

Mr. sc. ERNEST MIHALEK, dipl.ing.

Energetski institut "Hrvoje Požar" Zagreb, d.o.o.

Dr. sc. IVAN ŠIMATOVIĆ, dipl.ing.

HEP DP "Elektra" Zabok

2-02

## IZBOR I TIPIZACIJA ENERGETSKIH REGULACIJSKIH TRANSFORMATORA S OPTIMALNIM PARAMETRIMA ZA POGON DISTRIBUCIJSKE MREŽE

### SAŽETAK

U članku je dan prikaz studije (Lit. 1) kojom su preliminarno definirane funkcije cilja optimizacije regulacijskih energetskih transformatora, namijenjenih pogonu u pojnim točkama distribucijske mreže. Ovim se želi potaknuti korisnik (HEP) da nastavi rad na usvajanju tehničkih uvjeta, sagledavajući problem redukcije gubitaka i optimizacije regulacijskih transformatora kao uređaja, pogotovo sa stajališta pogona distribucijske mreže.

**Ključne riječi:** energetski regulacijski transformatori, tehno-ekonomsko optimiranje, reducirani gubici

## CHOICE OF POWER TAP TRANSFORMERS WITH OPTIMAL PARAMETERS FOR DISTRIBUTION NETWORKS

### ABSTRACT

In the article we summarize results from earlier case study (Lit.1), in which we presented preliminary target functions for the optimization of power tap transformers to be installed in source points of distribution network.

The result of further efforts should be publication of "Technical conditions for power tap transformers" defining optimal parameters, such as power loss reduction and other parameters of importance to the distribution network operation.

**Keywords:** power tap transformers, techno-economic optimization, power loss reduction

### I. U V O D

Uobičajeno je da se u praksi elektroprivrednih poduzeća od vremena do vremena provjere neki osnovni parametri uređaja u pogonu u skladu s razinom dostignute vlastite i svjetske tehnike i tehnologije. To je pogotovo važno za bitne komponente mreže kakav je i energetski regulacijski transformator, čije su standardne nazivne snage danas obično od 20 do 63 MVA. Manji, tzv. distribucijski (razdjelni) transformatori do 1000 kVA već su kao transformatori s reduciranim gubicima i novim "image"-om prihvaćeni od strane Hrvatske elektroprivrede. To je obznanjeno u tzv. "Tehničkim uvjetima za distribucijske uljne transformatore snage od 50 kVA do 1000 kVA napona 10/0,42 kV; 20/0,42 kV i 20(10)/0.42 kV", Bilten Vjesnika HEP, broj 60 od 3.7.1997.

Ovdje će biti izložena stajališta glede određivanja optimalnih parametara i zahtjeva kako se to promatra sa strane distribucijskih mreža. Redoslijed kod izbora transformatora za tipizaciju traži da se najprije sagledaju optimalni parametri transformatora koji će se preporučiti.

Unaprijed je određeno (iz tzv. standardnog niza) da izbor nije sasvim proizvoljan, jer otprije postoje standardne nazivne veličine transformatora koje se moraju poštivati. Za ostale standarde brine proizvođač, udovoljavajući zahtjevima koje mora postaviti naručitelj, tj. elektroprivreda.

## 2. CIJENE GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE I SNAGE

Osnovna pretpostavka za rad na izboru i optimizaciji transformatora je *poznavanje cijena gubitaka električne snage (kn/kW) i električne energije (kn/kWh)*. Proračun cijene gubitaka temelji se na proračunu godišnjih troškova elektroenergetskog sustava u cjelini. Cijena jednog specifičnog kW električne snage ( $k_s$ ), odnosno kWh električne energije ( $k_e$ ) dobije se iz stalnih odnosno varijabilnih troškova sistema.

Kod nas se za potrebe proračuna troškova gubitaka do sada nije pobliže istražila i ustalila određena metoda. Za očekivati je da će se na tome još dosta raditi i da će ubuduće podaci o cijenama gubitaka biti redovito elaborirani po određenoj metodologiji.

S druge strane se pretpostavlja da bi i cijene u HEP-ovim "Tarifnim stavovima za prodaju električne energije" morale biti određene na sličan način i pokoravati se zakonima koji ih određuju tehnički i gospodarstveno po dubini mreže.

U studiji [Lit. 1] pokušalo se navedene cijene izračunati na temelju kratke analize stalnih i promjenljivih troškova HEP-a, a obzirom da to nije bio cilj studije, rezultati su služili da bi se ukazalo na postupak i dobili preliminarni rezultati optimizacije transformatora. Ukratko dobivene su sljedeće cijene gubitaka (godišnje):

$$k_s = 700 \text{ kn/kW (200 DEM/kW)} \quad \text{i} \quad k_e = 0.175 \text{ kn/kWh (0.05 DEM/kWh)} \quad (1)$$

Za usporedbu, prosječni tarifni stavovi na nivou 110 kV za ove cijene su:

$k_s = 780 \text{ kn/kW (220 DEM/kW)}$  i  $k_e = 0,2 \text{ kn/kWh (0,07 DEM/kWh)}$ , dakle veća cijena, što je prihvatljivo obzirom da mreža 110 kV nije najviša razina mreže.

Zanimljivo je napomenuti da pojedine elektroprivrede u svijetu koje žele više utjecati na smanjenje gubitaka u mreži i transformatorima korigiraju cijenu gubitaka električne snage određenim "ekološkim" ili "strateškim" faktorom, računajući da će tako ubuduće smanjiti izgradnja novih elektrana i opće zagađenje okoline. Radi toga, kao i zbog različite strukture mreže i izvora el.energije, cijene se razlikuju među pojedinim elektroprivredama.

Za usporedbu, recimo da njemačka i austrijska elektroprivreda računaju s  $k_s = 150 \text{ DEM/kW}$  i  $k_e = 0,07 \text{ DEM/kWh}$ .

## 3. UČINKOVITOST TRANSFORMATORA I OPTIMALNI OMJER GUBITAKA PRIMARA I SEKUNDARA

Na drugom mjestu prema važnosti kod optimiranja je *učinkovitost transformatora kao uređaja*. U studiji je pokazano da kod maksimuma funkcije energetske korisnosti transformatora vrijedi izraz koji povezuje gubitke u transformatoru s njegovim relativnim opterećenjem:

$$\frac{P_0}{P_1 \cdot \vartheta} = \left( \frac{S_{\max}}{S_n} \right)^2 = X^2 \quad (2)$$

gdje su:

$P_0$  = prosječni gubici praznog hoda transformatora (kW),

$P_t$  = prosječni gubici kratkog spoja transformatora (kW),

$\vartheta$  = faktor gubitaka prosječnog dnevnog dijagrama opterećenja transformatora,

$S_{max}$  = prividno vršno opterećenje transformatora (MVA),

$S_n$  = nazivna snaga transformatora (MVA).

Faktor gubitaka  $\vartheta$  na razini 110 kV transformatora ovisi i o njegovoj veličini i kreće se za transformatore 4 do 16 MVA u području vrijednosti od 0,2 do 0,25, a za transformatore 20 do 63 MVA u području od 0,26 do 0,31.

S druge strane prosječna relativna opterećenja transformatora u tijeku pogona ili tehničkog vijeka trajanja obično ne prelaze vrijednost od 60% zbog raznih razloga kao što je igra opterećenja i rezerviranje snage za eventualni izvanredni pogon i sl. Ako okrenemo logiku razmišljanja pa izračunamo optimalne razine opterećenja koje su nam nudile dosadašnje izvedbe transformatora, imamo sljedeću tablicu:

**Tablica 1.** Optimalna relativna opterećenja ( $X_{opt}$  (%)) transformatora  
35/X kV i 110/X kV, dosadašnje domaće proizvodnje:

| Naz. snaga transform. | Omjer gubitaka | Faktor gubitaka | Optimalni omjer gubitaka |
|-----------------------|----------------|-----------------|--------------------------|
| $S_n$ (MVA)           | $P_t / P_0$    | $\vartheta$     | $X_{opt}$ (%)            |
| 4                     | 5              | 0.20            | 100                      |
| 8                     | 5.7            | 0.225           | 88                       |
| 16                    | 5.3            | 0.252           | 87                       |
| 20                    | 5.38           | 0.26            | 85                       |
| 40                    | 5.86           | 0.287           | 77                       |
| 63                    | 5.94           | 0.306           | 74                       |

Fiksiranjem relativne razine opterećenja dobivamo iz istog izraza (2) optimalni omjer gubitaka. Ujedno se, zbog određenog faktora gubitaka i jednake relativne razine opterećenja, dolazi do pravila da se omjer gubitaka  $P_t/P_0$  mora s porastom snage transformatora smanjivati, dakle obrnuto nego što pokazuje drugi stupac u gornjoj tablici.

Ako pretpostavimo 100% relativno opterećenje, kao ono na koje ćemo dimenzionirati transformator, dobivamo u tablici 2 omjere gubitaka kojih bi se trebalo držati pri konstrukciji.

**Tablica 2** Optimalni omjer gubitaka transformatora ( $(P_0/P_t)_{opt} = f(X_{opt}, \vartheta)$ )

| Naz. snaga transform. | Faktor gubitaka | Relativno opterećenje | Optimalni omjer gubitaka |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| $S_n$ (MVA)           | $\vartheta$     | $X_{opt}$ (%)         | $(P_0/P_t)_{opt}$        |
| 4                     | 0.20            | 100                   | 5                        |
| 8                     | 0.225           | 100                   | 4.4                      |
| 16                    | 0.252           | 100                   | 4                        |
| 20                    | 0.26            | 100                   | 3.9                      |
| 40                    | 0.287           | 100                   | 3.5                      |
| 63                    | 0.306           | 100                   | 3.3                      |

### 3.1 Omjer gubitaka sekundara i tercijara

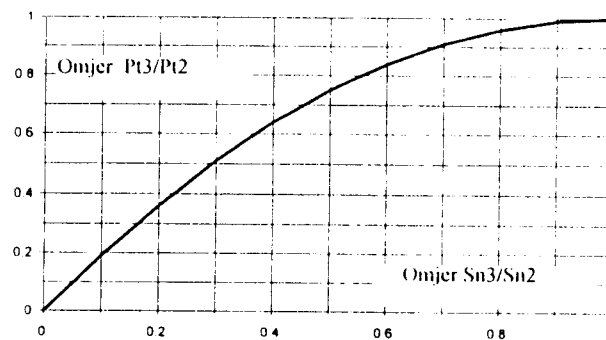
Sljedeći tehnički zahtjev odnosi se na omjer gubitaka sekundara i tercijara. Tercijarni namot često se upotrebljava za napajanje potrošača, iako mu to nije osnovna namjena. Međutim, tercijar će u distribucijskim mrežama biti i u buduću korišten pa ga valja predvidjeti s povoljnim omjerom gubitaka prema sekundaru, a pri tome će tercijar i dalje služiti kao stabilizacijski namot. Svrha stabilizacijskog namota je da kompenzira amperzavoje nulte komponente struje pri jednopolnom kratkom spoju.

Tercijarni namot može i u buduću služiti za potrebe napajanja mreže, ukoliko bude ekonomski dimenzioniran, kod mreža s više napona, koje se javljaju npr. kod prijelaza na 20 kV kad zadržavamo napon 10 ili 35 kV još neko neodređeno vrijeme.

Ako je nazivna snaga tercijara (koja bi se i koristila) jednaka trećini snage primara, pokazalo se da je ekonomski opravdano da omjer gubitaka kratkog spoja između sekundara i tercijara bude:

$$P_{t3} \leq \frac{5}{9} P_{t2} \quad (3)$$

što znači da bi gubici kratkog spoja tercijara trebali iznositi najviše 56% gubitaka kratkog spoja sekundara. Zbog bolje preglednosti može se ovaj omjer predočiti sljedećim grafom:



Slika 1 Omjer gubitaka tercijara i sekundara kao funkcija zadanog omjera snage tercijara i primara energetskeg regulacijskog transformatora

### 3.2 Cijena gubitaka praznog hoda i kratkog spoja transformatora

Postavljanje i pogon transformatora vezani su uz određene troškove tokom vijeka trajanja. Uz zadovoljavanje traženih tehničkih uvjeta, cijena i omjera gubitaka, traži se da transformator bude tako konstruiran da kapitalizirani troškovi transformatora budu minimalni tj.:

$$K = A \cdot C_T + (P_0 + P_{rs} \cdot f_v) \cdot G_0 \cdot b_0 + P_t \cdot G_t \cdot b_s \rightarrow \text{minimum}$$

gdje je:

- A - kapitalizirani faktor godišnje kvote za održavanje i osiguranje,
- $C_T$  - cijena transformatora na tržištu (DEM),
- $P_0$  - gubici praznog hoda transformatora (kW),
- $P_{rs}$  - gubici rashladnog sustava (kW) (samo za veće trafoe),
- $f_v$  - faktor opterećenja rashladnog sustava transformatora,

$$P_t = \left[ P_{t1} \left( \frac{I_1}{I_{n1}} \right)^2 \cdot \vartheta_1 + P_{t2} \left( \frac{I_2}{I_{n2}} \right)^2 \cdot \vartheta_2 + P_{t3} \left( \frac{I_3}{I_{n3}} \right)^2 \cdot \vartheta_3 \right] \quad (\text{kW})$$

$G_0, G_t$  - cijena gubitaka praznog hoda odn. kratkog spoja

$b_0, b_s$  - faktor kapitalizacije gubitaka praznog hoda odnosno kratkog spoja

Faktor kapitalizacije (ili sumarni faktor aktualizacije) je ekonomski faktor kojim se dobivaju ukupni aktualizirani troškovi za niz godina promatranja rada neke komponente mreže. Kako npr. troškovi gubitaka mogu biti promjenljivi, moguće je u faktor kapitalizacije uračunati, osim ekonomske diskontne stope i stopu porasta opterećenja te stopu porasta cijene energije (koja se obično ne uračunava). Na taj način se jednostavnije računaju promjenljivi troškovi u tijeku nekog perioda promatranja, a ovdje je to period od ugradnje novog transformatora do kraja njegovog vijeka trajanja. Tako se npr. faktor kapitalizacije gubitaka praznog hoda – koji su stalni tokom cijelog vijeka trajanja – razlikuje od faktora kapitalizacije gubitaka kratkog spoja.

Općenito se faktor kapitalizacije u kojem je sadržan uz određeni diskontni faktor i porast opterećenja računa iz izraza:

$$b_s = \frac{q^n - s^n}{q^n (q - s)} \quad (4)$$

gdje je :

$q = (1 + k/100)$  - diskontni faktor ( $k$  = diskontna stopa, npr.  $k = 10\%$ ),

$s = (1+p)^2$  – kvadrat faktora porasta opterećenja,

$n$  = broj godina promatranja (vijek trajanja transformatora).

Kao primjer možemo izračunati jedan faktor kapitalizacije:

- zadano je  $q = 1.1$ ,  $n = 30$  god. i  $s = 1.02^2 = 1.0404$  vrijedi (porast opterećenja 2 % god.):

$$b_s = \frac{1.1^{30} - 1.0404^{30}}{1.1^{30} (1.1 - 1.0404)} = 13.62 \quad (5)$$

Ukoliko nema porasta opterećenja, tj. kod stalnih godišnjih troškova (tipično kod gubitaka praznog hoda gdje je onda  $s = 1$ ), taj faktor iznosi:

$$b_0 = \frac{1.1^{30} - 1^{30}}{1.1^{30} (1.1 - 1)} = 9.43 \quad (6)$$

Prema formuli za troškove transformatora, potrebno je iz cijene snage i energije odrediti cijenu gubitaka u transformatoru koja se sastoji od:

- cijene gubitaka praznog hoda
- cijene gubitaka zbog opterećenja

### 3.2.1 Cijena gubitaka praznog hoda transformatora

Cijenu gubitaka praznog hoda računamo prema izrazu:

$$G_0 = k_s + 8760 \cdot k_e \quad (7)$$

gdje su  $k_s$  i  $k_e$  - cijene gubitaka snage i energije pa je nadalje:

$$G_0 = 200 + 8760 \cdot 0.05 = 638 \text{ DEM/kW/god}$$

### 3.2.2 Cijena gubitaka zbog opterećenja transformatora

Cijenu gubitaka zbog opterećenja dobivamo kao:

$$G_r = k_s \cdot h + 8760 \cdot \vartheta \cdot k_e \quad (8)$$

gdje je:

$k_s$  i  $k_e$  - cijena gubitaka snage i energije (DEM/kW) odn. (DEM/kWh)

$h$  - faktor istodobnosti s vršnim opterećenjem mreže za koji će se uzeti da je:

$h = 0.8$  - za transformatore 35(30)/X kV ili "male" 110/X kV

$h = 0.9$  - za "veće" transformatore 110/X kV

$\vartheta$  = faktor gubitaka koji ima vrijednosti kao u tablici 3

**Tablica 3** Vrijednosti faktora gubitaka  $\vartheta$  za razna uporabna vremena vršnog opterećenja transformatora

| Transform. (MVA)                        | 4    | 8     | 16    | 20   | 40    | 63    |
|---|------|-------|-------|------|-------|-------|
| Uporabno vrijeme vršnog opterećenja (h) | 3500 | 3750  | 4000  | 4100 | 4300  | 4500  |
| Faktor uporabe $m =$                    | 0.4  | 0.43  | 0.46  | 0.47 | 0.49  | 0.51  |
| Faktor gubitaka $\vartheta =$           | 0.2  | 0.225 | 0.251 | 0.26 | 0.287 | 0.306 |

**Tablica 4** Cijene gubitaka električne energije u transformatoru (Hrvatska)

1. Cijena gubitaka snage:  $k_s = 200 \text{ DEM/kW}$
2. Cijena gubitaka energije:  $k_e = 0.05 \text{ DEM/kWh}$
3. Cijena gubitaka praznog hoda:  $G_0 = 638 \text{ DEM/kW}$
4. Cijena gubitaka zbog opterećenja:  $G_r = (k_s \cdot h + 8760 \cdot \vartheta \cdot k_e)$

| Trafo (MVA) | $\vartheta$ | $G_r$ (DEM/kWh) |
|-------------|-------------|-----------------|
| 4           | 0.2         | 248             |
| 8           | 0.225       | 259             |
| 16          | 0.251       | 270             |
| 20          | 0.26        | 294             |
| 40          | 0.287       | 306             |
| 63          | 0.306       | 314             |

### 3.3 Kapitalizirane cijene gubitaka u transformatoru

#### 3.3.1 Kapitalizirana cijena gubitaka praznog hoda

Vrijedi da je kapitalizirana jedinična cijena praznog hoda:

$$G_{ok} = G_0 \cdot b_0 \quad (9)$$

Cijena gubitaka praznog hoda  $G_0$  je jedinična cijena, a " $b_0$ " je faktor kapitalizacije stalnih troškova.

Prema tome je kapitalizirana cijena gubitaka praznog hoda:

$$G_{ok} = 638 \cdot 9.43 \approx 6000 \text{ DEM/kW}$$

#### 6.2 Kapitalizirana cijena gubitaka zbog opterećenja

Opterećenja s kojim se računaju cijene gubitaka su srednja opterećenja u toku vijeka trajanja transformatora i označena su sa  $S_{max}$ , pa je kapitalizirana jedinična cijena gubitaka zbog opterećenja dana izrazom:

$$G_{ik} = G_i \cdot \left( \frac{S_{max}}{S_n} \right)^2 \cdot b_s \quad (10)$$

**Tablica 5** Kapitalizirane specifične cijene gubitaka zbog opterećenja  $G_{ik}$

(računa se kod 60% opterećenja trafoa)

| Trafo (MVA)       | 4    | 8    | 16   | 20   | 40   | 63   |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| $G_{ik}$ (DEM/kW) | 1215 | 1270 | 1324 | 1442 | 1500 | 1540 |

Kapitalizirane cijene gubitaka koje su izračunate su troškovne, jer uzimaju u obzir samo gole gospodarske i tehničke parametre. Ali valja upozoriti na činjenicu da se u nekim stranim elektroprivredama (npr. Švedska) osim ekonomskog vrednovanja, u principu, uzima u obzir i ekološko, s namjerom da se tako dobije mogućnost odgode izgradnje mreže i elektrana kroz smanjene gubitke u transformatorima. Treba, dakle, riješiti da li se u tu svrhu može podnijeti (i za koliko) eventualno povećana cijena transformatora.

Kapitalizirana se cijena gubitaka može pomnožiti, dakle, nekim "ekološkim" ili "strateškim" faktorom kojim bi se eventualno uvećale izračunate osnovne cijene gubitaka, što bi onda vjerojatno dovelo i do povećanja cijene transformatora. Naravno, takav bi transformator imao još manje gubitke energije i tako će se vjerojatno doći do optimalnog gospodarsko-ekološkog cilja u budućnosti.

### 3.4 Formule kapitalizacije transformatora

Na Tablici 6 dane su formule kapitalizacije za 30-godišnji period u kojima su uključene specifične cijene gubitaka kao i relativno opterećenje ( $X = 60\%$ ) transformatora s kojim se prosječno u tijeku života transformatora računa.

Tablica 6. Formule kapitalizacije transformatora (DEM)

| Transformator | Formula kapitalizacije               |
|---------------|--------------------------------------|
| 4 MVA         | $K = 1.07 C_T + 6000 P_0 + 1215 P_T$ |
| 8 MVA         | $K = 1.07 C_T + 6000 P_0 + 1270 P_T$ |
| 16 MVA        | $K = 1.07 C_T + 6000 P_0 + 1324 P_T$ |
| 20 MVA        | $K = 1.07 C_T + 6000 P_0 + 1442 P_T$ |
| 40 MVA        | $K = 1.07 C_T + 6000 P_0 + 1500 P_T$ |
| 63 MVA        | $K = 1.07 C_T + 6000 P_0 + 1540 P_T$ |

Za usporedbu navest ćemo i cijene gubitaka u transformatorima u nekim stranim elektroprivredama

Tablica 7 Cijene gubitaka u transformatorima u pojedinim zemljama  
Transformatori (iznad 1 kV) do napona 123 kV  
(izvor: ponude, tražene od domaćeg proizvođača)

| ZEMLJA            | Gubici praznog hoda<br>(DEM/kW) | Gubici zbog optereć.<br>(DEM/kW) |
|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Švedska           | 13904                           | 1939                             |
| Irska             | 12311                           | 8787                             |
| Austrija          | 10763                           | 7907                             |
|                   | 9975                            | 3325                             |
| Nigerija          | 2125                            | 1057                             |
| Tajland           | 10675                           | 2100                             |
|                   | 8400                            | 5600                             |
|                   | 11025                           | 5775                             |
| Kolumbija         | 3500                            | 1750                             |
| Filipini          | 5919                            | 3428                             |
|                   | 3470                            | 1920                             |
| Malezija          | 5600                            | 700                              |
|                   | 4550                            | 2625                             |
| Bangladeš         | 5985                            | 670                              |
| Egipat            | 13125                           | 350                              |
| UAE               | 7700                            | 3850                             |
| Australija        | 13125                           | 2100                             |
| Njemačka          | 8750                            | 3500                             |
| Jordan            | 5075                            | 543                              |
| Dubai             | 3850                            | 613                              |
| Siera Leone       | 6125                            | 2275                             |
| Iran              | 12600                           | 1365                             |
| Java (Indonezija) | 5075                            | 1750                             |



#### 4. OSTALI TEHNIČKI ZAHTJEVI ZA KONSTRUKCIJU TRANSFORMATORA

Svi tehnički zahtjevi za konstrukciju transformatora dani su u studiji u obliku studijske "Specifikacije zahtjeva..." (tendera) i to posebno za transformatore 4 MVA do 16 MVA, a posebno za one od 20 MVA do 63 MVA. Najveći dio zahtjeva sukladan je s međunarodnim normama IEC, a kod nekih zahtjeva koriste se i DIN norme.

Razlika između dvije spomenute skupine transformatora je u tome što prva nije predviđena s tercijarnim namotom te u razini opremljenosti. Za skupinu "malih transformatora" npr. nije predviđena zaštita autonomnom termoslikom.

Regulacijska sklopka predviđena je na svim transformatorima s mogućnošću automatske regulacije napona  $110 \text{ kV} \pm 10 \times 1,5\%$ .

Jedan od zanimljivijih tehničkih zahtjeva tiče se ograničenja struje praznog hoda zbog povećanja nazivnog napona. Kod nominalnog napona traži se da ona bude ispod 1% nominalne struje, a kod 10% povećanog nazivnog napona treba biti manja ili najviše jednaka trostrukoj nazivnoj struji praznog hoda.

Kod uvjeta za napon kratkog spoja traži se da kod većih transformatora on ne bude veći od 11%.

Predviđa se ispitivanje namota različitim podnosivim i odrezanim naponskim valovima, ispitivanje kotla transformatora na propusnost ulja i sl.

U tenderima je velika pozornost dana i ostalim ispitivanjima i upravljanju kakvoćom, što bi moralo osigurati kvalitetan i dugotrajan rad transformatora u pogonu.

#### 5. PRELIMINARNI REZULTATI OPTIMIRANJA ENERGETSKOG REGULACIJSKOG TRANSFORMATORA

Na temelju "Specifikacije zahtjeva...", koja detaljno prikazuje kakva se konstrukcija transformatora tehnički traži, proizvođač je za pokus proveo optimizaciju konstrukcije nekih transformatora prema formuli kapitalizacije.

Rezultat tog optimiranja je nova serija transformatora, preliminarno načinjena za studiju.

Pregled osnovnih parametara nekih transformatora standardne i "nove" konstrukcije dana je u slijedećoj Tablici 8.

**Tablica 8** Nominalni podaci nekih transformatora 110/x kV standardnog niza i novih (za koje su izvršeni proračuni)

| Transformator<br>(kVA) | Cijena<br>(DEM) | Gubici praz.<br>hoda $P_0$<br>(kW) | Gubici zbog<br>opterećenja<br>$P_t$<br>(kW) | Omjer<br>gubitaka<br>$P_t/P_0$ |
|------------------------|-----------------|------------------------------------|---|--------------------------------|
|------------------------|-----------------|------------------------------------|---|--------------------------------|

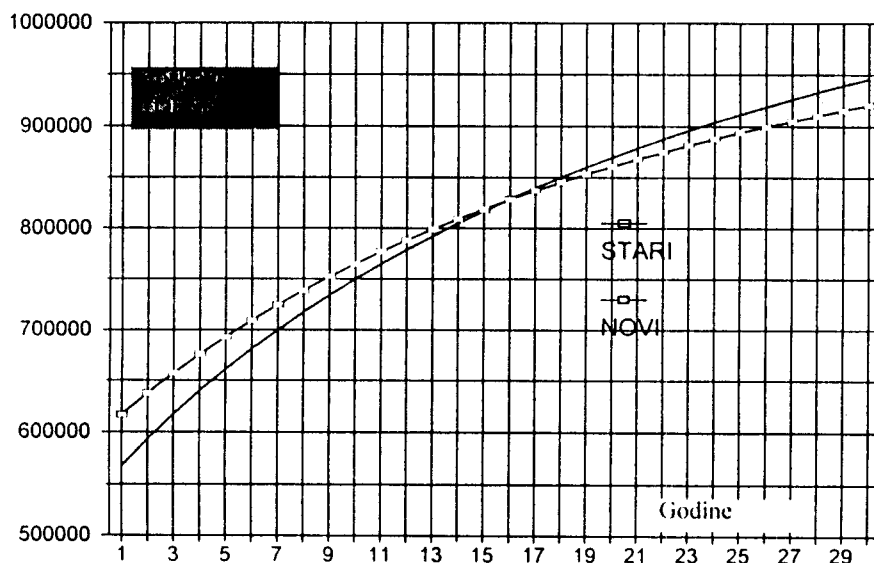
Iz redovite proizvodnje:

|       |        |      |       |     |
|-------|--------|------|-------|-----|
| 4000  | 135000 | 7.6  | 36.0  | 4.7 |
| 8000  | 220000 | 10.0 | 60.0  | 6.0 |
| 16000 | 420000 | 15.0 | 95.0  | 6.3 |
| 20000 | 540000 | 20.0 | 120.0 | 6.0 |

Prema proračunu "novi":

|       |        |      |      |     |
|-------|--------|------|------|-----|
| 4000  | 143100 | 6.2  | 23.0 | 3.7 |
| 8000  | 235000 | 8.3  | 45.0 | 5.4 |
| 16000 | 457800 | 13.5 | 73.0 | 5.4 |
| 20000 | 594000 | 15.5 | 92.0 | 5.9 |

Rezultati proračuna uspoređeni su metodom kumulativnih godišnjih aktualiziranih troškova jednog standardnih ("starih") i proračunatih transformatora ("novih"). Na sljedećoj slici 2 dana je za primjer usporedba načinjena za transformator nazivne snage 20 MVA.



**Slika 2.** Usporedba kumulativnih aktualiziranih troškova dvaju energetskih regulacijskih transformatora nazivne snage 20 MVA

Usporedba je načinjena uz pretpostavku diskontne stope 10%, stope porasta opterećenja od 3,5% i srednjeg relativnog opterećenja 60% nazivne snage transformatora. Period usporedbe je 30 godina.

Izjednačenje troškova nastaje oko 15. godine eksploatacije, a konačni su kapitalizirani troškovi novog transformatora 2,7% niži.

Proračunati transformatori svakako još ne odgovaraju traženjima iz studije jer npr. omjeri gubitaka s povećanjem snage još uvijek rastu, umjesto da padaju. Međutim, ipak su kod nove serije manji nego kod stare. Također su i sami gubici transformatora znatno sniženi – praznog hoda za 22,5%, a kratkog spoja 23,3%.

Da bi se udovoljilo traženom omjeru gubitaka trebalo bi gubitke kratkog spoja još sniziti – za ovaj transformator na oko 65 kW, što bi značilo ukupno za više od 45%. Ako bi se zbog tog razloga cijena transformatora povećala do 5%, izjednačenje troškova ostalo bi na polovici perioda, ali bi ukupni kapitalizirani troškovi novog transformatora bili 5% niži (ukupne uštede više od 45000 DEM samo na jednom transformatoru).

## 6. ZAKLJUČAK

U studiji u (Lit. 1) načinjeno je preliminarno istraživanje optimalnih tehničko – gospodarstvenih parametara energetske regulacijske transformatora. Istraživanje se temeljilo na utvrđivanju ponajprije čim realnijih cijena gubitaka električne energije i snage na razini proizvodnje Hrvatske elektroprivrede te potom određivanju tzv. formule kapitalizacije. Rezultati kapitaliziranih cijena gubitaka u praznom hodu ("u željezu") i kratkom spoju ("u bakru") uspoređeni su s kapitaliziranim cijenama nekih stranih elektroprivreda. Obzirom da su ove cijene ovisne i o nekim specifičnim gospodarstvenim pokazateljima (diskontna stopa te stopa porasta opterećenja), treba ovakve proračune ponavljati svaki put kad se dođe do saznanja da se u tom smislu nešto promijenilo, što naravno vrijedi i za tehničke parametre ako se uoči da neka nova tehnologija donosi nešto novo u tom smislu.

U svakom slučaju smatramo da bi najprije trebalo unutar HEP-a usuglasiti "Specifikacije zahtjeva za energetske regulacijske uljne transformatore napona 110 kV" i ostale ulazne parametre (naročito cijene kapitaliziranih troškova gubitaka u transformatoru) te zatim ponoviti proračune za sve transformatore u standardnom nizu do 63 MVA, a u niz uključiti i "male" transformatore 4 do 16 MVA. Nakon toga, provela bi se rasprava i donijeli "Tehnički uvjeti za energetske regulacijske transformatore 110/x kV".

## 7. LITERATURA

- Lit. 1 E. Mihalek: "Izbor i tipizacija optimalnih parametara energetske regulacijske transformatora", studija, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1994.

