

Krunoslav Pongračić
Končar – Distributivni i specijalni transformatori
krunoslav.pongrasic@koncar-dst.hr

Dominik Trstoglavec
Končar – Distributivni i specijalni transformatori
dominik.trstoglavec@koncar-dst.hr

Josip Kralj
Končar – Distributivni i specijalni transformatori
josip.kralj@koncar-dst.hr

Martina Mikulić
Končar – Distributivni i specijalni transformatori
martina.mikulic@koncar-dst.hr

EKOLOŠKI DIZAJN DISTRIBUTIVNIH TRANSFORMATORA PREMA UREDBI KOMISIJE (EU) BR. 548/2014 I EUROPSKOJ NORMI HRN EN 50588-1:2017

SAŽETAK

U radu je predstavljena Uredba Komisije (EU) br. 548/2014 o provedbi Direktive 2009/125/EZ Europskog parlamenta i Vijeća koja propisuje minimalne zahtjeve za energetske učinkovitosti za male, srednje i velike energetske transformatore te novo izdanje europske norme HRN EN 50588-1:2017 „Trofazni transformatori srednjeg napona, 50Hz, najvećeg napona opreme do 36kV – 1. dio: Opći zahtjevi“.

Ciljevi ekološkog dizajna proizvoda uključuju poboljšanje energetske učinkovitosti i općenito usklađivanje sa zahtjevima zaštite okoliša, smanjujući emisiju CO₂. Uredbom Komisije (EU) br. 548/2014 koja je stupila na snagu 11.06.2014. definirane su maksimalne vrijednosti gubitaka u dvije razine:

- Razina 1.: nakon 1. srpnja 2015.
- Razina 2.: nakon 1. srpnja 2021.

Ključne riječi: Uredba Komisije (EU) br.548/2014, ekološki dizajn, HRN EN 50588-1:2017

ECODESIGN OF DISTRIBUTION TRANSFORMERS ACCORDING TO COMMISSION REGULATION (EU) NO 548/2014 AND EUROPEAN STANDARD EN 50588-1:2017

SUMMARY

In this paper Commission Regulation (EU) No 548/2014 is presented, which implements Directive 2009/125/EZ of the European Parliament and the Council laying down minimum requirements for energy efficiency for medium and large power transformers, and the last edition of the european standard HRN EN 50588-1:2017 „Medium power transformers 50Hz, with highest voltage for equipment not exceeding 36kV – Part 1: General requirements“.

The objectives of ecodesign of products include improving energy efficiency and generally comply with the requirements of enviromental protection by reducing CO₂ emissions. Commission Regulation (EU) No 548/2014, which entered into force on 11.06.2014., defines the maximum losses in two levels:

- Tier 1: after 1st July 2015.
- Tier 2: after 1st July 2021.

Keywords: Commission Regulation (EU) No 548/2014, ecodesign, HRN EN 50588-1:2017

1. UVOD

Transformatori su uređaji elektroenergetskog sustava koji imaju veliku korisnost, ali uzmemo li u obzir ukupan broj transformatora u mreži, relativno dug životni vijek transformatora (oko 40 godina) te ukupnu količinu transformirane energije, tada i malo povećanje korisnosti transformatora može rezultirati značajnim uštedama električne energije, a time i smanjenjem emisije CO₂.

Europska unija objavila je 21. listopada 2009. direktivu 2009/125/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o uspostavi okvira za utvrđivanje zahtjeva za ekološki dizajn proizvoda koji koriste energiju. U svibnju 2014. objavljena je Uredba Komisije br. 548/2014 o provedbi Direktive 2009/125/EZ Europskog parlamenta i Europskog vijeća koja propisuje minimalne zahtjeve za energetske učinkovitošću za srednje i velike energetske transformatore punjene uljem, kao i za suhe transformatore.

Uredbom se utvrđuju zahtjevi za ekološki dizajn transformatora najniže snage 1 kVA koji se koriste u prijenosu i distribuciji električne energije ili za industrijske primjene. Uredba je stupila na snagu 11. lipnja 2014. i odnosi se na transformatore kupljene nakon tog datuma i stavljene na tržište EU ili puštene u uporabu unutar EU nakon 1. srpnja 2015.

U listopadu 2017. objavljeno je novo izdanje europske norme HRN EN 50588-1:2017 „Trofazni transformatori srednjeg napona, 50Hz, najvećeg napona opreme do 36kV – 1. dio: Opći zahtjevi“. Norma HRN EN 50588-1 zamjenjuje norme HRN EN 50464-1:208 i HRN EN 50541-1:2011 i u skladu je sa zahtjevima Uredbe.

2. EKOLOŠKI DIZAJN TRANSFORMATORA

Cilj ekološkog dizajna transformatora je povećanje energetske učinkovitosti i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš kroz smanjenje emisije CO₂. Da bi se to postiglo, ekološki dizajn transformatora ograničava dozvoljene vrijednosti gubitaka u transformatorima. Za transformatore snage ≤ 3150 kVA propisane su najveće dozvoljene vrijednosti gubitaka tereta i gubitaka praznog hoda, dok su za transformatore snage > 3150 kVA propisani najniži indeksi vršne učinkovitosti (eng. Peak Efficiency Index, PEI). U ovom članku je obrađen ekološki dizajn distributivnih transformatora snage ≤ 3150 kVA.

U tablici I. navedeni su maksimalni dozvoljeni gubici praznog hoda (P₀) i maksimalni dozvoljeni gubici tereta (P_k) trofaznih uljnih distributivnih transformatora s jednim namotom napona U_m ≤ 24 kV i drugim namotom napona U_m ≤ 1 kV. Transformatori s ostalim kombinacijama napona te transformatori s dvostrukim naponom na jednom namotu imaju najviše dopuštene gubitke prema tablici II.

Na garantirane gubitke transformatora prema ekološkom dizajnu više se ne primjenjuju tehničke tolerancije navedene u normi IEC 60076-1, tj. tolerancija na garantirane gubitke je 0%.

Uredbom su propisani najveći dozvoljeni gubici praznog hoda i kratkog spoja u dvije razine:

- Razina 1.: nakon 1. srpnja 2015.
- Razina 2.: nakon 1. srpnja 2021.

U Razini 1. navedeni su maksimalno dozvoljeni gubici praznog hoda i kratkog spoja za transformatore snage ≤ 3150 kVA, a koji se stavljaju na tržište ili puštaju u uporabu unutar EU nakon 1. srpnja 2015. U Razini 2. navedeni su maksimalni dozvoljeni gubici praznog hoda i kratkog spoja za transformatore koji se stavljaju na tržište ili puštaju u uporabu unutar EU nakon 1. srpnja 2021.[1]

Tablica I. Maksimalni gubici tereta i praznog hoda trofaznih uljnih distributivnih transformatora s jednim namotom napona U_m ≤ 24 kV i drugim namotom napona U_m ≤ 1 kV [1],[2]

Nazivna snaga [kVA]	Razina 1. (od 1. srpnja 2015.)				Razina 2. (od 1. srpnja 2021.)			
	Maksimalni gubici praznog hoda P ₀		Maksimalni gubici tereta P _k		Maksimalni gubici praznog hoda P ₀		Maksimalni gubici tereta P _k	
	GRUPA	[W]	GRUPA	[W]	GRUPA	[W]	GRUPA	[W]
≤ 25	Ao	70	Ck	900	AAo	63	Ak	600
50	Ao	90	Ck	1100	AAo	81	Ak	750
100	Ao	145	Ck	1750	AAo	130	Ak	1250

160	Ao	210	Ck	2350	AAo	189	Ak	1750
250	Ao	300	Ck	3250	AAo	270	Ak	2350
315	Ao	360	Ck	3900	AAo	324	Ak	2800
400	Ao	430	Ck	4600	AAo	387	Ak	3250
500	Ao	510	Ck	5500	AAo	459	Ak	3900
630	Ao	600	Ck	6500	AAo	540	Ak	4600
800	Ao	650	Ck	8400	AAo	585	Ak	6000
1000	Ao	770	Ck	10500	AAo	693	Ak	7600
1250	Ao	950	Bk	11000	AAo	855	Ak	9500
1600	Ao	1200	Bk	14000	AAo	1080	Ak	12000
2000	Ao	1450	Bk	18000	AAo	1305	Ak	15000
2500	Ao	1750	Bk	22000	AAo	1575	Ak	18500
3150	Ao	2200	Bk	27500	AAo	1980	Ak	23000

Kod transformatora čije su nazivne snage između navedenih u tablici I., najviši dozvoljeni gubici dobivaju se linearnom interpolacijom.

Tablica II. Ispravak gubitaka tereta i praznog hoda u slučaju ostalih kombinacija napona namota ili dvostrukog napona u jednom ili oba namota (nazivna snaga ≤ 3150 kVA) [1],[2]

Jedan namot napona $U_m \leq 24$ kV i drugi napona $U_m > 1.1$ kV	Najviši dozvoljeni gubici iz tablice 1 povećavaju se za 10% za gubitke praznog hoda i za 10% za gubitke tereta
Jedan namot napona $U_m \leq 36$ kV i drugi napona $U_m \leq 1.1$ kV	Najviši dozvoljeni gubici iz tablice 1 povećavaju se za 15% za gubitke praznog hoda i za 10% za gubitke tereta
Jedan namot napona $U_m \leq 36$ kV i drugi napona $U_m > 1.1$ kV	Najviši dozvoljeni gubici iz tablice 1 povećavaju se za 20% za gubitke praznog hoda i za 15% za gubitke tereta
Dvostruki napon na jednom namotu	U slučaju transformatora s jednim visokonaponskim namotom i dva dostupna napona s prespojivog niskonaponskog namota, gubici se računaju na temelju višeg napona niskonaponskog namota i u skladu su s najvišim dozvoljenim gubicima iz tablice I. Najviša dostupna snaga na nižem naponu niskonaponskog namota na takvim transformatorima ograničena je na 0.85 njegove nominalne nazivne snage određene za niskonaponski namot na njegovu višem naponu.
	U slučaju transformatora s jednim niskonaponskim namotom i dva dostupna napona s prespojivog visokonaponskog namota, gubici se računaju na temelju višeg napona visokonaponskog namota i u skladu su s najvišim dozvoljenim gubicima iz tablice I. Najviša dostupna snaga na nižem naponu niženaponskog namota na takvim transformatorima ograničena je na 0.85 njegove nominalne nazivne snage određene za niskonaponski namot na njegovu višem naponu.
	Ako je puna nominalna snaga dostupna bez obzira na kombinaciju napona, razine gubitaka navedene u tablici I. mogu se povisiti za 15% za gubitke praznog hoda i za 10% za gubitke tereta.
Dvostruki napon na oba namota	Najviši dozvoljeni gubici iz tablice I. mogu se povisiti za 20% za gubitke praznog hoda i za 20% za gubitke tereta za transformatore s dvostrukim naponom na oba namota. Razina gubitaka određena je za najvišu moguću nazivnu snagu na osnovi toga da je nazivna snaga ista bez obzira na kombinaciju napona.

Stupni transformatori su zbog vanjskih utjecaja osjetljiviji na kvarove. Zbog toga je u Europskoj Uniji tendencija njihove zamjene transformatorima smještenim u transformatorske stanice. Budući da se broj stupnih transformatora u zemljama EU smanjuje, njihov doprinos povećanju učinkovitosti također je sve manji [3].

Za razliku od transformatora u transformatorskim stanicama, stupni transformatori imaju strože zahtjeve u pogledu dimenzija i masa budući da je masa stupnog transformatora ograničena nosivošću stupa. Zamjena postojećih stupnih transformatora transformatorima sa sniženim gubicima vrlo često ne bi bila moguća jer smanjenje gubitaka zahtjeva povećanje mase i dimenzija transformatora. Zbog navedenih razloga, razine gubitaka tereta i praznog hoda navedene u tablici I. nisu primjenjive na stupne transformatore.

Europska norma HRN EN 50588-1:2017 propisuje da u kategoriju stupnih transformatora spadaju transformatori snage do 315kVA dizajnirani za vanjsku montažu na stup. Maksimalni gubici stupnih transformatora nalaze se u tablici III. Prema zahtjevima Uredbe gubici su podijeljeni u dvije razine.

Tablica III. Maksimalni gubici tereta i praznog hoda stupnih transformatora s ograničenjem mase.[1],[2]

Nazivna snaga [kVA]	Razina 1. (od 1. srpnja 2015.)				Razina 2. (od 1. srpnja 2021.)			
	Maksimalni gubici praznog hoda P_o		Maksimalni gubici tereta P_k		Maksimalni gubici praznog hoda P_o		Maksimalni gubici tereta P_k	
	GRUPA	[W]	GRUPA	[W]	GRUPA	[W]	GRUPA	[W]
≤ 25	Ao	70	Ck	900	Ao	70	Bk	725
50	Ao	90	Ck	1100	Ao	90	Bk	875
100	Ao	145	Ck	1750	Ao	145	Bk	1475
160	Co	300	Ck	3102 (Ck +32%)	Bo	270 (Co -10 %)	Bk	3102 (Ck +32%)
200	Co	356	Ck	2750	Bo	310	Bk	2333
250	Co	425	Ck	3250	Bo	360	Bk	2750
315	Co	520	Ck	3900	Bo	440	Bk	3250

Za stupne transformatore čije su nazivne snage između navedenih u tablici III., najviši dozvoljeni gubici dobivaju se linearnom interpolacijom.

Stupni transformatori smiju se postavljati samo na stup i moraju na sebi imati naznačen natpis: "Isključivo za uporabu na stupu".

2.1. Informacije o proizvodu

Za sve transformatore koji se stavljaju na tržište EU proizvođač osigurava i izjavljuje da proizvod udovoljava traženim zahtjevima za ekološki dizajn transformatora. Ocjena sukladnosti provodi se ispunjavanjem propisanih obaveza u pogledu prateće dokumentacije, proizvodnje te označavanja sukladnosti. Označavanje sukladnosti provodi se na način da se na natpisnu pločicu svakog transformatora stavlja oznaka CE te se također za svaki transformator izdaje i prilaže Izjava o sukladnosti.

Izjava o sukladnosti sadrži sljedeće podatke:

- Naziv i adresu proizvođača
- Opis proizvoda dovoljan za nedvojbenu identifikaciju
- Uredbe i Direktive EZ s kojima je proizvod u skladu
- Primjenjene usklađene norme
- Ime i potpis ovlaštene osobe


Dokumenti kojima se dokazuje sukladnost proizvoda:

- Tehnički podaci proizvoda

- Crtež natpisne pločice
- Ispitni list transformatora
- Izjava o sukladnosti

Prema normi HRN EN 50588-1:2017, natpisna pločica transformatora mora, uz dosadašnje podatke prema standardima IEC 60076-1 i IEC 60076-11, sadržavati i sljedeće:

- iznos gubitaka praznog hoda pri nazivnom naponu i frekvenciji
- iznos gubitaka tereta pri nazivnoj struji i frekvenciji
- oznaku grupe gubitaka praznog hoda i tereta
- kod transformatora s dvostrukim naponom natpisna pločica treba sadržavati najvišu nazivnu snagu na nižem naponu
- masu i materijal namota
- masu i tip limova jezgre
- kod stupnih transformatora potrebno je naznačiti natpis: "Isključivo za uporabu na stupu"
- CE oznaku – oznaka o sukladnosti proizvoda sa zahtjevima za ekološki dizajn transformatora

		KONČAR		
		D&ST		
Položaj	(20)	(10)		
①	+5%	21000	10500	
②	+2.5%	20500	10250	
③	Nazivni naponi	20000	10000	420 V
④	-2.5%	19500	9750	
⑤	-5%	19000	9500	
Nazivne struje		28.9	57.7	1375 A
Nazivne snage		1000	1000	1000 kVA
Stupanj izolacije		LI125 AC50	LI75 AC28	AC3
	U_k			%

TRANSFORMATOR			
Tip	6TBNO 1000-24x/AC		
Broj	DT1441- <input type="text"/> God. <input type="text"/>		
Standard	IEC 60076		
Frekv.	50 Hz	Hlađenje	ONAN
Br. faza	3	Spoj	Dyn5
Jezgra	GOES	806	kg
Vodič	Cu	546	kg
Ulje	KLASA 0	455	kg
Ukupna masa		2500	kg
P_0	A_0	770	W
P_k	C_k	10500	W

MADE IN CROATIA

Slika 1. Primjer natpisne pločice prema normi HRN EN 50588-1:2017

2.2. Postupak provjere

Uredbom je propisano da su za postupak provjere i nadzor tržišta zadužena tijela država članica. Postupak provjere provodi se na po jednom transformatoru od svakog tipa. Smatra se da je transformator u skladu sa zahtjevima Uredbe ako su ispunjeni zahtjevi glede maksimalnih dozvoljenih gubitaka navedeni u tablicama I., II. i III., te ako su zadovoljeni zahtjevi informacija o proizvodu. Budući da rezultati mjerenja gubitaka transformatora podliježu određenoj mjernoj nesigurnosti, a na to utječu kvaliteta ispitne stanice i mjerne opreme, vještina osoblja koje provodi ispitivanje i utjecaj mjenog objekta, prilikom kontrolnih mjerenja gubitaka mjerene vrijednosti gubitaka praznog hoda i gubitaka tereta mogu pojedinačno prelaziti do 5% garantirane vrijednosti gubitaka u tehničkoj dokumentaciji.

Ako se utvrdi da provjereni tip transformatora nije u skladu s Uredbom, nadležna tijela država članica osiguravaju sve relevantne informacije, uključujući po potrebi i rezultate ispitivanja, nadležnim tijelima ostalih država članica i Komisiji u roku od mjesec dana od donošenja odluke o neusklađenosti modela.

Zakon o energetskej učinkovitosti predviđa upravni i inspekcijski nadzor nad provedbom zahtjeva za ekološki dizajn transformatora. U slučaju kršenja zakona, predviđene su sankcije:

- Kazne u prekršajnom postupku (čl.41.Zakona o energetskej učinkovitosti)
- Provođenje mjera zabrana stavljanja na tržište, otklanjanje nesukladnosti, zabrana stavljanja na tržište i dr.,(čl.32.,34.st.5.,čl.35.Zakona o energetskej učinkovitosti)

3. AKTUALNI ZAHTJEVI EUROPSKIH ELEKTRODISTRIBUCIJA PO PITANJU GUBITAKA

Prije objavljivanja Uredbe Komisije (EU) br. 548/2014, većina europskih elektrodistribucija specificirala je maksimalne razine gubitaka koje su najčešće iznosile AoBk ili AoCk. Budući da su navedene razine gubitaka u skladu s minimalnim zahtjevima za energetske učinkovitošću koje propisuje Uredba, europske elektrodistribucije većinom i dalje koriste iste razine gubitaka. U tablici IV. navedene su razine gubitaka transformatora prema aktualnim zahtjevima u zemljama EU.

Tablica IV. Razine gubitaka u zemljama EU prema aktualnim zahtjevima

ZEMLJE	RAZINE GUBITAKA
Italija	AoCk
Mađarska	AoCk
Njemačka	AoBk; <AoBk
Cipar	AoBk
Češka	AoBk
Slovačka	AoBk
Mađarska	AoBk
Austrija	AoBk; <AoBk
Švedska	AoBk; <AoAk
Finska	<AoBk
Luksemburg	<AoAk
Danska	<AoAk

Pojedine elektrodistribucije zahtijevaju da proizvođač sam odredi razine gubitaka transformatora u skladu s ekodizajnom i u skladu sa zadanim cijenama gubitaka. U tom slučaju proizvođač optimira transformator prema najnižoj kapitaliziranoj cijeni. Kapitalizirana cijena transformatora sastoji se od dvije komponente: osnovne cijene transformatora i troškova eksploatacije transformatora za vrijeme njegove životne dobi, što se izražava sljedećom formulom:

$$CT = OCT + A \times Pk + B \times Po$$

gdje je:

- CT – kapitalizirana cijena transformatora [€]
- OCT – osnovna, tj. prodajna cijena transformatora [€]
- A – cijena gubitaka tereta [€/kW]
- Pk – gubici tereta [kW]
- B – cijena gubitaka praznog hoda [€/kW]
- Po – gubici praznog hoda [kW]

Više cijene gubitaka A i B znače višu osnovnu cijenu transformatora, ali i niže vrijednosti gubitaka P_k i P_o , a time i niže troškove eksploatacije. Izraz „ $A \times P_k + B \times P_o$ “ zapravo daje približnu ekvivalentnu sadašnju cijenu budućih troškova eksploatacije transformatora za cijelu njegovu životnu dob. Kapitalizacijske faktore A i B definira kupac, a oni ovise o kamatnoj stopi, životnoj dobi transformatora, cijeni kWh električne energije i opterećenju transformatora.[4] U europskoj praksi se cijena gubitaka tereta (A) kreće od 0.5 do 2.5 €/W, a cijena gubitaka praznog hoda (B) od 5 do 17 €/W.

4. PROMJENE U DIZAJNU DISTRIBUTIVNIH TRANSFORMATORA S GUBICIMA IZ RAZINE 2 U ODNOSU NA ONE IZ RAZINE 1

Proteklih godina Končar D&ST je projektirao i proizveo energetski efikasne trofazne uljne distributivne transformatore koji djelomično ili u potpunosti odgovaraju traženim zahtjevima za gubicima propisanim Razinom 2 Uredbe Komisije (EU) br. 548/2014. Smanjenje gubitaka tereta zahtjeva korištenje vodiča većeg presjeka (manja gustoća struje, veća masa vodiča) dok smanjenje gubitaka praznog hoda zahtjeva korištenje kvalitetnijih limova jezgre (manjih specifičnih gubitaka) i povećanje presjeka jezgre (manja magnetska indukcija, veća masa jezgre). Sve navedeno dovodi do povećanja dimenzija i masa transformatora, a samim time se povećava i početna cijena transformatora. Međutim važno je za napomenuti da se svi zahtjevi za gubicima propisani razinom 2, mogu provesti s trenutno dostupnim materijalima i projektnim znanjima i rješenjima. U tablici V. prikazana je razlika dimenzija i masa između transformatora Razine 1 i Razine 2 za tri tipična predstavnika različitih snaga.

Tablica V. Usporedba dizajna transformatora „Razine 1“ i „Razine 2“

Snaga [kVA]	RAZINA GUBITAKA	P_o [W]	P_k [W]	$Lw(A)$ dB(A)	DIMENZIJE I MASE					POVEĆANJE UKUPNE MASE
					DUŽINA [mm]	ŠIRINA [mm]	VISINA [mm]	MASA ULJA [kg]	UKUPNA MASA [kg]	
50	A_oC_k	90	1100	≤ 39	795	685	1175	105	400	30 %
	AA_oA_k	81	750	≤ 38	760	660	1300	100	520	
630	A_oC_k	600	6500	≤ 52	1480	935	1575	295	1690	33 %
	AA_oA_k	540	4600	≤ 51	1260	985	1650	350	2240	
2000	A_oC_k	1450	18000	≤ 60	1940	1180	1910	760	4560	36 %
	AA_oA_k	1305	15000	≤ 59	2280	1280	2380	1030	6200	

5. ZAKLJUČAK

Uredba komisije (EU) br. 548/2014 o provedbi Direktive 2009/125/EZ Europskog parlamenta i Vijeća koja propisuje minimalne zahtjeve za energetske učinkovitosti za male, srednje i velike transformatore, i novo izdanje europske norme HRN EN 50588-1:2017 „Trofazni transformatori srednjeg napona, 50Hz, najvećeg napon opreme do 36kV – 1. dio: Opći zahtjevi“, propisuju zahtjeve za ekološki dizajn transformatora. Ekološki dizajn distributivnih transformatora snage ≤ 3150 kVA propisuje maksimalne dozvoljene vrijednosti gubitaka tereta i praznog hoda te informacije koje je potrebno dati uz proizvod. Cilj ekološkog dizajna transformatora je smanjenje gubitaka i negativnog utjecaja na okoliš kroz smanjenje emisije CO₂. Uz zahtjeve za ekološki dizajn, europske distribucijske tvrtke propisuju dodatne individualne zahtjeve za gubitke. Individualni zahtjevi mogu biti specificirani maksimalnim razinama gubitaka ili zadanim kapitalizacijskim faktorima. Cilj individualnih zahtjeva za gubicima je smanjenje troškova eksploatacije transformatora, a određuju se na temelju očekivane životne dobi transformatora, kamatnoj stopi, cijeni električne energije i opterećenju transformatora.

6. LITERATURA

- [1] COMMISSION REGULATION (EU) No 548/2014 of 21 May 2014 on implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and the Council with regard to small, medium and large power transformers; <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:32014R0548>
- [2] „Trofazni transformatori srednjeg napona, 50Hz, najvećeg napona opreme do 36kV – 1. dio: Opći zahtjevi“, HRN EN 50588-1:2017
- [3] Aníbal T. De Almeida, Fernando Martins, Bruno Santos, "Implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to Ecodesign Requirements for Power, Distribution and Small transformers", ISR-University of Coimbra, April 2013
- [4] Branimir Ćučić, Martina Mikulić, Marijan Mihaljević, "Suvremena rješenja u distributivnim transformatorima"
- [5] Krunoslav Pongrašić, Martina Mikulić, Dominik Trstoglavec, "Distributivni transformatori prema Uredbi Komisije (EU) br.548/2014 (Ekološki dizajn) i europskoj normi EN 50588-1:2015