

Ivan Dundović  
HEP-ODS d.o.o.  
[ivan.dundovic@hep.hr](mailto:ivan.dundovic@hep.hr)

Matej Majnarić  
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[matej.majnaric@hep.hr](mailto:matej.majnaric@hep.hr)

Renato Ćučić  
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[renato.cucic@hep.hr](mailto:renato.cucic@hep.hr)

Kruno Trupinić  
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[kruno.trupinic@hep.hr](mailto:kruno.trupinic@hep.hr)

## KAPITALIZACIJA TROŠKOVA GUBITAKA ENERGETSKI UČINKOVITIH TRANSFORMATORA PREMA NORMI HRN EN 50708-1-1:2020

### SAŽETAK

Metoda kapitalizacije troškova gubitaka energetski učinkovitih transformatora (ecodesign tier 2 transformatori) omogućava minimizaciju investicija s ciljem ostvarenja najveće moguće uštede gubitaka električne energije za najmanji trošak što može rezultirati odabirom transformatora čiji gubici nisu nužno minimalni nego ekonomski optimalni. Normom HRN EN 50708-1-1 za energetski učinkovite transformatore u kojoj su propisani dodatni europski zahtjevi istaknuta je kapitalizacija troškova transformatora kao ekonomski najispravnija metoda optimizacije dizajna transformatora u skladu s traženim tehničkim zahtjevima u pogledu gubitaka električne energije [1].

Osnovni faktori koji u najvećoj mjeri utječu na ukupni trošak posjedovanja transformatora uključuju: gubitke u praznom hodu, gubitke u kratkom spoju, faktor opterećenja, cijenu električne energije, diskontnu stopu, životni vijek transformatora, emisiju CO<sub>2</sub> te dodatno u nešto manjoj mjeri troškove instalacije, održavanja, kvarova.

**Ključne riječi:** HRN EN 50708, kapitalizacija gubitaka transformatora, gubici u praznom hodu, gubici u kratkom spoju

## COSTS CAPITALIZATION OF LOSSES OF ENERGY EFFICIENT TIER 2 TRANSFORMERS ACCORDING TO HRN EN 50708-1-1:2020

### SUMMARY

Costs capitalization of ecodesign tier 2 transformer losses is used to minimize the investment required to obtain the greatest energy savings for the least cost, which can result with selection of transformer whose losses are not necessarily minimal but economically optimal. Standard HRN EN 50708-1-1 for power transformers defines capitalization of transformer losses as economically most appropriate method for optimization of transformer design in accordance with technical requirements in terms of electricity losses.

Basic factors, which in greatest extent are affecting on total owning cost of transformer involve no load losses, load losses, load factor, energy price, discount rate, life expectancy of transformer, CO<sub>2</sub> emission and additionally in smaller extent cost of installation, maintenance, faults.

**Key words:** HRN EN 50708, capitalization of transformer losses, no-load loss, load loss

## 1. NORMA HRN EN 50708-1-1

Hrvatska norma HRN EN 50708-1-1, Energetski transformatori – Dodatni europski zahtjevi – Dio 1-1: Zajednički dio – Opći zahtjevi (EN 50708-1-1:2020) zamjenjuje prethodne norme HRN EN 50588-1 koja se odnosila na transformatore srednjih snaga najvećeg napona opreme do 36 kV te normu HRN EN 50629 koja se odnosila na velike energetske transformatore najvišeg napona većeg od 36 kV ili nazivne snage veće ili jednake 40 MVA [1].

Norma je između ostaloga rezultat usklađivanja s Uredbom EU br. 548/2014 [2] te njezinim amandmanom Uredbom EU br. 2019/1783 [3] koje propisuju zahtjeve za ekodizajn malih, srednjih i velikih energetskih transformatora.

Norme iz serije HRN EN 50708 propisuju tehničke zahtjeve u vezi s energetskim svojstvima, priborom, opremom, ispitivanjima, mehaničkim zahtjevima itd. strukturirane na sljedeći način:

- dijelovi serije 1 – opći zahtjevi
- dijelovi serije 2 – srednji energetski transformatori
- dijelovi serije 3 – veliki energetski transformatori [1]

Nadalje, norma HRN EN 50708-2-1 propisuje opće zahtjeve za srednje energetske transformatore koji su definirani kao transformatori nazivne snage manje ili jednake od 3150 kVA i najvećeg napona opreme većeg od 1,1 kV, a manjeg ili jednakog od 36 kV te između ostaloga i maksimalne dozvoljene vrijednosti gubitaka za transformatore koji se stavljaju na tržište EU [4].

Sljedeći zahtjeve prema prethodno navedenoj Uredbi EU br. 548/2014 i njenom amandmanu Uredbi EU br. 2019/1783, razine gubitaka se dijeli na Tier 1 razinu koja je stupila na snagu 1. srpnja 2015. godine te Tier 2 razinu koja je trenutno važeća, a stupila je na snagu 1. srpnja 2021. godine [2],[3].

Tablica I.: Gubici, napon kratkog spoja i razina buke za transformatore uronjene u tekućinu sukladno HRN EN 50708-2-1

Nazivna snaga (kVA)	TIER1 P <sub>k</sub> (W)	TIER1 P <sub>0</sub> (W)	TIER2 P <sub>k</sub> (W)	TIER2 P <sub>0</sub> (W)	L <sub>WA</sub> dB(A)	Napon kratkog spoja (%)
≤ 25	900	70	600	63	37	4
50	1100	90	750	81	39	4
100	1750	145	1250	130	41	4
160	2350	210	1750	189	44	4
250	3250	300	2350	270	47	4
315	3900	360	2800	324	49	4
400	4600	430	3250	387	50	4
500	5500	510	3900	459	51	4
630	6500	600	4600	540	52	4 ili 6
800	8400	650	6000	585	53	6
1000	10500	770	7600	693	55	6
1250	11000	950	9500	855	56	6
1600	14000	1200	12000	1080	58	6
2000	18000	1450	15000	1305	60	6
2500	22000	1750	18500	1575	63	6
3150	27500	2200	23000	1980	64	6

U odnosu na Tier 1 razinu, gubici u praznom hodu Tier 2 razine manji su za 10 %, a gubici tereta za transformatore snage do uključivo 1000 kVA manji su približno 30 % dok za transformatore snage iznad 1000 kVA do uključivo 3150 kVA prosječno smanjenje gubitaka tereta iznosi 15 %.

Europska komisija je provela studiju preispitivanja kojom je analizirala određene aspekte iz članka 7. Uredbe EU br. 548/2014 u vezi s tehnološkim napretkom i rezultatima predmetne uredbe, a kojom je između

ostaloga u sklopu amandmana odnosno Uredbe EU br. 2019/1783 potvrđen njezin pozitivan utjecaj na učinkovitost energetskih transformatora te utvrđeno da dostupni modeli transformatora mogu bez poteškoća ispuniti minimalne zahtjeve razine 1. (srpanj 2015.) te da ne postoje značajne tehničke prepreke za proizvodnju transformatora usklađenih s minimalnim zahtjevima razine 2. koji stupaju na snagu u srpnju 2021 [3].

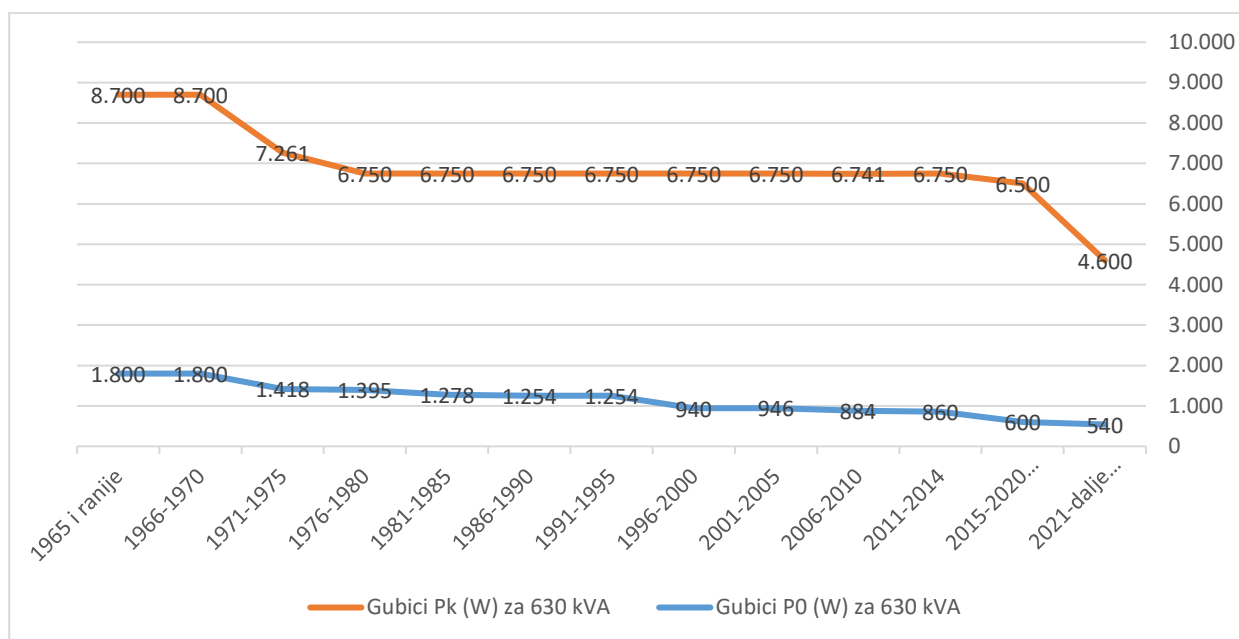
Također, potvrđeno je da je kapitalizacija budućih gubitaka transformatora s pomoću ispravnih faktora za kapitalizaciju gubitaka tereta i gubitaka praznog hoda najprikladnija i općeprihvaćena metoda za optimizaciju dizajna transformatora kako bi se smanjili gubici električne energije [3].

## 2. GUBICI TRANSFORMATORA

Gubici transformatora dijele se na gubitke praznog hoda ili gubitke u jezgri  $P_0$  (engl. *no-load losses*) koji su neovisni o opterećenju i stalno prisutni čim je transformator pod naponom te gubitke kratkog spoja ili gubitke tereta  $P_k$  (engl. *load losses*) koji su ovisni o kvadratu struje opterećenja.

Gubici u transformatorima 10(20)/0,4 kV u distribucijskoj mreži HEP ODS-a sudjeluju u ukupnim tehničkim gubicima s udjelom od približno 30% [5]. Smanjenjem gubitaka transformatora mogu se smanjiti ukupni tehnički gubici u elektroenergetskom distribucijskom sustavu i ostvariti financijske uštede.

Na slici 1. prikazane su vrijednosti gubitaka transformatora snage 630 kVA različitih godina proizvodnje od 1965. do 2021. iz koje je vidljiv trend smanjenja obje vrste gubitaka i to za gubitke tereta približno 50 %, a za gubitke u praznom hodu za 70 % [5].



Slika 1: Gubici transformatora  $P_k$  (W) i  $P_0$  (W) nazivne snage 630 kVA ovisno o godini proizvodnje

## 3. KONCEPT KAPITALIZACIJE TROŠKOVA GUBITAKA TRANSFORMATORA

Kapitalizacija gubitaka transformatora ne koristi se za minimizaciju gubitaka transformatora već za minimizaciju potrebnog ulaganja za ostvarenje najveće moguće uštede energije za najmanju moguću cijenu što u konačnici rezultira odabirom transformatora čiji gubici su ekonomski optimalni, ali ne nužno i minimalni [1].

U osnovi kapitalizacija gubitaka transformatora uključuje izračun sadašnje vrijednosti ušteda od gubitaka transformatora tijekom cijelog njegovog životnog vijeka što znači da će se uštede gubitaka u kWh računati kao buduće godišnje vrijednosti. Cijena električne energije u tu svrhu mora se predvidjeti tijekom razdoblja od 30-50 godina ovisno u kojem periodu se provodi analiza te se konačni iznos gubitaka transformatora u kWh i cijena električne energije diskontira odgovarajućom diskontnom stopom na sadašnju vrijednost [1].

Ukupna cijena transformatora se zatim određuje kao inicijalna cijena transformatora te kapitalizirani trošak gubitaka tereta i gubitaka praznog hoda transformatora što u konačnici znači da se transformator s najnižim ukupnim troškom životnog vijeka (engl. *TCO – Total Cost Of Ownership*) može ocijeniti kao najoptimalniji [1].

#### 4. IZRAČUN KAPITALIZACIJE TROŠKOVA GUBITAKA TRANSFORMATORA

U cilju što preciznije procjene ukupnog troška posjedovanja transformatora potrebno je predvidjeti cijenu električne energije za svaku godinu tijekom njegovog životnog vijeka te stvarne gubitke u tom periodu te svesti ukupan tijek novca na sadašnju vrijednost koristeći odgovarajuću diskontnu stopu.

Vrijednosti gubitaka koji se koriste za procjenu kapitalizacije uključuju i gubitke hlađenja ukoliko postoje, gubitke praznog hoda te gubitke tereta.

Općenita formula za izračun ukupnog troška posjedovanja transformatora definirana je kao:

$$TCO = IC + A \cdot (P_0 + P_{c0}) + B \cdot (P_k + P_{cs} - P_{c0}) \quad (1)$$

gdje je:

$I_C$  – inicijalna cijena transformatora (može sadržavati i trošak ugradnje transformatora)

$P_0$  – gubici praznog hoda (kW) mjereni pri nazivnom naponu i nazivnoj frekvenciji

$P_{c0}$  – snaga hlađenja (kW) potrebna za rad transformatora pri praznom hodu

$P_k$  – gubici kratkog spoja (kW) mjereni pri nazivnoj struji i nazivnoj frekvenciji

$P_{cs}$  – ukupna snaga hlađenja potrebna za rad pri nazivnoj snazi

##### 4.1. KAPITALIZACIJSKI FAKTOR A

Kapitalizacijski faktor A je vrijednost kapitalizacije gubitaka u praznom hodu transformatora u €/kW. Gubici praznog hoda i gubici hlađenja ukoliko postoje prisutni su kada je transformator pod naponom stoga kapitalizacijski trošak predstavlja umnožak troška električne energije i vremena rada tijekom cijelog životnog vijeka transformatora [1]:

$$A = \sum_{j=1}^n \frac{O_{0j} \cdot C_j}{(1+i)^j} \quad (2)$$

gdje je:

$O_{0j}$  – vrijeme rada transformatora u godini j u satima (h)

$C_j$  – valorizacija cijene električne energije u godini j u €/Wh ako su gubici izraženi u W

$i_j$  – diskontna stopa u godini j

$n$  – životni vijek transformatora u godinama

U svrhu pojednostavljenja izračuna može se pretpostaviti da je diskontna stopa konstanta, a da je cijena električne energije jednaka cijeni na pola životnog vijeka transformatora uz pretpostavku da je transformator u pogonu svaki dan u godini te tada formula za godinu n glasi:

$$A = 8760 \cdot C_{n/2} \cdot \frac{\frac{1}{1+i} \left( 1 - \left( \frac{1}{1+i} \right)^n \right)}{1 - \frac{1}{1+i}} = 8760 \cdot C_{n/2} \cdot \frac{1 - \left( \frac{1}{1+i} \right)^n}{i} \quad (3)$$

gdje je:

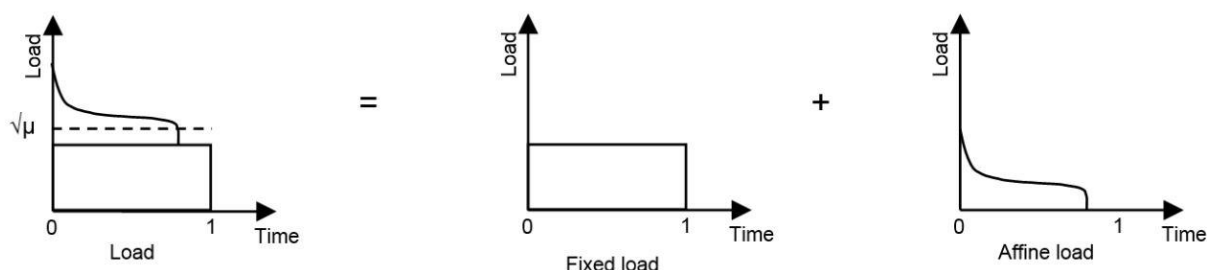
$C_{n/2}$  – cijena električne energije na polovici životnog vijeka transformatora u €/kWh ukoliko su gubici izraženi u kW

$i$  – diskontna stopa koja je konstantna tijekom cijelog životnog vijeka transformatora (n godina)

$n$  – ekonomski životni vijek transformatora u godinama koji je u pravilu vrlo sličan stvarnom životnom vijeku transformatora (30-50 godina)

## 4.2. KAPITALIZACIJSKI FAKTOR B

Kapitalizacijski faktor B je vrijednost kapitalizacije gubitaka u kratkom spoju u €/kW. Kapitalizacijski faktor B za razliku od faktora A je ovisan o opterećenju transformatora. U normi HRN EN 50708-1-1 definirano je da se teret transformatora može podijeliti na fiksni dio tereta koji je jednak cijele godine i promjenjivi dio tereta koji ovisi o uvjetima okoline i prisutan je samo određeno vrijeme. Na slici 2. pojednostavljeni je prikaz podjele tereta transformatora.



Slika 2.: Podjela tereta transformatora na fiksni i promjenjivi dio prema HRN EN 50708-1-1

Prosječni faktor tereta računa se kao korijen srednje vrijednosti trenutnih faktora tereta:

$$\mu = \frac{1}{T} \int_0^T (k(t))^2 dt \quad (4)$$

gdje je:

T – godina dana u satima odnosno 8760 h

k(t) – faktor tereta kao funkcija vremena

Kapitalizacija troškova gubitaka tereta računa se kao umnožak zbroja faktora tereta i cijene električne energije uzimajući u obzir povećanje tereta i instalirane snage transformatora. U sljedećoj formuli gubici su podijeljeni u dva dijela sa odgovarajućim težinskim faktorom vremenskog udjela.

$$B = \sum_{j=1}^n \frac{\mu \cdot C_j \cdot (O_{aj} \cdot T_{aj} + O_{fj} \cdot T_{fj})}{(1+i)^j} \left( \frac{1+C_{\mu j}}{1+C_{aj}} \right)^{2j} \quad (5)$$

gdje je:

$\mu$  - prosječni faktor tereta

$C_j$  – cijena električne energije za godinu j u €/Wh ukoliko su gubici izraženi u W

$i_j$  – diskontna stopa za godinu j

$O_{aj}$  – vrijeme rada transformatora s promjenjivim teretom tijekom godine j u satima

$O_{fj}$  – vrijeme rada transformatora s fiksnim teretom tijekom godine j u satima (u pravilu 8760h ukoliko je transformator u pogonu svaki dan u godini)

$T_{aj}$  – udio promjenjivog tereta u ukupnom faktoru tereta za godinu j

$T_{fj}$  – udio fiksnog tereta u ukupnom faktoru tereta za godinu j

$T_{aj} + T_{fj} = 1$

n – životni vijek transformatora u godinama

$C_{\mu j}$  – stopa povećanja faktora tereta za godinu j

$C_{aj}$  – stopa povećanja instalirane snage za godinu j

U pravilu za parametre  $C_{\mu j}$  i  $C_{aj}$  vrijednosti se uzimaju kao nula što je slučaj gdje se investicije procjenjuju na temelju pretpostavke da je prosječno opterećenje transformatora nepromjenjivo. Ukoliko ovo nije slučaj potrebno je posvetiti posebnu pažnju kako bi se izbjeglo preopterećenje transformatora u određenoj godini jer ako je  $C_{\mu j}$  veći od  $C_{aj}$  finalni faktor je veći od jedan.

Uz pretpostavke da je transformator u pogonu cijele godine, trošak električne energije je konstantan i jednak valorizaciji na polovici životnog vijeka transformatora, korištenje transformatora je nepromjenjivo tijekom životnog vijeka, diskontna stopa je konstantna, a faktori tereta i dijagram opterećenja su konstantni formula se može pojednostaviti kao:

$$B = \mu \cdot C_{n/2} \cdot (O_a \cdot T_a + 8760 \cdot T_f) \cdot \frac{1 - \left(\frac{1}{1+i}\right)^n}{i} \quad (6)$$

gdje je:

$\mu$  - prosječni faktor tereta

$C_{n/2}$  – cijena električne energije na polovici životnog vijeka transformatora u €/kWh ukoliko su gubici izraženi u kW

$O_a$  - vrijeme rada transformatora s promjenjivim teretom tijekom godine j u satima

$T_a$  – udio promjenjivog tereta u ukupnom faktoru tereta za godinu j

$T_f$  – udio fiksnog tereta u ukupnom faktoru tereta za godinu j

Kapitalizacijski faktor B predstavlja sadašnju vrijednost ukupnih gubitaka tereta uštedjenih tijekom životnog vijeka transformatora. Suprotno od gubitaka praznog hoda, gubici tereta su ovisni o opterećenju transformatora, proporcionalno kvadratu tereta odnosno struje.

Namjena transformatora uvelike ovisi o uštedi na gubicima obzirom da će u slučaju više opterećenih transformatora vrijednost gubitaka tereta biti dominantni i više doprinijeti povratu početne investicije (npr. transformatori industrijske namjene, transformatori u urbanim sredinama) dok će transformatori sa smanjenim opterećenjem (npr. transformatori u ruralnim sredinama) imati vrlo mali povrat investicije u vezi s gubicima tereta, a vrijednosti gubitaka praznog hoda će prevladati obzirom na to da ne ovise o opterećenju transformatora.

## 5. ODREĐIVANJE KAPITALIZACIJSKIH FAKTORA A I B

Određivanje kapitalizacijskih faktora A i B zahtjeva kompleksnu analizu velikog broja ulaznih podataka. Politike operatora sustava, energetske miks, zakonska regulativa, politika zaštite okoliša, diskontne stope te stope ulaganja uvelike mogu utjecati na vrijednosti kapitalizacijskih faktora A i B. Raznolikost ulaznih parametara, činjenica da je određivanje parametara subjektivnog karaktera te podložno nesigurnostima dovodi do raznolikosti kapitalizacijskih troškova unutar različitih operatora sustava.

Norma HRN EN 50708-1-1 za industrijske i privatne kupce pojednostavljuje određivanje kapitalizacijskih faktora te se ulazni parametri tada definiraju kao:

- n je životni vijek transformatora te se osjetljivost kapitalizacije smanjuje kako se broj godina n povećava;
- $C_{n/2}$  bi trebala biti izvedena na temelju predviđenih cijena roba. Veća cijena električne energije rezultirat će većim uštedama u gubicima te na taj način opravdati veću inicijalnu cijenu transformatora;
- i je diskontna stopa koju određuje tvrtka kao prikladnu za investiciju. U pravilu se koristi ponderirani prosječni troškovi kapitala (engl. *WACC, weighted average cost of capital*) osim ako se koristi specifična diskontna stopa za konkretnu investiciju. Manja diskontna stopa rezultira većom sadašnjom vrijednosti gubitaka. Niska diskontna stopa opravdava visoki trošak za smanjenje gubitaka;
- određivanje faktora opterećenja i vremena rada transformatora može se pojednostaviti u slučaju kada je konstantni teret prevladavajući te se faktor  $T_a$  može zanemariti. Formula za izračun kapitalizacijskog faktora B tada se može pojednostaviti:

$$B = \mu \cdot C_{n/2} \cdot 8760 \cdot \frac{1 - \left(\frac{1}{1+i}\right)^n}{i} \quad (7)$$

gdje se faktor tereta  $\mu$  može odrediti na temelju sljedeće formule:

$$\mu = \left(\frac{S}{S_r}\right)^2 \quad (8)$$

gdje je:

$S_r$  – nazivna snaga transformatora

S – prosječni procijenjeni teret

Pretpostavka je da je transformator u pogonu cijele godine, svaki dan u godini što iznosi 8760 h. Posebnu pažnju potrebno je posvetiti preciznom određivanju parametra prosječnog opterećenja transformatora (S) jer je određivanje ravnoteže između gubitaka tereta i gubitaka praznog hoda ključno za postizanje najveće učinkovitosti transformatora u pogonu.

Specificiranje niskog faktora tereta će dovesti do toga da transformator u slučaju da u stvarnosti bude značajno opterećen ima relativno veće gubitke tereta i niže gubitke praznog hoda što će naposljetku rezultirati neučinkovitošću. Suprotno, specificiranje visokog faktora tereta u slučaju da u stvarnosti transformator bude podopterećen će dovesti do toga da transformator ima relativno veće gubitke praznog hoda, a niže gubitke tereta što bi također rezultiralo neučinkovitošću.

## 6. PRIMJER IZRAČUNA KAPITALIZACIJE TROŠKOVA GUBITAKA TRANSFORMATORA

U primjeru izračuna kapitalizacije gubitaka analizirat će se ukupan trošak posjedovanja distribucijskog transformatora razine gubitaka Tier 2, prijenosnog omjera 10(20)/0,42 kV, snage 630 kVA čije su osnovne tehničke karakteristike prikazane u tablici II koristeći pojednostavljenu metodu izračuna sukladno HRN EN 50708-1-1.

Pretpostavke ekonomske analize u kapitalizaciji gubitaka:

- ekonomski životni vijek transformatora iznosi 40 godina (n)
- referentna diskontna stopa je konstantna tijekom životnog vijeka i iznosi 4% (i)
- prosječno opterećenje transformatora procjenjuje se na 30%, a transformator je u pogonu 8760 h u godini ( $\mu$ )
- gubici električne energije u distribucijskoj mreži u 2021. iznosili su 1.212 GWh, a trošak za pokriće gubitaka električne energije iznosio je 521,9 milijuna kuna što je 0,431 kn/kWh [6] te će se za potrebe ovog proračuna pretpostaviti povećanje cijene električne energije za pokriće gubitaka za 30 % što iznosi 0,560 kn/kWh (0,074 €/kWh)

Vrijednosti IC koja je informativna inicijalna cijena transformatora koji je predmet analize, vrijednosti gubitaka praznog hoda  $P_0$  i gubitaka tereta  $P_k$  su definirane u tablici II.

Tablica II. Tehničke karakteristike 2. generacije energetski učinkovitog transformatora

Tehničke karakteristike	2. generacija energetski učinkovitog transformatora (Tier 2)
Vrsta	uljni (energetski učinkoviti)
Prijenosni omjer	20(10)/0,42 kV
Snaga	630 kVA
Maksimalni gubici praznog hoda, $P_0$ (Tier 2)	540 W
Maksimalni gubici kratkog spoja, $P_k$ (Tier 2)	4600 W
Grupa spoja	Dyn5
Napon kratkog spoja, $U_k$	6%
Inicijalna cijena, $C_i$ (informativna cijena)	199.990,00 HRK (26.543,23 €)

Kapitalizacijski faktor A računa se kao:

$$A = 8760 \cdot C_n \cdot \frac{1 - \left(\frac{1}{1+i}\right)^n}{i}$$

$$A = 8760 \cdot 0,560 \cdot \frac{1 - \left(\frac{1}{1+0,04}\right)^{40}}{0,04} = 97.147,45 \text{ kn/kWh} (12.893,68 \text{ €/kWh}) \quad (9)$$

Kapitalizacijski faktor B računa se kao:

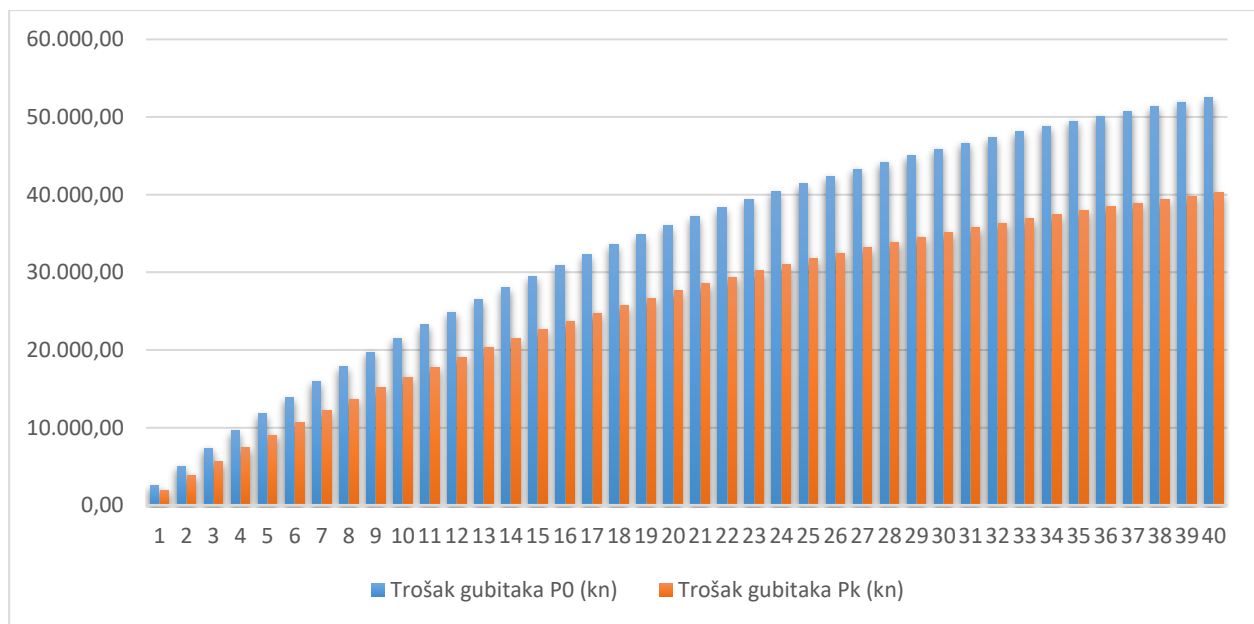
$$B = \mu \cdot C_n \cdot 8760 \cdot \frac{1 - \left(\frac{1}{1+i}\right)^n}{i} =$$

$$B = 0,09 \cdot 0,560 \cdot 8760 \cdot \frac{1 - \left(\frac{1}{1+0,04}\right)^{40}}{0,04} = 8.743,27 \text{ kn/kWh} (1.160,43 \text{ €/kWh}) \quad (10)$$

Ukupan trošak posjedovanja transformatora TCO iznosi:

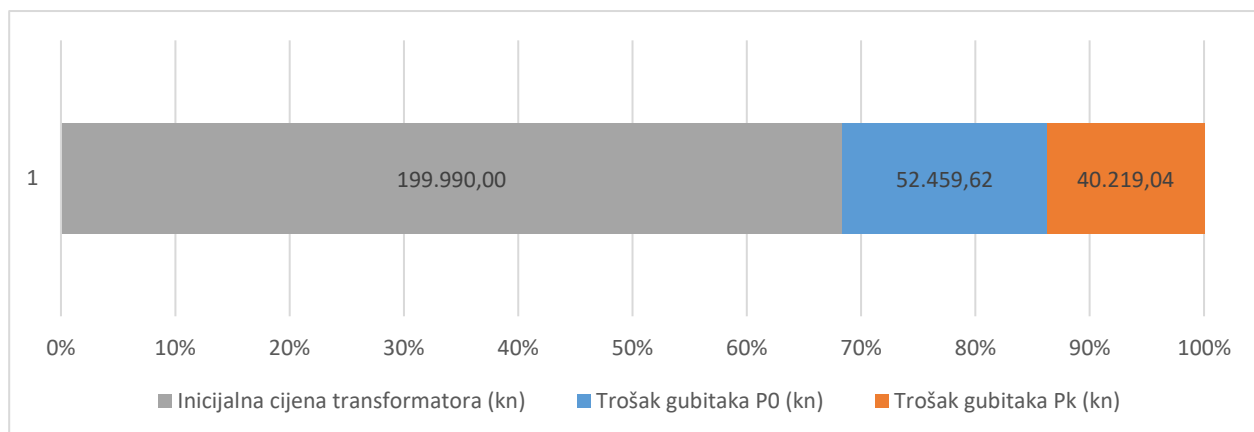
$$TCO = IC + A \cdot P_0 + B \cdot P_k$$

$$TCO = 199.990 + 97.147,45 \cdot 0,540 + 8.743,27 \cdot 4,6 = 292.668,66 \text{ kn} (38.843,81 \text{ €}) \quad (11)$$



Slika 3.: Kapitalizirani gubici P<sub>0</sub> i P<sub>k</sub> tijekom životnog vijeka transformatora od 40 godina

Na slici 3. prikazani su kapitalizirani gubici P<sub>0</sub> i P<sub>k</sub> transformatora nakon svake godine u životnom vijeku transformatora od 40 godina, a na slici 4 je prikazan ukupan trošak posjedovanja transformatora koji je korišten kao primjer izračuna. Faktor opterećenja je relativno nizak stoga su i troškovi gubitaka u kratkom spoju P<sub>k</sub> nešto manji u odnosu na gubitke u praznom hodu P<sub>0</sub>.



Slika 4.: Ukupan trošak posjedovanja transformatora (TCO)



## **7. ZAKLJUČAK**

Normom HRN EN 50708-1-1 standardizira se upotreba kapitalizacije troškova gubitaka energetski učinkovitih transformatora (ecodesign tier 2 transformatori) kao najprikladnije metode za optimizaciju dizajna transformatora u cilju smanjenja gubitaka električne energije. Prilikom primjene metode kapitalizacije gubitaka transformatora važno je na ispravan način odrediti ulazne faktore u cilju što preciznijeg izračuna ukupnog troška posjedovanja transformatora tijekom životnog vijeka. Ključni faktori kapitalizacije gubitaka koji u najvećoj mjeri utječu su buduća cijena električne energije za pokriće gubitaka te faktor opterećenja u slučaju proračuna gubitaka tereta čije promjene značajno mogu utjecati na povećanje ili smanjenje ukupnog troška posjedovanja transformatora.

## LITERATURA

- [1] HRN EN 50708-1-1 Energetski transformatori – Dodatni europski zahtjevi – Dio 1-1: Zajednički dio – Opći zahtjevi (EN 50708-1-1:2020)
- [2] Uredba Komisije (EU) br. 548/2014 od 21. svibnja 2014. o provedbi Direktive 2009/125/EZ Europskog parlamenta i Vijeća u pogledu malih, srednjih i velikih energetskih transformatora, Službeni list Europske unije, 2014.
- [3] Uredba komisije (EU) br. 2019/1783 od 1. listopada 2019. o izmjeni Uredbe (EU) br. 548/2014 o provedbi Direktive 2009/125/EZ Europskog parlamenta i Vijeća u pogledu malih, srednjih i velikih energetskih transformatora, 2019.
- [4] HRN EN 50708-2-1 Energetski transformatori – Dodatni europski zahtjevi – Dio 2-1: Srednji energetski transformatori -- Opći zahtjevi (EN 50708-2-1:2020)
- [5] Energetski institut Hrvoje Požar - Stručna i znanstvena potpora u izradi metodologije za planiranje gubitaka električne energije i metodologije za izračun ostvarenja gubitaka te procjene tehničkih gubitaka i neovlašteno preuzete električne energije, prosinac 2016.
- [6] Godišnje izvješće Hrvatske energetske regulatorne agencije za 2021. godinu, lipanj 2022.