformator ima različitu kupovnu cijenu i faktore gubitka, drugi troškovi, kao što su instalacija, održavanje i demontiranje, biti će slični za slične tehnologije, tako da oni mogu biti izostavljeni iz proračuna. Ovi se elementi uzimaju u obzir samo kada se radi o različitim vrstama tehnologija, npr. suhi i uljni transformatori. Uzevši u proračun samo kupovnu cijenu i troškove gubitaka, cjelokupni trošak posjedovanja može biti izračunat prema (3):

$$TCO = PP + A \cdot P_o + B \cdot P_K \quad (3)$$

gdje je:

- PP – kupovna cijena transformatora
 A – cijena gubitka u praznom hodu, po wattu
 P_o – gubici praznog hoda
 B – cijena gubitka pod opterećenjem, po wattu
 P_K – gubici kratkog spoja

P_o i P_K su vrijednosti povezane sa specifikacijama transformatora. A i B ovise o očekivanom opterećenju transformatora i cijenama električne energije. Izbor A i B faktora je kompliciran, obzirom da ovise o očekivanom opterećenju koje je često nepoznato, i cijenama energije koje su promjenjive, kao i o kamatnim stopama i predviđenom ekonomičnom radnom vijeku. Ako se opterećenje poveća tijekom vremena, stopa rasta mora biti poznata ili procijenjena, a promjenjive cijene energije tijekom radnog vijeka transformatora moraju biti predviđene.

Slijedi relativno jednostavna metoda za određivanje A i B faktora za distribucijske transformatore.

A i B faktori se izračunavaju kako slijedi:

$$A = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \cdot C_{kWh} \cdot 8760 \quad (4)$$

$$B = \frac{((1+i)^n) - 1}{i(1+i)^n} \cdot C_{kWh} \cdot 8760 \cdot \left(\frac{I_l}{I_r}\right)^2 \quad (5)$$

gdje su:

- i – kamatna stopa [%/godini]
 n – radni vijek [godina]
 C_{kWh} – cijena kWh [kn/kWh]

- 8760 – broj sati u godini
 I_l – struja opterećenja
 I_r – nazivna struja

Ove formule pretpostavljaju da su cijene energije i opterećenje konstantni tijekom radnog vijeka transformatora.

Za izračun isplativosti zamjene postojećih transformatora energetski učinkovitijim obrađena su dva specifična tipa transformatora koji imaju velik udio u promatranom skupu transformatora. Prvi je snage 160 kVA kojih na promatranom području ima 427 te čine 13 % instalirane snage, a drugi je snage 630 kVA kojih na promatranom području ima 325 te čine 40 % instalirane snage distribucijskog područja.

2.3.1. Isplativost zamjene transformatora 160 kVA energetski učinkovitijim transformatorom

Godišnji gubici W_{Loss} transformatora 160 kVA, napona 10/0,4 kV računaju se prema (1). Kod njihova izračuna potrebno je uzeti u obzir raspodjelu gubitaka transformatora, prema slikama 8 i 11. Za procjenu gubitaka praznog hoda uzeli su se u obzir transformatori 50-og i 60-og godišta. To su transformatori stari 50 i 60 godina, koji su odavno nadživjeli svoj životni vijek. Raspon gubitaka praznog hoda kretao se od $P_{Fe\ min} = 200\ W$ do $P_{Fe\ max} = 1050\ W$. Za izračun je uzeta prosječna vrijednost gubitaka praznog hoda na cijelom skupu podataka iznosa $P_{Fe} = 586\ W$. Raspon gubitaka kratkog spoja kretao se od $P_{Cu\ min} = 2352\ W$ do $P_{Cu\ max} = 3756\ W$. Za izračun je uzeta prosječna vrijednost gubitaka kratkog spoja iz skupa podataka u iznosu $P_{Cu} = 2879\ W$.

$$W_{Loss} = 9169\ kWh$$

Ukupni kapitalizirani troškovi gubitaka TCC_{Loss} navedenog transformatora uz kamatu $i = 6\ %$, procijenjeni životni vijek $n = 30$ godina i prosječnu cijenu energije $C_{kWh} = 0,5\ kn/kWh$ računa se prema (2):

$$TCC_{Loss} = 63.107,00\ kn$$

Ukupne troškove posjedovanja TCO računaju se prema (3), uz jednaku kamatnu stopu, kao kod računanja ukupnih kapitaliziranih troškova, $i = 6\ %$, procijenjeni životni vijek $n = 30$ godina i prosječnu cijenu energije $C_{kWh} = 0,5\ kn/kWh$.

Početni uvjeti za ukupne troškove posjedovanja su slijedeći:

$PP = 38.130\ kn$ (kupovna cijena transformatora)

$P_o = 300\ W$ (gubici praznog hoda novog transformatora)

$P_k = 2350\ W$ (gubici kratkog spoja novog transformatora).

Gubici praznog hoda novog transformatora, prema [1] izabrani su iz C_o grupe, a gubici kratkog spoja izabrani su iz grupe C_k .

$$TCO = 42.781,00\ kn$$

Ušteda zamjene starog transformatora snage 160 kVA sa energetski učinkovitijim za razdoblje od 30 godina iznosi

$$\Delta = TCC_{Loss} - TCO = 20.326,00\ kn$$

Kako je ranije navedeno razmatrali su se transformatori 50-og godišta kojih za zamjenu ima 42 komada i 60-og godišta kojih za zamjenu ima 36 komada. Ukupno je to 78 jedinica koje bi se mogle postepeno zamijeniti novim energetski učinkovitijim.

2.3.2. Isplativost zamjene transformatora 630 kVA energetski učinkovitijim transformatorom

Godišnji gubici W_{Loss} transformatora 630 kVA, napona 10/0,4 kV računaju se jednako kao u prethodnom primjeru. Kod njihova izračuna potrebno je uzeti u obzir raspodjelu gubitaka transformatora, prema slikama 7 i 10. Za procjenu gubitaka praznog hoda uzeti su u obzir transformatori 50-og, 60-og, 70-og i 80-og godišta radi podjednakih iznosa gubitaka. To su transformatori stari od 30 do 59 godina.

Raspon gubitaka praznog hoda kretao se od $P_{Fe\ min} = 500\ W$ do $P_{Fe\ max} = 6250\ W$. Za izračun je uzeta prosječna vrijednost gubitaka praznog hoda na cijelom skupu podataka iznosa $P_{Fe} = 1599\ W$. Raspon gubitaka kratkog spoja kretao se od $P_{Cu\ min} = 1877\ W$ do $P_{Cu\ max} = 13.785\ W$. Za izračun je uzeta prosječna vrijednost gubitaka kratkog spoja iz skupa podataka u iznosu $P_{Cu} = 8428\ W$.

Godišnji gubici ovih transformatora su:

$$W_{Loss} = 25.820\ kWh$$

ukupni kapitalizirani troškovi gubitaka TCC_{Loss} navedenog transformatora uz kamatu $i = 6\%$, procijenjeni životni vijek $n = 30$ godina i prosječnu cijenu energije $C_{kWh} = 0,5\ kn/kWh$ računa se prema (2):

$$TCC_{Loss} = 177.709,00\ kn$$

Ukupni troškovi posjedovanja TCO računaju se prema (3), kod računanja ukupnih kapitaliziranih troškova, uz jednaku kamatnu stopu $i = 6\%$, procijenjeni životni vijek $n = 30$ godina i prosječnu cijenu energije $C_{kWh} = 0,5\ kn/kWh$.

Početni uvjeti za ukupne troškove posjedovanja su:

PP = 74.725,00 kn (kupovna cijena transformatora)

PO = 860 W (gubici praznog hoda novog transformatora)

PK = 6500 W (gubici kratkog spoja novog transformatora).

$$TCO = 87.798,00\ kn$$

Ušteda zamjene jednog starog transformatora snage 630 kVA sa energetski učinkovitijim za razdoblje od 30 godina iznosi

$$\Delta = TCC_{Loss} - TCO = 89.911,00\ kn$$

Za ovaj izračun uzeti su u obzir transformatori 50-og godišta kojih je za zamjenu 47 komada, 60-og godišta kojih je za zamjenu 38 komada, 70-og godišta kojih je za zamjenu 106 komada i 80-og godišta kojih je za zamjenu 42 komada. Ukupno je to 233 jedinica koje bi se mogle zamijeniti novim energetski učinkovitijim transformatorom.

3. ZAKLJUČAK

Analizom strukture velikog boja transformatora jednog distribucijskog područja "Elektroslavonije" mogu se iskazati energetski iznosi gubitaka. Klasifikacijom i filtriranjem podataka o transformatorima potrebno je izdvojiti sve one jedinice koje ne zadovoljavaju u pogledu traženih zahtjeva, te ih postepeno zamijeniti sa novima. Novi transformatori u ovom slučaju podrazumijevaju tehnička rješenja koja se trenutno mogu nabaviti na tržištu, a da su energetski učinkoviti.

Na konkretnim primjerima izračuna isplativosti zamjene starih jedinica sa novima vidljivo je da uštede opravdavaju investiciju zamjene. Osim za dva navedena primjera isplativosti zamjene transformatora moguće je napraviti i cjelokupan izračun isplativosti svih starih jedinica sa novima. Takav izračun bi bio osnova tehno-ekonomske analize iz koje bi proizašao iznos potrebnog ulaganja kako bi se mogao planirati način i dinamika financiranja.

Uvođenje novih tehnologija je imperativ energetske učinkovitosti. Ulaganje u energetske učinkovite transformatore znači smanjenje energetske gubitaka, smanjenje uticaja na okoliš, smanjenje operativnih troškova, produženje radnog vijeka transformatora i povećanje indikatora energetske učinkovitosti.

5. LITERATURA

- [1] HEP "Elektroslavonija" - Data on operations
- [2] CSN EN 50464-1 - Three-phase oil-immersed distribution transformers 50 Hz, from 50 kVA to 2 500 kVA with highest voltage for equipment not exceeding 36 kV - Part 1: General requirements,
- [3] CENELEC HD428/HD538
- [4] SEEDT – Strategies for development and diffusion of Energy Efficient Distribution Transformers, June 2008.
- [5] Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products, Official Journal of the European Union, 2009.