

## STRUJNO OPTEREĆENJE KABLOVSKIH VODOVA 10 kV I UTICAJ NA IZBOR TIPSKOG PRESEKA

D. Tasić\*, Elektronski fakultet, Niš, Srbija  
M. Tanasković, PD Elektrodistribucija-Beograd, Beograd, Srbija  
M. Stojanović, Elektronski fakultet, Niš, Srbija

### UVOD

Zbog urbanističkih zahteva, a i potrebe za većom pouzdanošću, za gradske mreže se primenjuju kablovi. U velikom broju razvijenih zemalja, kod mreža srednjeg napona (SN), se koriste kablovi sa izolacijom od umreženog polietilena. Razvoj i primena ovih kablova naročito je izražena u poslednjih tridesetak godina [1,3]. Takođe, treba istaći da se još uvek u znatnoj meri koriste i kablovi sa izolacijom od impregnisanog papira. Činjenica da su se kablovi sa izolacijom od impregnisanog papira dugo održali u upotrebi govori o njihovoj velikoj pouzdanosti.

Umreženi polietilen ima mali faktor dielektričnih gubitaka ( $tg\delta=10^{-4}$  na  $20^{\circ}\text{C}$  i 50Hz), veliku dielektričnu čvrstoću, relativna dielektrična konstanta ( $\epsilon_r=2.3\div 2.5$ ) mu je manja u odnosu na druge izolacione materijale. Što se tiče toplotnih karakteristika polietilen u poređenju sa drugim izolacionim materijalima ima najmanju vrednost specifične toplotne otpornosti ( $3\div 3.5$  Km/W). Pored toga, kod njega se dozvoljava temperatura provodnika od  $90^{\circ}\text{C}$  u normalnom pogonu i  $130^{\circ}\text{C}$  u nužnom pogonu. Nedostatak izolacije od umreženog polietilena je mala otpornost na mehanička oštećenja.

U upoređenju sa umreženim polietilenom impregnisanog papira ima veću specifičnu toplotnu otpornost (6Km/W) i manje dozvoljene temperature zagrevanja u normalnom ( $65^{\circ}\text{C}$ ) i nužnom ( $95\div 100^{\circ}\text{C}$ ) pogonu. Kao glavni nedostatak kablova sa izolacijom od impregnisanog papira ističe se mogućnost tečenja kompaunda. Ovaj nedostatak je delimično otklonjen korišćenjem izolacije od naročito impregnisanog papira (polučvrsti kompaund). S ovom izolacijom dozvoljava se temperatura zagrevanja u normalnom pogonu od  $70\div 85^{\circ}\text{C}$  i u nužnom pogonu  $110^{\circ}\text{C}$ .

Tehničkom preporukom Elektrodistribucija Srbije br. 3 [2] preporučuje se primena kablova tipa NPO 13-A i XHE 49-A preseka provodnika od 50, 95, 150 i  $240\text{ mm}^2$  za kablovske mreže nominalnog napona 10 kV.

---

\* Prof. dr Dragan Tasić, dipl.inž.el, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš  
tel. +381(0)18/529-110, +381(0)63/690-609, E-mail: [dragan.tasic@elfak.ni.ac.rs](mailto:dragan.tasic@elfak.ni.ac.rs)

## TERMIČKI DOZVOLJENA STRUJA KABLA U NORMALNOM POGONU

Termički dozvoljena struja kabla u stacionarnom režimu određena je trajno dozvoljenom temperaturom provodnika (odnosno izolacije). Pri određivanju ove struje moraju se pored konstruktivnih karakteristika kabla uvažiti i ambijentni uslovi u okolini kabla. Za kablove položene u zemlju potrebno je uvažiti činjenicu da dolazi do isušivanja zemljišta u neposrednoj blizini kabla, kao i da jedan sloj zemljišta blizu kabla prati promenu opterećenja dok je ostali deo inertan i zagreva se pomoću srednje snage gubitaka. Imajući ovo u vidu, a zanemarujući dielektrične gubitke u izolaciji kabla, dolazi se do sledeće relacije za termički dozvoljenu struju kabla u stacionarnom režimu:

$$I = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_a + \frac{\rho_{zi} - \rho_z}{\rho_z} \Delta\theta_{xz}}{n R' (R_{Tki} + R_{Txy})}}, \quad (1)$$

gde je:

$\theta_p$  - temperatura provodnika,

$\theta_a$  - temperatura referentnog zemljišta (ambijenta),

$\rho_z$  - specifična toplotna otpornost neisušenog zemljišta,

$\rho_{zi}$  - specifična toplotna otpornost isušenog sloja zemljišta,

$\Delta\theta_{xz}$  - pad temperature u neisušenom sloju zemljišta,

$n$  - broj provodnika kabla,

$R'$  - fiktivna električna otpornost provodnika na temperaturi  $\theta_p$ ,

$R_{Tki}$  - fiktivna termička otpornost kabla za gubitke uslovljene strujom,

$R_{Txy}$  - termička otpornost kada je celokupno zemljište isušeno.

Pad temperature  $\Delta\theta_{xz}$  u [5,6] se određuje u funkciji faktora opterećenja  $m$  pomoću relacije:

$$\Delta\theta_{xz} = 15 + \frac{100(1-m)}{3}. \quad (2)$$

Fiktivna električna otpornost provodnika kabla je:

$$R' = R(1 + \lambda_{mo} + \lambda_{ar}), \quad (3)$$

gde je  $R$  električna otpornost provodnika za naizmeničnu struju na temperaturi  $\theta_p$ ,  $\lambda_{mo}$  odnos snage gubitaka u metalnom omotaču usled cirkulacione struje i snage gubitaka u provodniku kabla, a  $\lambda_{ar}$  odnos snage gubitaka u metalnoj armaturi i snage gubitaka u provodniku kabla.

Fiktivna termička otpornost kabla za gubitke uslovljene strujom određuje se pomoću relacije:

$$R_{Tki} = \frac{\frac{R_{T1}}{n} + (1 + \lambda_{mo})R_{T2}}{1 + \lambda_{mo} + \lambda_{ar}} + R_{T3}, \quad (4)$$

pri čemu su sa  $R_{T1}$ ,  $R_{T2}$  i  $R_{T3}$  obeležene termičke otpornosti izolacije, sloja između metalnog omotača i mehaničke zaštite i omotača mehaničke zaštite respektivno.

Termička otpornost kada je celokupno zemljište isušeno [6,7] je:

$$R_{Txy} = \frac{\rho_{zi}}{2\pi} \left\{ \ln k + (\mu - 1) \ln k_y + \sum_{i=1}^{n_y} \chi_i \left[ \ln \frac{a'_{ik}}{a_{ik}} + (\mu_i - 1) \ln k_y \right] + \sum_{i=n_y+1}^n \chi_i \mu_i \ln \frac{a'_{ik}}{a_{ik}} \right\}, \quad (5)$$

gde je:

$k$  - faktor geometrije kabla,

$k_y$  - faktor geometrije sloja zemljišta koji prati promenu opterećenja,

$n_y$  - broj kablova koji se nalaze pored razmatranog kabla unutar kruga prečnika  $d_y$ ,

$n$  - ukupan broj kablova koji se nalaze pored razmatranog kabla,

$\mu_i$  - faktor gubitaka  $i$ -tog kabla,

$\chi_i$  - odnos gubitaka snage  $i$ -tog i razmatranog kabla,

$a_{ik}$  - rastojanje između razmatranog i  $i$ -tog kabla,

$a'_{ik}$  - rastojanje između razmatranog kabla i lika  $i$ -tog kabla,

Faktor geometrije kabla zavisi od dubine polaganja kabla u zemlju i njegovog prečnika. Koristeći teoremu preslikavanja [4,5,6] dolazi se do sledeće relacije:

$$k = \frac{2h}{d_k} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d_k}\right)^2 - 1} \approx \frac{4h}{d_k}, \quad (6)$$

gde je  $h$  dubina polaganja kabla u zemlju, a  $d_k$  prečnik kabla.

Faktor geometrije  $k_y$  se određuje pomoću relacije koja je identična relaciji (6), samo umesto prečnika kabla  $d_k$  treba staviti prečnik sloja zemljišta koje "prati" promenu opterećenja  $d_y$ .

Prečnik sloja zemljišta  $d_y$  koje "prati" promenu opterećenja u velikoj meri zavisi od oblika dijagrama opterećenja. U ovim analizama dnevni dijagram opterećenja se često ekvivalentira pravougaonikom ili sinusoidom. Za ova dva karakteristična oblika u literaturi [5] postoje odgovarajuće relacije pomoću kojih se izračunava prečnik  $d_y$ . Ipak, ova dva karakteristična slučaja ekvivalentiranja dnevnog dijagrama opterećenja isuviše su idealizovana. Zbog toga je za određivanje prečnika  $d_y$  pogodno koristiti hibridnu relaciju koja uključuje delimično i pravougaoni i sinusni oblik dijagrama dnevnog opterećenja [5,6,7]:

$$d_y = \frac{0.103 + 0.246\sqrt{\mu}}{\sqrt{f_t} \rho_z^{0.4}}, \quad (7)$$

gde je  $\mu$  faktor gubitaka a  $f_t$  učestanost promene opterećenja (za dnevni dijagram opterećenja često se može uzeti da je  $f_t=1$ ). U ovoj formuli je  $\rho_z$  u Km/W a  $d_y$  u metrima.

Faktor gubitaka  $\mu$  se izračunava pomoću faktora opterećenja  $m$ . Poznato je više relacija koje daju vezu između  $\mu$  i  $m$  a jedna od njih je:

$$\mu = 0.3m + 0.7m^2. \quad (8)$$

Ukoliko ne dolazi do isušivanja zemljišta u svim prethodnim relacijama treba umesto  $\rho_{zi}$  staviti  $\rho_z$ . Takođe, u slučaju da se razmatra konstantno opterećenje treba uzeti da je  $\mu = 1$ .

Korišćenjem postupaka za proračun termički dozvoljene struje kabla analizirana je mogućnost strujnog opterećenja trožilnih kablova NPO 13-A, 10 kV preseka 150 mm<sup>2</sup> i 240 mm<sup>2</sup> i jednožilnih kablova XHE 49-A, 10kV preseka 120 mm<sup>2</sup>, 150 mm<sup>2</sup> i 240 mm<sup>2</sup>. Za temperaturu referentne zemlje uzimane su vrednosti od 8°C (srednja vrednost temperature u zimskom periodu) i 20°C (vrednost koja odgovara letnjem periodu). Pored toga, uvaženo je da je dijagram opterećenja promenljiv pri čemu je kod proračuna korišćena vrednost za faktor opterećenja:  $m=0.7$ . Pri proračunu je za temperaturu provodnika u normalnom pogonu  $\theta_p$  korišćena vrednost od 65°C za kablove NPO 13-A, a za kablove XHE 49-A vrednost od 90°C.

TABELA 1. Strujna opteretljivost kablova tipa NPO i XHE 10 kV u grupi od 5 kablova, odnosno 5 kablovska sistema pri temperaturi zemlje  $\theta_a = 8^\circ\text{C}$

Tip Kabla	Intenzitet termički trajno dozvoljene struje $I_{td}$ [A]	
	$\rho_{zi}=2,5$ Km/W	Bez isušivanja
NPO 13-A, 3×150 mm <sup>2</sup>	191,8	215,7
NPO 13-A, 3×240 mm <sup>2</sup>	250,0	282,8
XHE 49-A, 3x(1×120 mm <sup>2</sup> )	194,4	246,9
XHE 49-A, 3x(1×150 mm <sup>2</sup> )	216,9	275,6
XHE 49-A, 3x(1×185 mm <sup>2</sup> )	244,6	312,2
XHE 49-A, 3x(1×240 mm <sup>2</sup> )	283,3	362,7

Pošto se u realnim situacijama javljaju slučajevi gde se na izlazu iz odgovarajuće transformatorske stanice u rov polaže i do 5 kablova, odnosno 5 kablovska sistema (pod kablovskim sistemom se ovde

podrazumeva skup od tri jednožilna kabla postavljena u snopu), to su u Tab.1. i Tab.2. dati podaci o mogućem strujnom opterećenju pomenutih kablova za takav slučaj. Pri proračunu je smatrano da je rastojanje između kablova, odnosno kablovskih sistema 7cm. U tabelama su date vrednosti za slučaj kada se uvažava isušivanje zemljišta ( $\rho_{zi}=2.5$  Km/W), kao i za slučaj bez isušivanja ( $\rho_{zi}=1$  Km/W). U slučajevima kada nema isušivanja zemljišta podrazumeva se korišćenje specijalne posteljice, tako da njena specifična toplotna otpornost ne pređe 1 Km/W.

TABELA 2. Strujna opteretljivost kablova tipa NPO i XHE 10 kV u grupi od 5 kablova, odnosno 5 kablovska sistema pri temperaturi zemlje  $\theta_a = 20^\circ\text{C}$

Tip Kabla	Intenzitet termički trajno dozvoljene struje $I_{td}$ [A]	
	$\rho_{zi}=2,5$ Km/W	bez isušivanja
NPO 13-A, $3 \times 150 \text{ mm}^2$	179,2	191,7
NPO 13-A, $3 \times 240 \text{ mm}^2$	233,6	251,2
XHE 49-A, $3 \times (1 \times 120 \text{ mm}^2)$	184,3	228,1
XHE 49-A, $3 \times (1 \times 150 \text{ mm}^2)$	205,7	254,6
XHE 49-A, $3 \times (1 \times 185 \text{ mm}^2)$	232,0	288,4
XHE 49-A, $3 \times (1 \times 240 \text{ mm}^2)$	268,7	335,1

Na osnovu podataka datih u Tab.1. i Tab.2 se zaključuje da su sa aspekta strujne opteretljivosti u normalnom pogonu saglasni kablovi NPO 13-A  $3 \times 240 \text{ mm}^2$  i XHE 49-A  $1 \times 185 \text{ mm}^2$ , kao i kablovi NPO 13-A  $3 \times 150 \text{ mm}^2$  i XHE 49-A  $1 \times 120 \text{ mm}^2$ . U slučajevima kada bi se koristila specijalna posteljica može se konstatovati da su sa aspekta strujne opteretljivosti u normalnom pogonu, saglasni kablovi NPO 13-A  $3 \times 240 \text{ mm}^2$  i XHE 49-A  $1 \times 150 \text{ mm}^2$ , dok je mogućnost strujnog opterećivanja kablova XHE 49-A  $1 \times 120 \text{ mm}^2$  znatno iznad mogućnosti opterećivanja kablova NPO 13-A  $3 \times 150 \text{ mm}^2$ .

TABELA 3. Strujna opteretljivost pojedinih kablova tipa NPO i XHE 10 kV položenih pojedinačno, odnosno u jednom kablovskom sistemu, pri temperaturi zemlje  $\theta_a = 8^\circ\text{C}$

Tip Kabla	Intenzitet termički trajno dozvoljene struje $I_{td}$ [A]	
	$\rho_{zi}=2,5$ Km/W	bez isušivanja
NPO 13-A, $3 \times 150 \text{ mm}^2$	264,4	291,5
XHE 49-A, $3 \times (1 \times 120 \text{ mm}^2)$	298,4	364,6
XHE 49-A, $3 \times (1 \times 150 \text{ mm}^2)$	333,2	407,2

TABELA 4. Strujna opteretljivost pojedinih kablova tipa NPO i XHE 10 kV položenih pojedinačno, odnosno u jednom kablovskom sistemu, pri temperaturi zemlje  $\theta_a = 20^\circ\text{C}$

Tip Kabla	Intenzitet termički trajno dozvoljene struje $I_{td}$ [A]	
	$\rho_{zi}=2,5$ Km/W	bez isušivanja
NPO 13-A, $3 \times 150 \text{ mm}^2$	246,0	259,0
XHE 49-A, $3 \times (1 \times 120 \text{ mm}^2)$	283,0	336,9
XHE 49-A, $3 \times (1 \times 150 \text{ mm}^2)$	316,0	376,2

U tabelama 3 i 4 dati su intenziteti struje pri pojedinačnom polaganju. Rezultati dati u ovim tabelama idu u prilog korišćenju kabla XHE 49-A  $3 \times (1 \times 120 \text{ mm}^2)$  umesto do sada u [2] usvojenog kabla XHE 49-A  $3 \times (1 \times 150 \text{ mm}^2)$ .

## TERMIČKI DOZVOLJENA STRUJA KABLA U NUŽNOM POGONU

Pod nužnim pogonom kablova podrazumeva se stanje kada je on znatno strujno opterećen, pri čemu temperatura provodnika prelazi trajno dozvoljenu vrednost. Termički dozvoljena struja u nužnom pogonu [6,8,9, 10,11] određuje se pomoću sledeće relacije:

$$I = I_R \left[ \frac{h^2 R_1}{R_{\max}} + \frac{(R_R / R_{\max}) (r - (h^2 R_1 / R_R))}{\mathcal{G}_R(t) / \mathcal{G}_R(\infty)} \right]^{1/2}, \quad (9)$$

gde je:

$$h = I_1 / I_R,$$

$$r = \mathcal{G}_{\max} / \mathcal{G}_R(\infty),$$

$I_1$  - intenzitet struje neposredno pre nastanka nužnog pogona,

$I_R$  - intenzitet struje sa kojom se u konkretnim uslovima polaganja kablova postiže dozvoljena temperatura provodnika u normalnom pogonu ( $\theta_p$ ),

$R_1$  - električna otpornost provodnika kabla na temperaturi koja se dostiže pri opterećenju strujom intenziteta  $I_1$ ,

$R_R$  - električna otpornost provodnika kabla na temperaturi koja se dostiže pri opterećenju strujom intenziteta  $I_R$ , tj. na temperaturi  $\theta_p$ ,

$R_{\max}$  - električna otpornost provodnika kabla na temperaturi koja se dostiže na kraju nužnog pogona ( $\theta_{\max}$ ), odnosno otpornost provodnika na maksimalno dozvoljenoj temperaturi provodnika u nužnom pogonu

$\mathcal{G}_{\max}$  - maksimalna nadtemperatura provodnika, tj. razlika između temperature  $\theta_{\max}$  i temperature ambijenta  $\theta_a$  ( $\mathcal{G}_{\max} = \theta_{\max} - \theta_a$ ),

$\mathcal{G}_R(t)$  - nadtemperatura provodnika koja bi se dostigla za vreme  $t$  pri opterećenju strujom intenziteta  $I_R$ ,

$\mathcal{G}_R(\infty)$  - vrednost nadtemperature provodnika  $\mathcal{G}_R$ , u stacionarnom stanju ( $\mathcal{G}_R(\infty) = \theta_p - \theta_a$ ),

$t$  - vreme trajanja nužnog pogona.

Do relacije (9) dolazi se pod pretpostavkom da je kabl pre nastanka nužnog pogona dovoljno dugo bio opterećen strujom intenziteta  $I_1$ , kao i da se na kraju nužnog pogona dostigne maksimalno dozvoljena temperatura  $\theta_{\max}$ .

Električne otpornosti  $R_1$  i  $R_{\max}$  se relativno jednostavno određuju znajući vrednost električne otpornosti provodnika  $R_R$  na temperaturi  $\theta_p$  i temperaturni koeficijent promene električne otpornosti. Za određivanje električne otpornosti  $R_1$  treba znati temperaturu  $\theta_1$  koja se postiže pri opterećenju strujom intenziteta  $I_1$ . Ova temperatura se može odrediti iterativnim putem koristeći postupak za proračun termički trajno dozvoljene struje.

Nadtemperatura provodnika koja bi se dostigla za vreme  $t$  pri opterećenju strujom intenziteta  $I_R$  [6,9,10] određuje se pomoću relacije:

$$\mathcal{G}_R(t) = \frac{\mathcal{G}_p(t)}{1 + \frac{1}{\frac{1}{\alpha_0} + \theta_i} (\mathcal{G}_R(\infty) - \mathcal{G}_p(t))}, \quad (10)$$

gde je:

$\alpha_0$  - temperaturni koeficijent promene električne otpornosti provodnika na 0°C,

$\theta_i$  - temperatura provodnika koja je prethodila nužnom pogonu.

$\mathcal{G}_p(t)$  - nadtemperatura provodnika koja bi se dostigla za vreme  $t$  strujom intenziteta  $I_R$ , pod uslovom da je električna otpornost provodnika konstantna i jednaka otpornosti na temperaturi  $\theta_p$ .

Za određivanje nadtemperature  $\mathcal{G}_p(t)$  u [6,9,10] se koristi sledeća relacija:

$$\mathcal{G}_p(t) = \mathcal{G}_{p0}(t) + A(t) \mathcal{G}_k(t), \quad (11)$$

gde je:

$\mathcal{G}_{p0}(t)$  - razlika temperatura provodnika i spoljne površine kabla u trenutku  $t$ ,

$\mathcal{G}_k(t)$  - razlika temperatura spoljne površine kabla i ambijenta (nadtemperatura kabla) u trenutku  $t$ ,

$A(t)$  - faktor temperaturnog doseg (attainment factor).

Razlika između temperature provodnika i temperature spoljne površine kabla (tj. nadtemperatura provodnika u odnosu na spoljnu površinu kabla) u trenutku  $t$  data je relacijom:

$$\mathcal{G}_{p0}(t) = P_p \left[ T_a (1 - e^{-at}) + T_b (1 - e^{-bt}) \right] . \quad (12)$$

U ovoj relaciji je se  $P_p$  obeležena snaga gubitaka u provodniku kabla, sa  $T_a$  i  $T_b$  odgovarajuće termičke otpornosti, dok su  $a$  i  $b$  konstante. Termičke otpornosti  $T_a$  i  $T_b$ , kao i konstante  $a$  i  $b$ , zavise od konstrukcije kabla. Postupak za njihovo izračunavanje je detaljno izložen u [6,9,10,11], te se zbog toga ovde ne navodi.

Faktor temperaturnog doseganja  $A(t)$  (attainment factor) predstavlja odnos nadtemperature  $\mathcal{G}_{p0}(t)$  i nadtemperature  $\mathcal{G}_{p0}(\infty)$  koja odgovara stacionarnom stanju, tj.

$$A(t) = \frac{\mathcal{G}_{p0}(t)}{\mathcal{G}_{p0}(\infty)} = \frac{\mathcal{G}_{p0}(t)}{P_p (T_a + T_b)} . \quad (13)$$

Nadtemperatura spoljne površine kabla  $\mathcal{G}_k(t)$ , tj. razlika temperatura spoljne površine kabla i ambijenta u trenutku  $t$  [6,8,9] može se odrediti pomoću sledeće relacije:

$$\mathcal{G}_k(t) = \frac{P \rho_z}{4\pi} \left\{ -Ei\left(-\frac{d_k^2}{16Dt}\right) + Ei\left(-\frac{h^2}{Dt}\right) + \sum_{i=1}^n \left[ -Ei\left(-\frac{a_{ik}^2}{4Dt}\right) + Ei\left(-\frac{a_{ik}'^2}{4Dt}\right) \right] \right\} \quad (14)$$

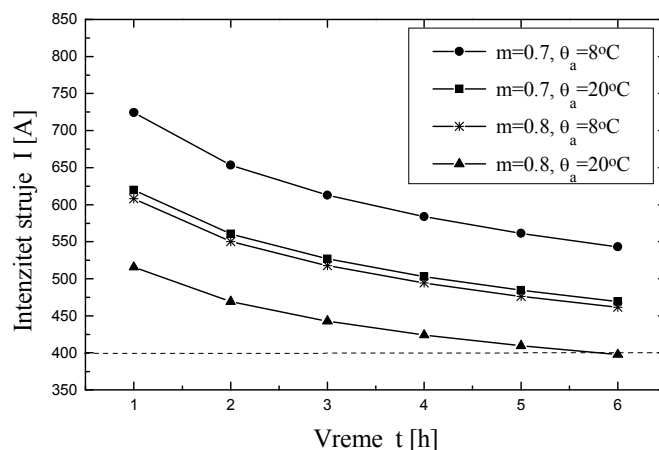
gde je:

- $P$  - ukupna snaga gubitaka u kablu,
- $D$  - toplotna difuzivnost zemljišta,
- $Ei(-x)$  - integral eksponencijalne funkcije.

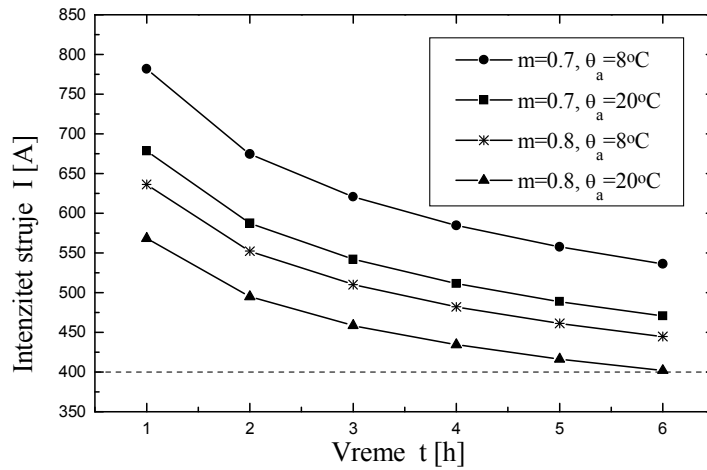
Toplotna difuzivnost zemljišta zavisi od specifične termičke otpornosti zemljišta i njene vrednosti su date u [8,9]. Integral eksponencijalne funkcije se relativno jednostavno izračunava koristeći odgovarajuće polinome [12].

Korišćenjem predhodno izloženog postupka određene su zavisnosti intenziteta struje od vremena trajanja nužnog pogona, za različite ambijentne uslove i za različita strujna opterećenja, koje su prikazane slikama 1+4. Kod proračuna strujnog opterećenja u nužnom pogonu za specifičnu toplotnu otpornost isušene zemlje je uzeta vrednost od 2.5 Km/W, za temperaturu provodnika kod kablova sa impregnisanim papirom vrednost od 105°C, a kablova sa umreženim polietilenom vrednost od 130 °C.

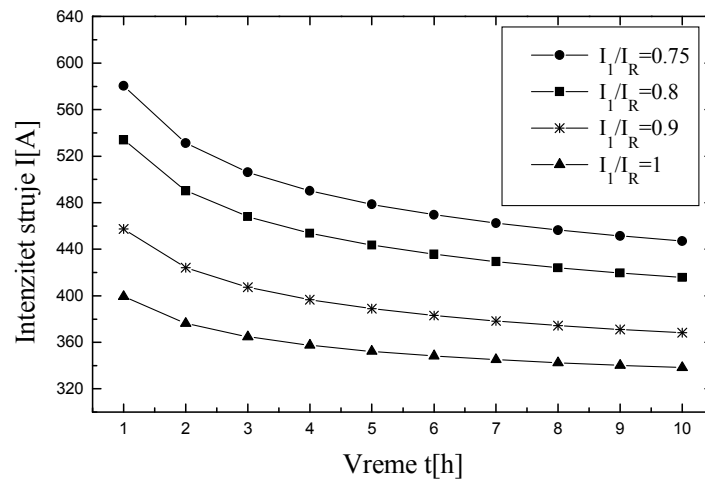
Na sl.1 prikazana je zavisnost intenziteta struje kabla NPO 13-A 3×240 mm<sup>2</sup> od vremena trajanja nužnog pogona u grupi od 5 kablova koji su pre nastanka nužnog pogona bili opterećeni sa  $I=200A$  pri  $\rho_{zi}=2.5$  Km/W. Pošto je sa aspekta strujne opteretljivosti u normalnom pogonu kablu NPO 13-A 3×240 mm<sup>2</sup> saglasan kabl XHE 49-A 1×185 mm<sup>2</sup>, to je na sl.2 prikazana zavisnost intenziteta struje ovog kabla od vremena trajanja nužnog pogona u grupi od 5 kablovska sistema. I ovde je uzeto da je opterećenje kablova pre nužnog pogona iznosilo 200 A. S obzirom da je pretpostavljeno opterećenje pre nastanka nužnog pogona bilo 200 A to se kod koncepcije SN mreža sa otvorenim prstenovima i međupoveznim vodovima u nužnom pogonu može očekivati opterećenje od 400 A. Sa slika 1 i 2 se vidi da opterećenje u nužnom pogonu od 400 A mogu da izdrže i kablovi NPO 13-A 3×240 mm<sup>2</sup> i kablovi XHE 49-A 1×185 mm<sup>2</sup>. Pri tome je pretpostavljeno da nužni pogon ne traje duže od 6 h.



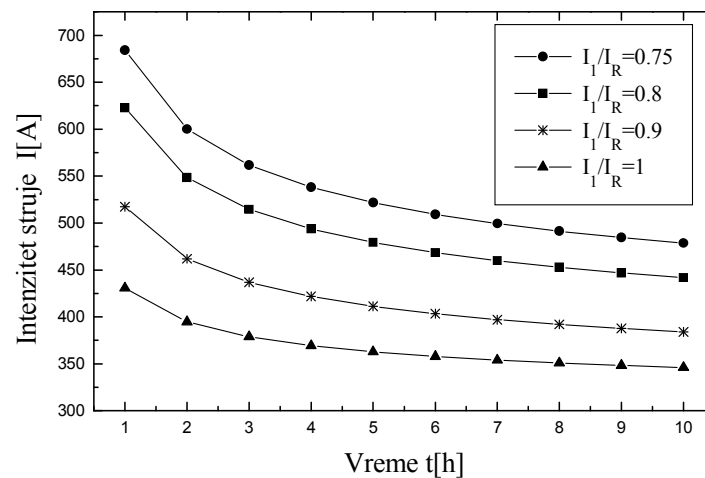
Sl.1. Zavisnost intenziteta struje kabla NPO 13-A 3×240 mm<sup>2</sup> od vremena trajanja nužnog pogona u grupi od 5 kablova koji su pre nastanka nužnog pogona bili opterećeni sa  $I=200A$  pri  $\rho_{zi}=2.5$  Km/W



Sl.2 .Zavisnost intenziteta struje kabla XHE 49-A 3x(1×185 mm<sup>2</sup>) od vremena trajanja nužnog pogona u grupi od 5 kablovska sistema koji su pre nastanka nužnog pogona bili opterećeni sa I=200A pri  $\rho_{zi}=2.5$  Km/W



Sl.3. Zavisnost intenziteta struje kabla NPO 13-A 3×150 mm<sup>2</sup> od vremena trajanja nužnog pogona za različita opterećenja pre nastanka nužnog pogona pri  $m=0.8$ ,  $\theta_a = 8^\circ\text{C}$ ,  $\rho_{zi}=2.5$  Km/W i pojedinačnom postavljanju



Sl.4. Zavisnost intenziteta struje kabla XHE 49-A 1×120 mm<sup>2</sup> (tri kabla postavljena u snopu) od vremena trajanja nužnog pogona za različita opterećenja pre nastanka nužnog pogona pri  $m=0.8$ ,  $\theta_a = 8^\circ\text{C}$  i  $\rho_{zi}=2.5$  Km/W

Radi boljeg uvida u mogućnost eksploatacije kablova XHE 49-A 1×120 mm<sup>2</sup> i NPO 13-A 3×150 mm<sup>2</sup> na slikama 3 i 4 su date zavisnosti intenziteta struje ovih kablova od vremena trajanja nužnog pogona pri pojedinačnom polaganju. Sa slika se vidi da su uzimana u obzir različita opterećenja u normalnom pogonu pri faktoru opterećenja  $m=0.8$ , temperaturi zemljišta  $\theta_a = 8^\circ\text{C}$  i specifičnoj toplotnoj otpornosti isušene zemlje  $\rho_{zi}=2.5 \text{ Km/W}$ . Vidi se da što je manje opterećenje u normalnom pogonu to je veća mogućnost opterećenja u nužnom pogonu. Ovo je posledica niže temperature provodnika pri manjem opterećenju u normalnom pogonu, odnosno većeg dozvoljenog temperaturnog porasta (do  $\theta_{max}$ ) u nužnom pogonu.

## ZAKLJUČAK

U radu su analizirana strujna opterećenja trožilnih kablova tipa NPO 13-A, 10 kV preseka 150 mm<sup>2</sup> i 240 mm<sup>2</sup>, kao i jednožilnih kablova XHE 49-A, 10 kV preseka 120 mm<sup>2</sup>, 150 mm<sup>2</sup> i 185 mm<sup>2</sup> u normalnom i nužnom pogonu. Pokazuje se da kablovi imaju znatnu mogućnost strujnog opterećivanja u nužnom pogonu, što znači da se može dozvoliti njihovo veće opterećivanje u normalnom pogonu u odnosu na postojeću praksu.

Takođe, iz predhodno izloženog možemo zaključiti da umesto do sada usvojenih tipskih preseka kablova u [2], za kablove sa čvrstim dielektrikom, tipa XHE 49-A, treba za uobičajene uslove polaganja bez specijalne posteljice usvojiti za grupno polaganje presek od 185 mm<sup>2</sup>, odnosno za pojedinačno polaganje presek 120 mm<sup>2</sup>. Naime, pored ekonomskih razloga za izmenu usvojenih tipskih preseka u [2] za kablove tipa XHE 49-A, 10kV, dosadašnja primena ovih kablova preseka 150 mm<sup>2</sup> (240 mm<sup>2</sup>) vodila je ka čestim zahtevima za promenu prenosnog odnosa strujnih mernih transformatora. Pored toga, ukoliko se ne bi preispitala primena preseka 150 mm<sup>2</sup> (240 mm<sup>2</sup>) kod kablova tipa XHE 49-A, 10kV, neminovno je da bi se s obzirom na prenosni kapacitet morao preispitati i optimalni broj izvoda na SN strani u TS VN/SN.

## LITERATURA

- [1] Nikolajević S., "Tendencija razvoja mreže srednjeg napona", XV Simpozijum o kablovima, R III-04, Novi Sad, 1998.
- [2] \*\*\*, *Tehnička preporuka br.3*, Elektrodistribucija Srbije, oktobar 1991.
- [3] Rajaković N., Tasić D., *Distributivne i industrijske mreže*, Elektrotehnički fakultet i Akademska misao, Beograd, 2008.
- [4] \*\*\*, *Calculation of the Continuous Current Rating of Cables*, IEC Publication 287, 1982.
- [5] Heinhold L., *Power Cables and Their Application*, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin, 1990.
- [6] Tasić D., *Osnovi elektroenergetske kablovske tehnike*, Edicija Osnovni udžbenici, Elektronski fakultet, Niš, 2001.
- [7] Tasić D., Rajaković N., "Uticaj promenljivog opterećenja i isušivanja zemljišta na intenzitet termički trajno dozvoljene struje kablova", XIV Simpozijum o kablovima, R.3.03, Jagodina, 1996.
- [8] S. Y. King, N. A. Halfter, *Underground Power Cables*, Longman, London, 1982.
- [9] \*\*\*, *Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 2*, IEC Publication 853-2, 1989
- [10] Lalević B., Tanasković M., "Strujna opteretljivost visokonaponskih kablova u nužnom pogonu", Elektrodistribucija, br.3, 1993., str.219-233.
- [11] Tasić D., Rajaković N., "Strujna opteretljivost kablova distributivnih mreža u nužnom pogonu", XVI Međunarodni simpozijum o kablovima, R.5.02, Sokobanja, 2000.
- [12] Abramowitz M., Stegun I., *Handbook of Mathematical Functions*, Dover Publications, INC., New York, 1972.