

UTICAJ DNEVNOG DIJAGRAMA OPTEREĆENJA NA ZAGREVANJE JEDNOŽILNIH KABLOVA POLOŽENIH U ZEMLJU

M. Stojanović*, Elektronski fakultet, Niš, Srbija
D. Tasić, Elektronski fakultet, Niš, Srbija
N. Cvetković, Elektronski fakultet, Niš, Srbija
A. Ristić, Elektronski fakultet, Niš, Srbija

UVOD

U današnje vreme primena kablova sa izolacijom od umreženog polietilena je veoma rasprostranjena i to kako u srednjenaponskim mrežama tako i u mrežama visokog napona [1,2]. Razvoj i primena ovih kablova naročito je izražena u poslednjih tridesetak godina. Umreženi polietilen ima mali faktor dielektričnih gubitaka ($tg\delta=3\cdot 10^{-4}$ na 20°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°C u normalnom pogonu i 130°C u nužnom pogonu. Nedostatak izolacije od umreženog polietilena je mala otpornost na mehanička oštećenja.

Izračunavanje dozvoljenog strujnog opterećenja kablova veoma dugo zaokuplja pažnju stručnjaka u ovoj oblasti [3-9]. Strujna opteretljivost kablova koju daju proizvođači kablova određena je prema standardu [10] i pretpostavlja konstantno opterećenje u toku dana, odnosno da je faktor opterećenja jednak jedinici. Dnevni dijagrami opterećenja nisu konstantni pa opterećenja kablova, u periodu maksimalnog dnevnog opterećenja može biti veće od kataloške trajno dozvoljene struje. U standardu IEC60853-1 [11] dat je postupak za procenu mogućnosti preopterećenja kablova izloženih promenljivom dnevnom dijagramu opterećenja koji se odnosi na kablove naponskih nivoa do 30 kV kod kojih se može zanemariti toplotni kapacitet izolacije. Ovaj postupak omogućava da se bez primene računara odredi koliko procenata se može kabl preopteretiti u odnosu na naznačeno opterećenje za poznati dijagram opterećenja. Standard IEC60853-2 [12] razmatra kablove naponskog nivoa iznad 30 kV, i takođe daje jednostavan postupak za određivanje dozvoljenog faktora preopterećenja ovih kablova. Za razliku od standarda IEC60853-1 u ovom slučaju nije zanemarena toplotna kapacitivnost kablova, već se za proračun koristi dobro poznata ekvivalentna šema sa dve petlje. Standard IEC60853-2 se naravno može primeniti i na kablove naponskog nivoa ispod 30 kV, ali

* Mr Miodrag Stojanović, dipl.inž.el, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš
tel. +381(0)18/529-135, +381(0)63/1045549, E-mail: miodrag.stojanovic@elfak.ni.ac.rs

je ideja postojanja standarda IEC60853-1 da maksimalno pojednostavi proračun. Sa druge strane, razlika u dobijenim rezultatima kod ovih kablova je zanemarljiva.

U ovom radu su prikazani i diskutovani rezultati analize nestacionarnog zagrevanja jednožilnih kablova položenih direktno u zemlju. U cilju analize nestacionarnog zagrevanja kablova korišćen je dnevni dijagram sa tri nivoa opterećenja, čiji se oblik može definisati sa dva parametra. Pri analizi su varirani parametri koji utiču na rezultat (termička provodnost i difuznost zemljišta, rastojanje između kablova itd.), i određen je opseg promene temperature provodnika t.j. minimalna i maksimalna temperatura provodnika.

TRAJNO DOZVOLJENA STRUJA KABLA

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 [3,8]. Međutim, ukoliko se kod polaganja kablova koristi posteljica može se smatrati da ne dolazi do isušivanja zemljišta i da je:

$$I = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_a - P_d (R_{Tkd} + R_{Tz})}{n R' (R_{Tki} + R_{Tz})}} \quad , \quad (1)$$

gde je:

- θ_p – temperatura provodnika,
- θ_a – temperatura referentnog zemljišta (ambijenta),
- n – broj provodnika kabla,
- R' – fiktivna električna otpornost provodnika na temperaturi θ_p ,
- R_{Tki} – fiktivna termička otpornost kabla za gubitke uslovljene strujom,
- R_{Tkd} – fiktivna termička otpornost kabla za dielektrične gubitke,
- R_{Tz} – termička otpornost zemlje.

Fiktivna električna otpornost provodnika kabla je:

$$R' = R(1 + \lambda_{mo} + \lambda_{ar}) \quad , \quad (2)$$

gde je R električna otpornost provodnika za naizmeničnu struju na temperaturi θ_p , λ_{mo} odnos snage gubitaka u metalnom omotaču usled cirkulacione struje i snage gubitaka u provodniku kabla, a λ_{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:

$$R_{Tki} = \frac{\frac{R_{T1}}{n} + (1 + \lambda_{mo})R_{T2}}{1 + \lambda_{mo} + \lambda_{ar}} + R_{T3} \quad , \quad (3)$$

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. Fiktivna termička otpornost kabla za dielektrične gubitke je:

$$R_{Tkd} = \frac{R_{T1}}{2n} + R_{T2} + R_{T3} \quad . \quad (4)$$

Termička otpornost zemlje za kabl koji se nalazi u grupi sa još m kablova određuje se kao:

$$R_{Tz} = \frac{\rho_{Tz}}{2\pi} \left[\ln k + \sum_{i=1}^m \chi_i \ln \frac{a'_{ik}}{a_{ik}} \right] \quad , \quad (5)$$

gde je:

- ρ_{Tz} – specifična toplotna otpornost zemljišta,

- k – faktor geometrije kabla,
 a_{ik} – rastojanje između razmatranog i i -tog kabla,
 a'_{ik} – rastojanje između razmatranog kabla i lika i -tog kabla,
 χ_i – odnos gubitaka snage i -tog i razmatranog 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.

NESTACIONARNO ZAGREVANJE KABLOVA

Analiza nestacionarnog zagrevanja kablova je dosta složen zadatak. Temelji ove analize postavljeni su u radu [3], a standardizovani su kroz standarde IEC60853 u kojima je osnovna pažnja usmerena ka određivanju cikličnog faktora preopterećenja i opteretljivosti kablova u nužnom pogonu. Za određivanje nadtemperature provodnika koja je posledica strujnog opterećenja $\mathfrak{G}_p(t)$ u trenutku t nakon uključivanja nekog opterećenja se koristi relacija [2,12]:

$$\mathfrak{G}_p(t) = \mathfrak{G}_{p0}(t) + A(t) \mathfrak{G}_k(t) , \quad (7)$$

gde je:

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

$\mathfrak{G}_k(t)$ – 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:

$$\mathfrak{G}_{p0}(t) = P_p [R_{Ta}(1 - e^{-at}) + R_{Tb}(1 - e^{-bt})] . \quad (8)$$

U ovoj relaciji je sa P_p obeležena snaga gubitaka u provodniku kabla, sa R_{Ta} i R_{Tb} odgovarajuće termičke otpornosti, dok su a i b konstante. Termičke otpornosti R_{Ta} i R_{Tb} , kao i konstante a i b , zavise od konstrukcije kabla. Postupak za njihovo izračunavanje je detaljno izložen u [2,6,7,12].

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

$$A(t) = \frac{\mathfrak{G}_{p0}(t)}{\mathfrak{G}_{p0}(\infty)} = \frac{\mathfrak{G}_{p0}(t)}{P_p(R_{Ta} + R_{Tb})} . \quad (9)$$

Nadtemperatura spoljne površine kabla $\mathfrak{G}_k(t)$, tj. razlika temperatura spoljne površine kabla i ambijenta u trenutku t može se odrediti pomoću relacije [2,11,12]:

$$\mathfrak{G}_k(t) = \frac{P \rho_{Tz}}{4\pi} \left\{ -Ei\left(-\frac{d_k^2}{16Dt}\right) + Ei\left(-\frac{h^2}{Dt}\right) + \sum_{i=1}^m \chi_i \left[-Ei\left(-\frac{a_{ik}^2}{4Dt}\right) + Ei\left(-\frac{a'_{ik}{}^2}{4Dt}\right) \right] \right\} \quad (10)$$

gde je:

P – snaga ukupnih 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 [2,7,12], a integral eksponencijalne funkcije se relativno jednostavno izračunava koristeći odgovarajuće polinome [13].

Da bi se odredila temperatura provodnika, nadtemperaturi koja je izračunata prema (7) potrebno je dodati temperaturu referentne zemlje i nadtemperaturu koja je posledica dielektričnih gubitaka. Kada je opterećenje promenljivo primenjuje se princip superpozicije i svaki promena opterećenja modeluje se kao uključanje novog opterećenja čiji su gubiti jednaki razlici gubitaka novog opterećenja i opterećenja koje je prethodilo, pri čemu se za svaku step funkciju primenjuje jednačina (7).

ZAGREVANJE KABLOVA PRI CIKLIČNOM OPTEREĆENJU

Mogućnost preopterećenja kabla izloženog cikličnom opterećenju u periodu maksimalnog opterećenja I_{\max} prema standardu IEC60853 data je cikličnim faktorom preopterećenja:

$$M = \frac{I_{\max}}{I_n} , \quad (11)$$

gde je I_n naznačeno opterećenje kabla za zadate uslove polaganja.

Proračun ovog faktora bazira se na analizi nestacionarnog zagrevanja kablova, ali je u cilju omogućenja ručnog proračuna, bez primene računara, analiza pojednostavljena i izvršena pod dodatnim pretpostavkama. Pretpostavljeno je da maksimalna temperatura kabla treba da bude jednaka naznačenoj temperaturi i da je dovoljno uvažiti samo promenljiva opterećenja iz periodu od 6 časova koji prethode maksimalnoj temperaturi. Za prethodni period uzima se da je opterećenje konstantno, a da su gubici snage jednaki srednjoj vrednosti gubitaka u toku ciklusa. Ukoliko se ne zna u kom trenutku nastaje maksimalna temperatura kao referentni se uzima poslednji trenutak u kome je strujno opterećenje maksimalno. Električna otpornost provodnika takođe se smatra konstantnom i jednakom otpornosti pri naznačenoj temperaturi. Pod ovakvim pretpostavkama ciklični faktor opterećenja se određuje kao:

$$M = \frac{1}{\left(\mu \left(1 - \frac{\vartheta_p(6)}{\vartheta_p(\infty)} \right) + \sum_{t=0}^5 \left(\frac{\vartheta_p(t+1)}{\vartheta_p(\infty)} - \frac{\vartheta_p(t)}{\vartheta_p(\infty)} \right) \right)^{1/2}} , \quad (12)$$

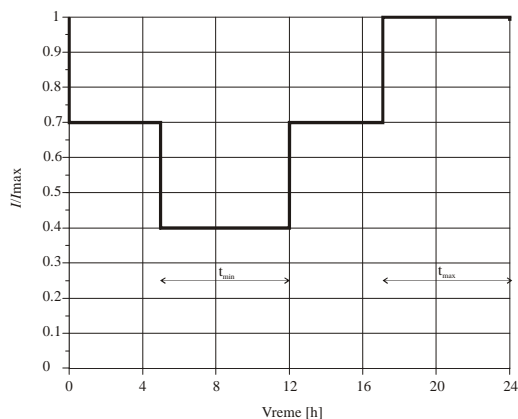
$$\frac{\vartheta_p(t)}{\vartheta_p(\infty)} = A(t)(1 - k - \beta(t)k) , \quad (13)$$

$$\beta(t) = \frac{\rho_{Tz}}{4\pi R_{Tz}} \left\{ -Ei\left(-\frac{d_k^2}{16Dt}\right) + Ei\left(-\frac{h^2}{Dt}\right) + \sum_{i=1}^m \chi_i \left[-Ei\left(-\frac{a_{ik}^2}{4Dt}\right) + Ei\left(-\frac{a'_{ik}{}^2}{4Dt}\right) \right] \right\} , \quad (14)$$

$$k = \frac{P_p R_{Tz}}{P(R_{Ta} + R_{Tb}) + P_p R_{Tz}} . \quad (15)$$

gde je μ faktor gubitaka.

U cilju sagledavanja uticaja oblika dnevnog dijagrama na temperaturu kablova korišćen je dnevni dijagram sa tri nivoa opterećenja. Dijagram se sastoji iz četiri intervala vremena u okviru kojih je opterećenje konstantno. Da bi se oblik dijagrama definisao samo sa dva parametra uzeto je da su trajanja visokog (maksimalnog) i niskog (minimalnog) nivoa opterećenja jednaka ($t_{\min}=t_{\max}$), a da je opterećenje srednjeg nivoa jednako srednjoj vrednosti ova dva nivoa opterećenja. Opterećenje srednjeg nivoa pojavljuje se dva puta u toku dana, a trajanje svakog od ova dva intervala je jednako dopuni t_{\max} do 12 časova. S obzirom na način formiranja dijagrama očigledno je da je srednja vrednost opterećenja u toku dana jednaka opterećenju srednjeg nivoa, odnosno da je faktor opterećenja dijagrama m jednak odnosu opterećenja srednjeg nivoa i visokog nivoa. Na Slici 1 prikazan je dijagram opterećenja sa tri nivoa kod koga je faktor opterećenja 0.7, a trajanje visokog nivoa opterećenja iznosi 7 časova. Osim ova dva parametra za analizu temperature kabla izloženog ovakvom dnevnom dijagramu potrebno je poznavati i odnos maksimalnog opterećenja i naznačenog opterećenja za zadate uslove polaganja, t.j.faktor preopterećenja.

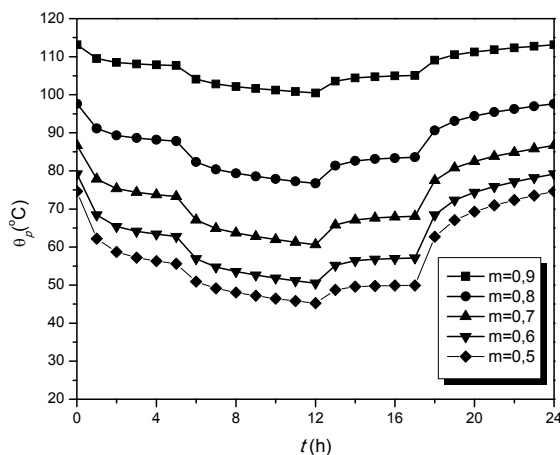


Slika 1 Dnevni dijagram sa tri nivoa opterećenja za $t_{max}=7h$ i $m=0,7$

REZULTATI PRORAČUNA

Korišćenjem postupka za proračun termički dozvoljene struje kabla analizirana je mogućnost strujnog opterećenja jednožilnih kablova sa izolacijom od umreženog polietilena naponskog nivoa 110 kV, sa provodnikom od aluminijuma poprečnog preseka 630 mm^2 , 800 mm^2 , 1000 mm^2 , 1200 mm^2 i 1400 mm^2 [14]. Nakon toga izračunate su temperature kablova izloženih cikličnom opterećenju za različite parametre polaganja i dnevnog dijagrama. Razmatrana su tri jednožila kabla položena u ravni na dubini 1 m, a za temperaturu referentne zemlje korišćene su vrednosti od 10°C i 20°C , dok je za temperaturu provodnika u normalnom pogonu θ_p korišćena vrednost od 90°C . Pri tome su razmatrani kako slučaj sa transpozicijom električnih zaštita tako i bez nje. Razmatrano je pet različitih vrednosti faktora opterećenja ($m=0.9$, $m=0.8$, $m=0.7$, $m=0.6$ i $m=0.5$), a za vreme trajanja maksimalnog nivoa opterećenja korišćene su vrednosti od 1 do 11 časova. Osim toga proračuni su vršeni i za tri vrednosti rastojanja između centara kablova ($a=d_k$, $a=d_k+70\text{mm}$ i $a=250\text{mm}$), tri vrednosti odnosa maksimalne i naznačene struje ($I_{max}/I_n=1.1$; $I_{max}/I_n=1.2$; $I_{max}/I_n=1.3$), i tri različite vrednosti specifične toplotne otpornosti zemlje ($\rho_{tz}=0.7 \text{ Km/W}$, $\rho_{tz}=1 \text{ Km/W}$ i $\rho_{tz}=1.5 \text{ Km/W}$). Difuznosti zemljišta koje odgovaraju ovim vrednostima specifične termičke otpornosti zemljišta su $0.6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $0.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ i $0.4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ respektivno. U proračunu su korišćene vrednosti specifične termičke otpornosti i specifične toplote umreženog polietilena od 3.5 Km/W i $2.4 \cdot 10^6 \text{ J}/(\text{m}^3\text{K})$ respektivno.

Na Slici 2 prikazana je promena temperature kabla poprečnog preseka 1000 mm^2 sa provodnikom od aluminijuma pri cikličnom opterećenju poput onog prikazanog na Slici 1, t.j. za vreme trajanja visokog nivoa opterećenja od 7 časova. Odnos maksimalne i naznačene struje je 1.2. Za temperaturu referentne zemlje uzeta je vrednost 20°C , specifična termička otpornost zemljišta 1 Km/W , a rastojanje između centara kablova $a=d_k+70\text{mm}$. Naznačena struja kabla prema kataloškom podatku za ove uslove polaganja iznosi 950 A, dok je proračunom dobijena vrednost od 952.7 A. Sa slike se može uočiti da je temperatura provodnika niža od 90°C za faktor opterećenja od 0.7, dok se za faktor opterećenja 0.8 temperatura kreće u granicama od 82°C do 98°C .

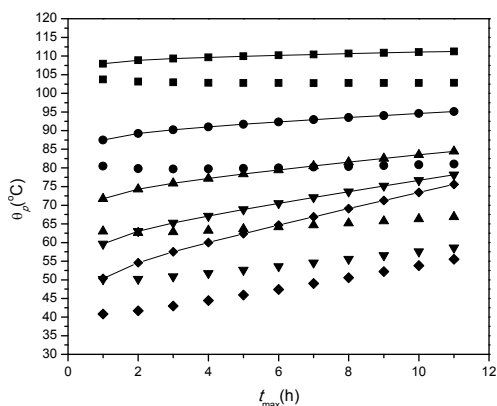


Slika 2 Promena temperature pri dnevnom dijagramu sa tri nivoa opterećenja za

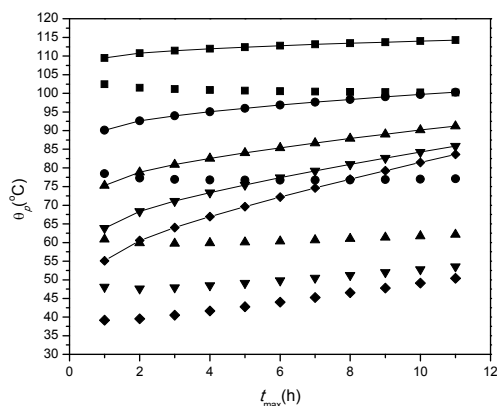
$$I_{max}/I_n=1.2, t_{max}=7h, \rho_{tz}=1 \text{ Km/W}, \theta_z=20^\circ\text{C}, a=d_k+70\text{mm}$$

Na Slikama 3 i 4 prikazane su zavisnosti maksimalne dnevne i minimalne dnevne temperatura provodnika od vremena trajanja visokog nivoa opterećenja pri referentnim uslovima polaganja kabla sa poprečnim presekom 1000mm^2 , za faktor preopterećenja 1.2. Maksimalne temperature iscrtane su linijama i simbolima, dok su minimalne temperature iscrtane odgovarajućim simbolima. Korišćeni simboli su identični onima sa Slike 2 za različite vrednosti faktora opterećenja. Može se uočiti značajno poklapanje grafika na slikama 3 i 4, mada je dnevna varijacija temperature nešto izraženija za slučaj izvršenog transponovanja, pa je tako maksimalna temperatura u slučaju izvršene transpozicije nešto viša nego u slučaju bez transpozicije, a minimalna temperatura nešto niža. Za slučaj bez transpozicije naznačena struja kabla prema kataloškom podatku iznosi 720 A, dok je proračunom dobijeno 723.4 A.

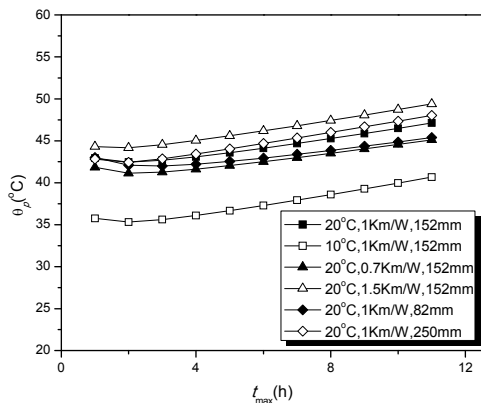
Dijagrami na slikama 5 do 10 odnose se takođe na kabl poprečnog preseka provodnika od 1000mm^2 , za opterećenje sa faktorom snage od 0,6 ali za različite uslove polaganja. Slike 5, 7 i 9 daju zavisnost minimalne dnevne temperature, dok su na slikama 6, 8 i 10 prikazane maksimalne temperature.



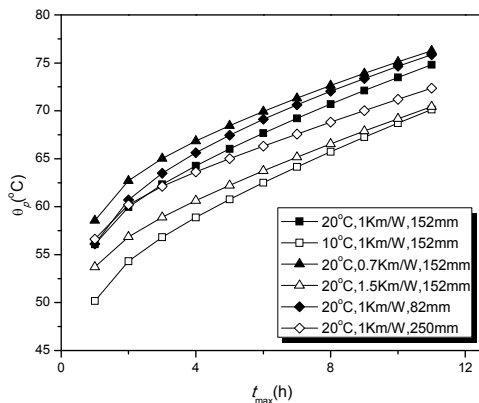
Slika 3 Maksimalna i minimalna temperatura za $I_{max}/I_n=1.2$ bez transpozicije



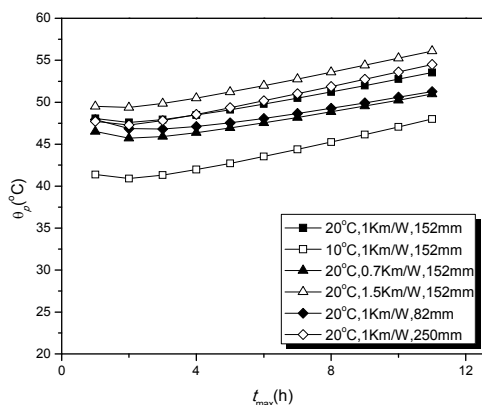
Slika 4 Maksimalna i minimalna temperatura za $I_{max}/I_n=1.2$ sa transpozicijom



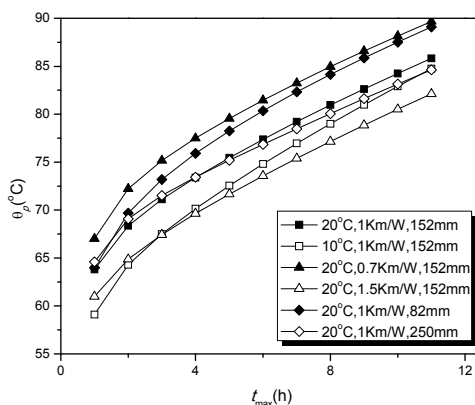
Slika 5 Minimalna temperatura za $I_{max}/I_n=1.1$



Slika 6 Maksimalna temperatura za $I_{max}/I_n=1.1$

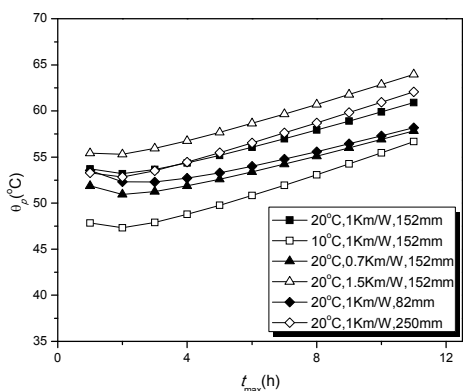


Slika 7 Minimalna temperatura za $I_{max}/I_n=1.2$ Slika 8 Maksimalna temperatura za $I_{max}/I_n=1.2$

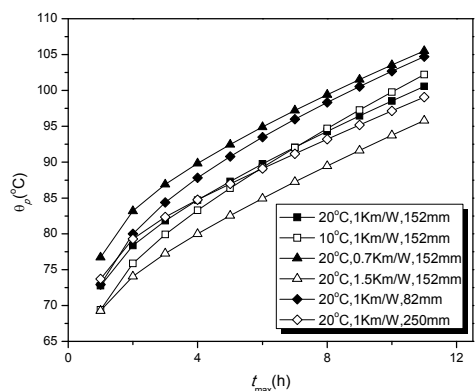


Sa slika 5 do 10 može se uočiti da minimalna temperatura kablova varira u znatno užim granicama u odnosu na maksimalnu temperaturu. Sa porastom odnosa maksimalnog i naznačenog opterećenja opseg temperatura za različite uslove polaganja se proširuje. Sa grafika minimalnih temperatura primećuje se da za definisane uslove polaganja, minimalna temperatura veoma malo zavisi od oblika dnevnog dijagrama, pri konstantnom faktoru opterećenja, a u pogledu parametara najizraženiji je uticaj temperature referentne zemlje, pa se tako pri smanjenju temperature referentne zemlje sa 20°C na 10°C minimalna temperatura smanjuje za oko 7°C. Inače za različite vrednosti specifične toplotne otpornosti zemlje i rastojanja između kablova pri npr. faktoru preopterećenja od 1,2 i temperaturi referentne zemlje od 20°C može se za minimalnu temperaturu uzeti vrednost od 52°C bez obzira na uslove polaganja. Pri donošenju zaključka uvažena je činjenica da je trajanje maksimalnog nivoa opterećenja nikada nije duže od 6 časova. Trajanje maksimalnog nivoa opterećenja kod dnevnih dijagrama koji se imaju u našem elektroenergetskom sistemu je najviše 3 časa pa je minimalna temperatura svakako manja od ovako procenjene vrednosti.

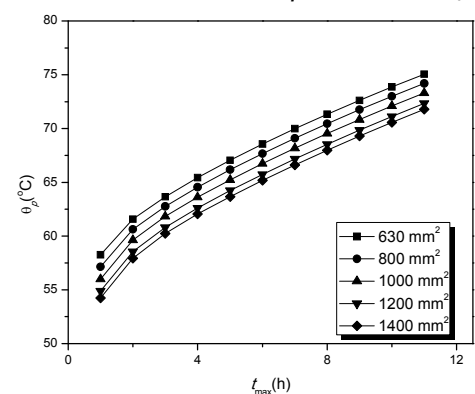
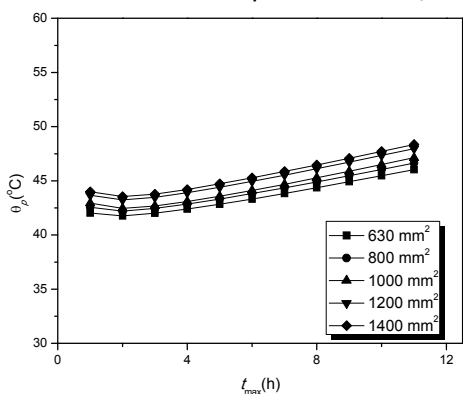
Na slikama 11 do 14 prikazane su zavisnosti maksimalne i minimalne temperature za kablove različiti poprečnih preseka provodnika, pri temperaturi referentne zemlje od 20°C, rastojanju između kablova od 70 mm i faktoru opterećenja od 0.6. Sa ovih slika može se uočiti da je dnevna varijacija temperature kod kablova većeg poprečnog preseka nešto izraženija, pa je tako minimalna temperatura za svaki susedni veći poprečni presek niža za 0.5°C do 1°C, dok je maksimalna temperatura veća za 1°C do 1.5 °C.



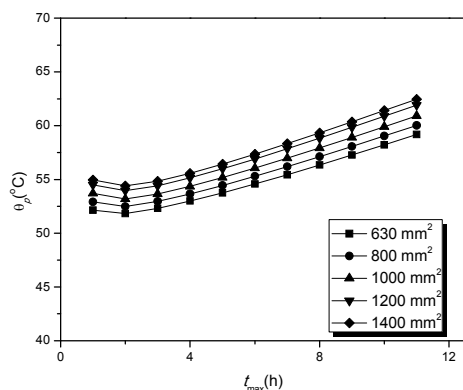
Slika 9 Minimalna temperatura za $I_{max}/I_n=1.3$



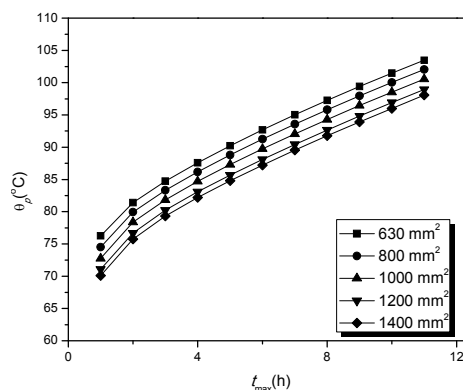
Slika 10 Maksimalna temperatura za $I_{max}/I_n=1.3$



Slika 11 Minimalna temperatura za $I_{max}/I_n=1,1$



Slika 12 Maksimalna temperatura za



Slika 13 Minimalna temperatura za $I_{max}/I_n=1,3$

$I_{max}/I_n=1,1$
ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati proračuna nestacionarnog zagrevanja kablova izloženih cikličnom dnevnom dijagramu opterećenja. Dnevni dijagram opterećenja modelovan je sa tri nivoa opterećenja na takav način da se može opisati sa samo tri parametra. Postojeći standardi daju metodologiju za proračun cikličnog faktora preopterećenja koji daje informaciju koliko se može kabl preopteretiti u periodu maksimalnih dnevnih opterećenja a da temperatura ne prevaziđe maksimalnu trajno dozvoljenu temperaturu. Međutim, proračun dnevne varijacije temperature ne može se jednostavno obaviti. Primenom prezentovanog metoda izvršen je proračun promene temperatura jednožilnih visokonaponskih kablova sa izolacijom od umreženog polietilena različitih poprečnih preseka, za različite parametre polaganja kablova i za različite parametre dnevnog dijagrama. Rezultati proračuna grafički su ilustrovani i diskutovani pri čemu je pokazano da se minimalna temperatura kreće u veoma uskom opsegu za kablove različitih poprečnih preseka i za različite uslove polaganja. Prezentovani dijagrami mogu se koristiti kod analize termičkog starenja kablova izloženih cikličnom dnevnom dijagramu opterećenja, kao i za procene mogućnosti opterećivanja kablova u nužnom pogonu kome prethodi ciklično opterećenje kabla kada je značajno poznavati temperaturu kabla u trenutku pojave nužnog pogona.

Slika 14 Maksimalna temperatura za

LITERATURA

- [1] Rajaković N., Tasić D., *Distributivne i industrijske mreže*, Elektrotehnički fakultet i Akademska misao, Beograd, 2008.
- [2] Tasić D., *Osnovi elektroenergetske kablovske tehnike*, Edicija Osnovni udžbenici, Elektronski fakultet, Niš, 2001.
- [3] Neher J.H., McGrath M.H., "The Calculation of the Temperature Rise and Load Capability of Cable Systems", *AIEE Transactions, Part III, Power Apparatus and Systems*, vol. 76, no. 3, pp. 752-772, 1957.
- [4] S. Y. King, N. A. Halfter, *Underground Power Cables*, Longman, London, 1982.
- [5] Heinhold L., *Power Cables and Their Application*, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin, 1990.
- [6] Anders G.J., El-Kady M.A., "Transient Rating of Buried Power Cables, Part 1: Historical Perspective and Mathematical Model", *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 7, no.4, pp. 1724-1734, 1992.
- [7] Anders G.J., *Rating of Electric Power Cables in Unfavorable Thermal Environment*, New York, Wiley-IEEE Press, 2005.
- [8] Tasić D., Rajaković N., "Uticaj promenljivog opterećenja i isušivanja zemljišta na intenzitet termički trajno dozvoljene struje kabla", XIV Simpozijum o kablovima, R.3.03, Jagodina, 1996.
- [9] Tasić D., Tanasković M., Stojanović M., "Strujno opterećenje kablovskih vodova 10 kV i uticaj na izbor tipskog preseka", CIREC 2010, Vrnjačka Banja, 2010.

- [10] ***, *Calculation of the Continuous Current Rating of Cables*, IEC Publication 60287, 1982.
- [11] ***, *Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 1, Cyclic Rating Factor for Cables up to and Including 18/30 (36) kV*, IEC Publication 60853-1, 1985.
- [12] ***, *Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 2, Cyclic Rating Factor of Cables Greater than 18/30 (36) kV and Emergency Ratings for Cables of All Voltages*, IEC Publication 60853-2, 1989.
- [13] Abramowitz M., Stegun I., *Handbook of Mathematical Functions*, Dover Publications, INC., New York, 1972.
- [14] ABB, *XLPE Land Cable Systems*, User's Guide, rev. 5, 2010.