

OPTIMIZACIJA PRIJENOSNE SNAGE KABELA MJERENJEM TEMPERATURE KABELA

SAŽETAK

Prosječna opterećenost kabela u mreži na velikoj većini kabela je ispod nominalnog opterećenja kabela. Ovakva rezervu neophodno je uzeti ukoliko se ne poznaju svi parametri kabelske mreže. Snimanjem temperature kabela moguće je bolje spoznati uvijete na kabelskim vodovima te u većini slučajeva povećati opterećenje određenih kabela i povećati pouzdanost kabelske mreže.

Ključne riječi: mjerenje temperature kabela, povećanje kapaciteta kabela, termootpornici

OPTIMIZATION OF CABLE POWER TRANSMISSION CAPABILITY USING THERMAL MONITORING

SUMMARY

The average load of the cables within a network is beneath the nominal cable load at the majority of cables. Such reserve should be obligatorily considered if one is not familiar with all parameters of the cable network. By recording of the cable temperature one can get a better comprehension of the cable wire conditions and in the majority of cases one can increase the load of specific cables and increase the reliability of the cable network.

Key words: measuring of cable temperature, increase of cable capacity, thermo-resistors

1. UVOD

Upotreba temperaturnog snimanja podzemnih kabela kao sredstva dodatne sigurnosti te sredstva za povećanja kapaciteta kabela sve je više u upotrebi.

Tradicionalno, podzemni kabeli općenito nisu bili opterećeni do svog nominalnog opterećenja. Ta situacija se mijenja i kabelske mreže će biti jače opterećene jer distribucije žele početi maksimalno koristiti sredstva kojima raspolažu.

Iako ne prečesto, postoje primjeri proboja kabela koji su radili na temperaturi većoj od maksimalne.

2. ODREĐIVANJE DOPUŠTENOG STRUJNOG OPTEREĆENJA KABELA

Dopušteno radno strujno opterećenje SN kabela računa se upotrebom međunarodnih standarda koji su na osnovu mjerenja karakteristika kabela te toplinskih otpora okoline u koju je kabel položen postavili tražene struje. Točnije rečeno, maksimalno dopušteno opterećenje kabela određuje temperatura koju može podnijeti izolacija.

Na primjer za srednjenaponske kabele (vidi [7]) koji su trenutno u masovnoj upotrebi u Hrvatskoj (XHE 49) i posjeduju izolaciju od umreživog polietilena (XLPE) trajna dopuštena temperatura vodiča je 90°C. Pošto podzemni kabel ima veliku toplinsku inerciju (veću nego nadzemni vod) XLPE izolacija može podnijeti i kratkotrajno, do 5 sekundi, temperaturu vodiča od 250 °C.

Na temperaturu izolacije utječu toplinski izvori unutar i izvan kabela slika 1 te toplinska vodljivost dijelova kabela te okoline kabela.

2.1. Izvori topline unutar kabela

Najveći toplinski izvor u kabelu je vodič u kojemu se uslijed gubitaka oslobađa toplina

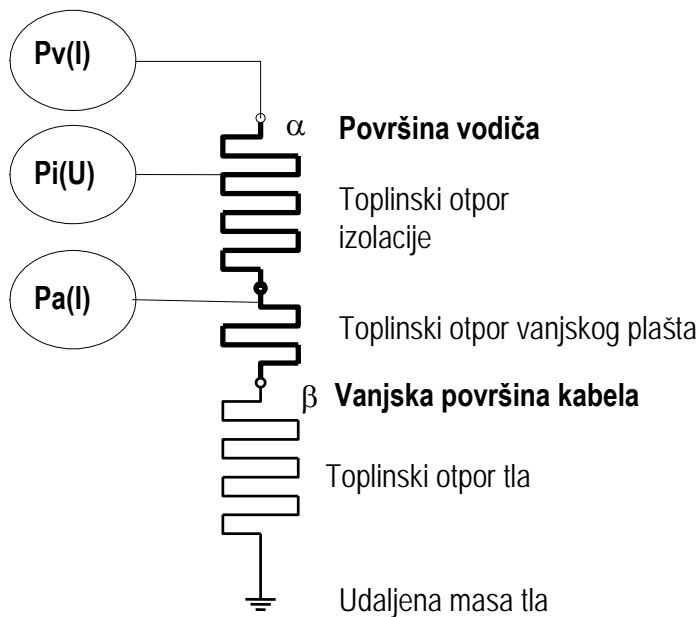
$$P_v = n \times I^2 \times R_v \quad (1)$$

P_v - gubici u vodiču
 n - broj žila u kabelu
 I - jakost struje (A)

$$R_v = R_o(T) + R_i(I) \quad (2)$$

$R_o(T)$ – omski otpor vodiča ovisan o temperaturi vodiča

$R_i(I)$ – ovi gubici su uzrokovani prolaskom strujom kroz vodič. Predstavlja gubitke uslijed skin efekta u vodiču, gubitke zbog indukcije kada kroz metalni ekran prolazi struja te uslijed nastanka magnetskog polja u armaturi.



Slika 1 Prikaz izvora topline unutar kabela te toplinske vodljivosti dijelova kabela i okoline

$$P_i(U) = n \times \omega \times C_b \times \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right)^2 \times \tan \delta \quad (3)$$

P_i - dielektrični gubici u izolaciji
 ω - $2\pi f$
 C_b - kapacitet kabela po jedinici dužine
 $\tan \delta$ - faktor dielektričkih gubitaka

Dielektrični gubici u izolaciji su zanemarivi kod izolacije od PVC-a do napona 6 kV, kod masenih kabela do 30 kV te kod kabela izoliranim XLPE-om do 110 kV.

$P_a(I)$ – gubici nastali u metalnom ekranu ukoliko kroz ekran teče struja te gubici histereze prilikom magnetizacije armature

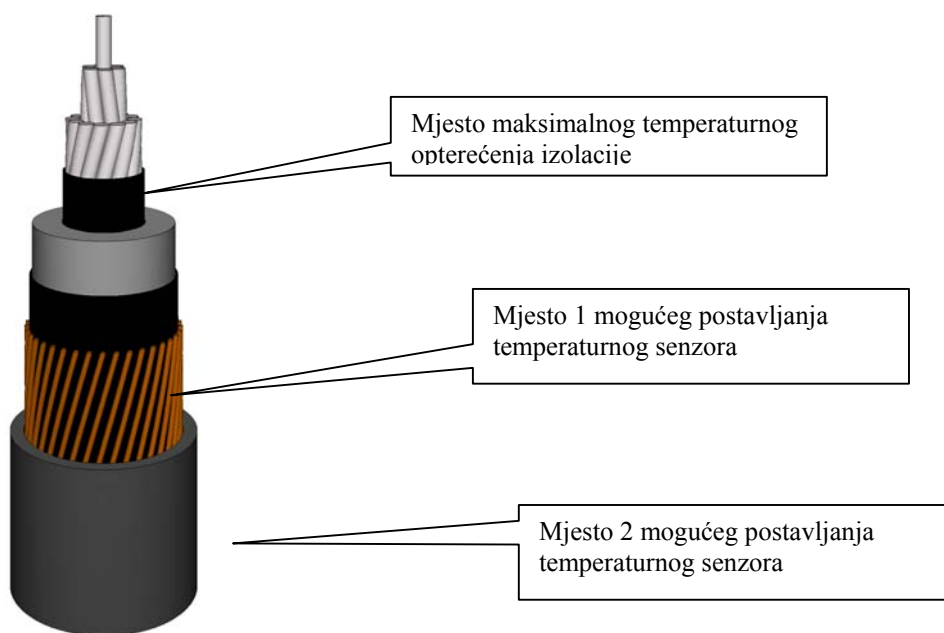
2.2. Toplinski otpor kabela

$$T = \frac{T_i}{2\pi} \times \ln\left(\frac{D_i}{D_v}\right) + \frac{T_p}{2\pi} \times \ln\left(\frac{D_k}{D_e}\right) \quad (4)$$

T- toplinski otpor kabela
Ti- toplinski otpor izolacije
Dv- dijametar vodiča
Di- dijametar preko izolacije ispod metalnog ekrana
Tp- toplinski otpor plašta
Dk- dijametar cijelog kabela
De – dijametar preko metalnog ekrana

3. NAČINI MJERENJA TEMPERATURE KABELA

Temperaturu kabela moguće je mjeriti unutar kabela (mjesto 1) direktno na izolaciju (veća točnost mjerenja) te izvan kabela u blizini plašta (mogućnost postavljanja na već instalirane kabele) uz smanjenu točnost.



Slika 2 Moguća mjesta za mjerenje temperature



Slika 3 Prikaz termootpornika ugrađenog u ekran SN kabela XHE 49

Temperaturni senzori daju informaciju o temperaturnim uvjetima u određenom sloju kabela. Temperatura kritična za izolaciju je temperatura izolacije uz vodič koju je fizički teško mjeriti. U odnosu na temperaturu koju mjerimo, temperatura uz vodič je u određenom vrijednosnom i vremenskom pomaku. Mjerenje je točnije što se senzor nalazi bliže vodiču.

Računski ili programom u realnom vremenu mjerenu bi temperaturu trebalo pretvoriti u temperaturu vodiča. Također promjenom mjerene temperature programom bi bilo moguće izračunati buduću temperaturu vodiča.

Mjerenje temperature kabela može biti diskretno i kontinuirano.

3.1. Diskretno mjerenje temperature

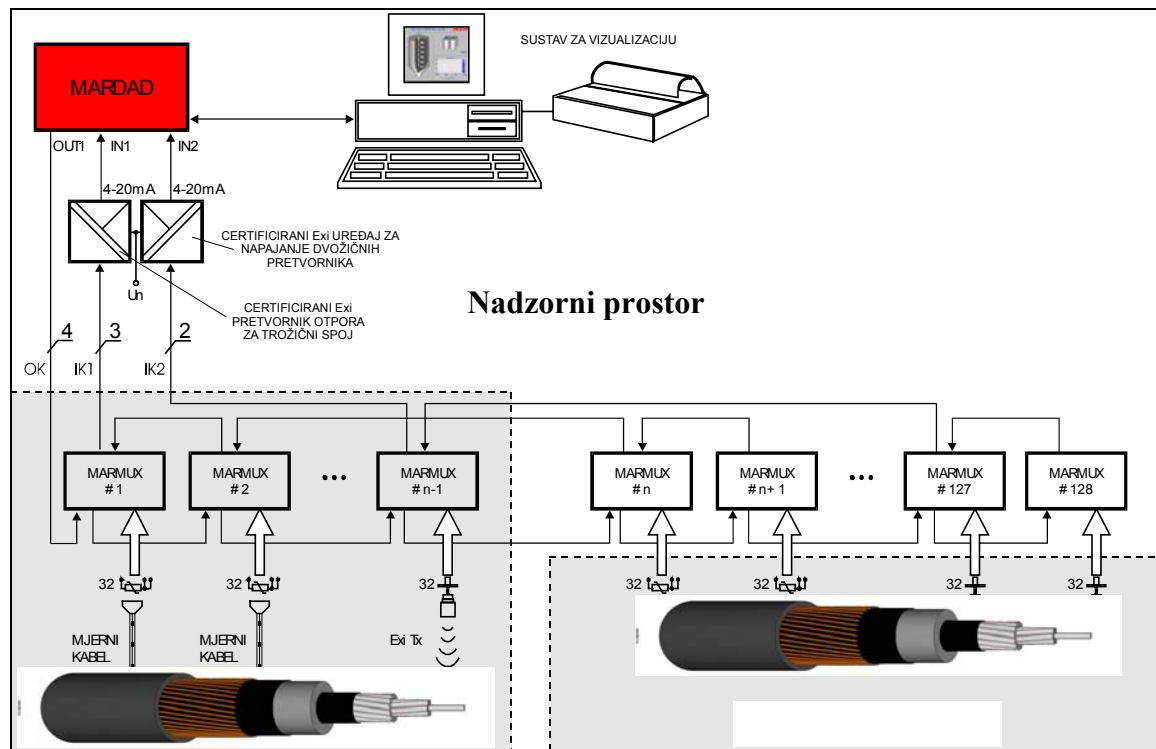
Vrste senzora : termoelementi, termootpornici, termitori, optički senzori

Termoelementi su diskretni senzori koji su nedvojbeno najjeftiniji. Oni su pouzdani i robusni. Ipak nisu podesni za mjerenja na udaljenostima većim od 100 m jer male elektromagnetske smetnje čine neupotrebljivim slab signal koji oni daju.

Slijedeći izbor su termootpornici koji su skuplji te trebaju vanjski strujni izvor. Cijeli mjerni sistem s termootpornicima je kompliciraniji , ali znatno precizniji i omogućava mjerenja na udaljenostima daleko većima od 100m.

3.1.1. Mjerenje temperature kabela termootpornicima

Mjerenje termootpornicima je optimalan izbor ukoliko želimo mjeriti temperaturu kabela na raznim daljim lokacijama uz umjerena investiranja u cijeli sustav



Slika 4 Shema povezivanja mjernih termootpornika s centralnim sustavom

Sustav ima dvije mogućnosti vizualizacije rezultata mjerenja

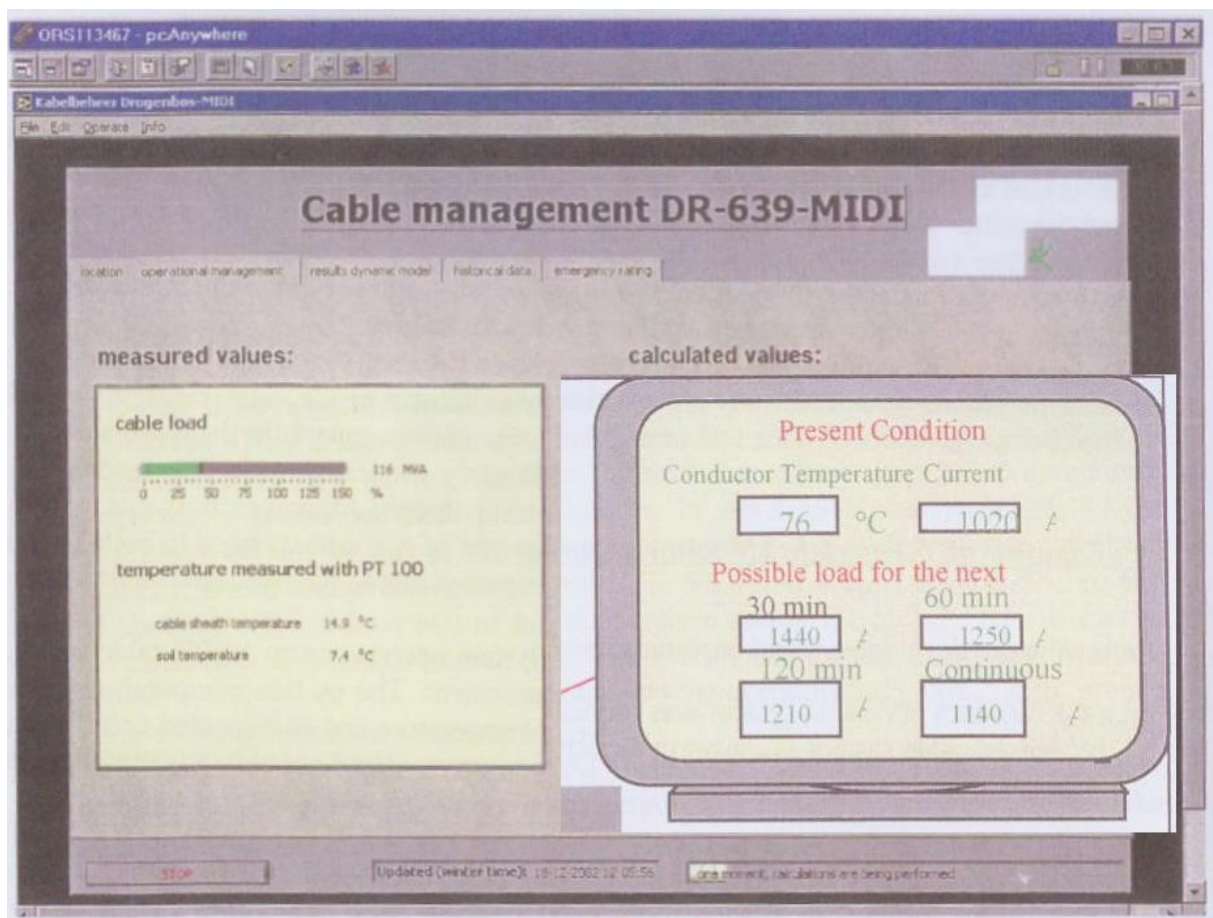
A) Prikaz temperature na određenom mjernom mjestu. Ovakav sustav prikazuje direktno temperaturu na određenom mjernom mjestu, ali u sebi nema ugrađen nikakav logički sustav. To znači da pomoću tablica ili ručnog proračuna moramo proračunati temperaturu vodiča pa zatim dozvoljeno strujno opterećenje. Prednost ove izvedbe je cijena.



Slika 5 mjerni sustav s direktnim prikazom izmjerene temperature

B) Mjerni sustav s popratnim softverom za snimanje i analizu rezultata mjerenja. Sustav se spaja na PC: Za razliku od sustava A) može kontinuirano bilježiti rezultate te ih naknadno analizirati. Također, osim prikaza mjerene temperature može se dobiti proračunata temperatura vodiča te moguća opterećenja kabelskog voda. Sustav prilikom proračuna uzima u obzir toplinske parametre i vremenske konstante kabela.

Ovaj sustav je uz prilagodbu moguće spojiti direktno na SCADA sustav.



Slika 6 – Sučelje programa za proračun opterećenja kabela na osnovi mjerenja temperature kabela

3.2. Kontinuirano mjerenje temperature kabela

Vrste senzora : Optička vlakna

Za kontinuirano mjerenje neophodna je ugradnja optičkih vlakana. Prednost distribuiranog mjerenja u odnosu na diskretno je veća točnost i mogućnost točnog određivanja mjesta lokalnog pregrijavanja nastalog radi vanjskih izvora topline (cijevi za grijanje i dr.)

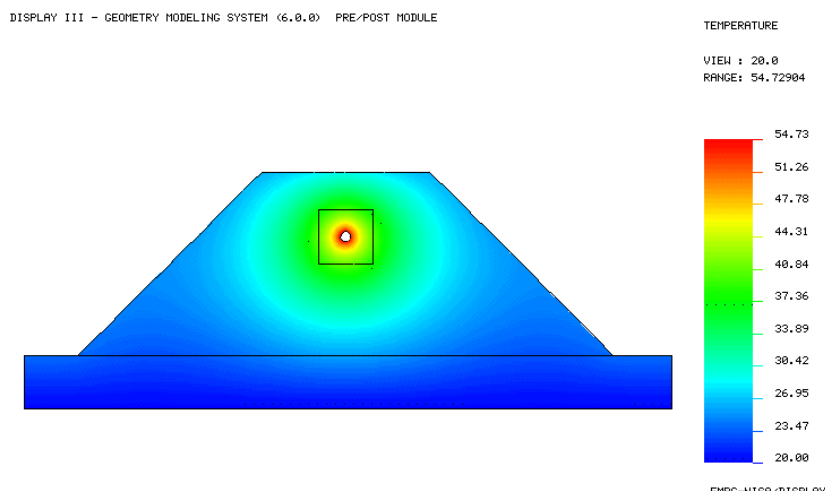
Taj sistem još nije dokazao svoju pouzdanost (laseri), a i kalibriranje i održavanje je dosta složeno i skupo i može je obavljati samo isporučitelj opreme.

4. IZRAČUNAVANJE TOPLINSKIH PARAMETARA I VREMENSKIH KONSTANTI

Izračunavanje toplinskih parametara može biti učinjeno na osnovu IEC 60287 ili može biti mjereno. Za izračunavanje toplinskih vremenskih konstanti (TVK) može se koristiti IEC 60853 ili ih se također može mjeriti. TVK metala je vrlo kratka i može se zanemariti, a TVK izolacije je između 1 i 3 sata ovisno i tipu i debljine izolacije.

Ukoliko su kabeli ukopani na dubini većoj od 1m vremenska konstanta tla je oko tjedan dana te se za oko mjesec dana od ukopa uspostavljaju statički uvjeti. Dnevne promjene temperature postaju zanemarive na oko 0,5 m dubine. Dakle na dubinama većim od 0,5 m termički parametri mogu biti računati prema IEC 60287. Iznimka je slučaj ukoliko dolazi do isušivanja pijeska, tada dolazi do promjena toplinskih parametara i vremenskih konstanti.

U slučaju ukapanja u rovove plice od 0,5 m ili neke druge specifičnosti često ne postoje točno određeni proračuni određeni IEC standardima. U tom slučaju treba izvršiti izračunavanje metodom konačnih elemenata (vidi sliku 7) ili nekom drugom numeričkom metodom.



Slika 7 Izračunavanja vođenja topline kod kabela ukopanog u nasip

Nakon polaganja kabela u zemlju najčešće nisu točno poznati sljedeći parametri:

- Termička vodljivost i kvaliteta pijesku u posteljici
- postotak vlage u zemlji u koju je kabel položen
- trenutna temperatura zemlje

Iako su sve navedene veličine mjerljive, ne postoji njihovo sustavno mjerenje te pohranjivanje u bazu podataka uz svaki kabelski vod. Kada bi se navedene veličine i dobro mjerile, potrebno bi bilo napraviti složene matematičke modele koji bi imali manju točnost od direktnog mjerenja temperature kabela.

Navedeni problem rješava se upravo izravnim mjerenjem temperature izolacije kabela. Time nije neophodno poznavanje svih navedenih parametara nego se direktnim očitanjem može zaključiti kako projektirati zaštitu kabelskog voda i time maksimalno iskoristiti kapacitet kabela i povećati sigurnost voda.

5. MJERENJE TEMPERATURE KABELA U SVIJETU

CIGRE grupa WG 21-02 napravila je 2001. g anketu među članicama CIGRE koje zemlje su izvršile mjerenja temperature kabela u svojim zemljama [3]. Na tabeli 1 je izdvojen odgovor na kojem mjestu u kabeu su postavljeni senzori prilikom snimanja. U tabeli su uključeni kabeu s diskretnim i kontinuiranim mjerenjem u rasponu od 10 kV do 400 kV.

Država	Učvršćen na površinu kabela	Dio žica ekrana kabela	Ispod plašta	Nehrdajuća čelična cijev	Plastična cijev
Nizozemska	1	38		33	5
Brazil	1				
Japan	1				4
Njemačka					1
Izrael				1	2
Novi Zeland	2	1			3
Belgija			1		
Kanada	2			1	1
Australija					2
Velika Britanija				1	2
Danska	1				
Norveška	1				
Egipat	1				
Jordan	1				
Ukupno	11	39	1	36	20

Tabela 1 – Mjesto postavljanja senzora za mjerenje temperature

6. ZAKLJUČAK

Mjerenje temperature izolacije kabela je tehnologija koje je poznata i u stalnoj upotrebi u većem broju zemalja širom svijeta. Mjerenjem temperature moguće je bolje spoznati uvjete koji se događaju na kabeu vodov. Točnim uvidom u događanja na kabeu vodovima moguće je bolje podešiti zaštitu kabeu vodova (na manjem broju vodova smanjiti opterećenje, a na većini povećati). Bolje podešavanje zaštite u isto vrijeme će povećati sigurnost mreže i povećati kapacitet kabeu mreže.

Literatura :

[1] Predavanja "NADZEMNI VODOVI I KABELI" prof. Dr. Sc. Davor Hebel 2004

[2] Elka kabeli d.o.o – interne upute za rad 2004

[3] "Optimisation of power transmission capability of underground cable systems using thermal monitoring" CIGRE April 2004

[3] IEC 60287 Electric cables – Calculation of the current ratings

[4] IEC 60853 Calculation of cyclic and emergency current rating of cables : P1 cyclic rating factor for cables up to and including 18/30 (36) kV

[5] Upute za rad MARUS ATM , 2005

[7] HRN HD 620 S1: 2001 + A1/2001 – Distribucijski kabeli s brizganom izolacijom za nazivne napone od 3,6/6(7,2) kV do 20,8/36(42) kV

[8] "Using the finite element method for complex cable ampacity calculations : a more accurate and much more flexible alternative to the conventional analytical method" Chaaban M and Leduc JICABLE (JIC111), Versailles, Paris, June 1999

[9] Cable temperature monitoring Georg E. Balog, Einar Kaldhussaeter Tor Iver Nerby JICABLE paper B8.4 june 1999