



Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za elektrotehniko*

IZRAČUN MEHANSKIH PARAMETROV NADZEMNEGA VODA

Seminar pri premetu Razdelilna in industrijska omrežja

Avtor: Jure Bevc dipl. ing. el. (UN)

Mentor: prof. dr. Grega Bizjak, univ. dipl. inž. el.

Ljubljana, Marec 2017

1. KAZALO

1.1. Kazalo vsebine

Contents

1. KAZALO	3
2. UVOD	4
3. MEHANSKE LASTNOSTI DALJNOVODNIH VRVI.....	6
4. SPECIFIČNA TEŽA.....	7
5. NATEZNA NAPETOST.....	7
5.1. Natezna napetost pri nevtralni temperaturi	7
5.2. Natezna napetost pri upoštevanju raztezka zaradi temperature	9
6. DODATNO ZIMSKO BREME	10
7. POVES	11
8. KRITIČNA RAZPETINA IN KRITIČNA TEMPERATURA.....	18
8.1. Kritična razpetina	19
8.2. Kritična temperatura	20
9. VPRAŠANJA IN NALOGA.....	21
10. ZAKLJUČEK.....	23
11. VIRI.....	23

1.2. Kazalo slik

Slika 1: Prerez vrvi Al/Fe, 7 Fe žic in 12 Al žic premera 3,6 mm.	6
Slika 2: Verižnica.	11
Slika 3: Verižnica z različnima višinama obesišč.	14
Slika 4:Določitev dolžine verižnice.	15
Slika 5: Natezna napetost vrvi v odvisnosti od temperature.	19
Slika 6: Poves vrvi v odvisnosti od temperature.	20

2. UVOD

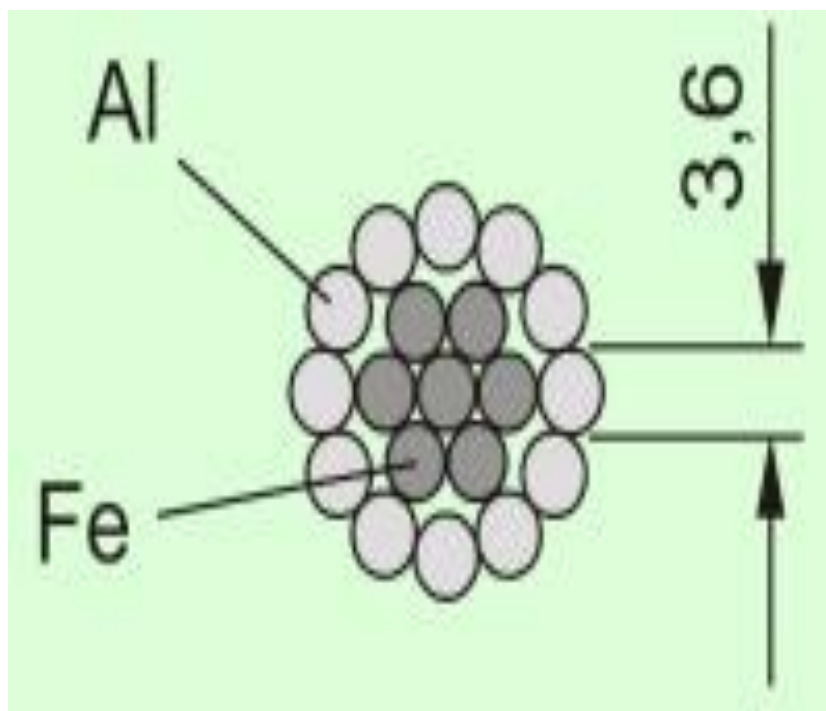
Današnjega elektroenergetskega sistema si ni mogoče predstavljati brez nadzemnih vodov, saj bi to pomenilo, da bi imeli porabo električne energije na mestu njene proizvodnje. Zaradi tega so daljnovodi nepogrešljiv element elektroenergetskega sistema. Na visoki in srednji napetosti jih najdemo v obliki nadzemnih vodov, na nizki napetosti pa so danes najbolj pogosti kabelski vodi.

V Sloveniji najdemo v distribucijskem omrežju 0,4 kV, 10 kV, 20 kV, ponekod pa tudi še 35 kV napetostni nivo. Izmed naštetih je danes 0,4 kV nivo izveden kot kabelski vod, 10, 20 in 35 kV sistem pa pretežno kot nadzemni vod. Vsak napetostni nivo ima svoje zahteve. Načrtovanje nadzemnih vodov je pomembno, saj s preračuni pokažemo kakšen daljnovod je optimalen za določeno območje.

3. MEHANSKE LASTNOSTI DALJNOVODNIH VRVI

Pri Mehanskih izračunih daljnovodov oziroma vodov moramo poznati mehanske parametre vodnikov, kot so specifična masa ρ [kg/m³], temperaturni razteznostni koeficient α [1/K], modul elastičnosti E [N/mm²] in natezna trdnost snovi σ [N/mm²]. Omenjeni parametri so odvisni od vrste vodnika. Osnovni materiali so lahko baker, aluminij, jeklo oziroma vodniki iz kombinacije jekla in aluminija oziroma ostalih aluminijevih zlitin.

Ker pri oblikovanju vodov uporabljamo izključno vodnike, ki so sestavljeni kot vrvi, razlikujemo homogene in kombinirane vrvi. Homogene vrvi so sestavljene iz žic enakega materiala, medtem ko so kombinirane vrvi sestavljene iz določenih plasti žic enega materiala ter določenih plasti žic drugega materiala. Najpogosteje se uporablja kombinirane vrvi Cu/Fe ali Al/Fe. Pri slednjih so žice oblikovane tako, da je jeklo v sredini, saj s tem izboljšamo mehanske lastnosti vodnika (natezna trdnost, povos, itd.). Zunanje plast žic je iz aluminija in služi za prevajanje toka. V Sloveniji se na 10 kV in 35 kV nivoju uporablja vrvi Al/Fe.



Slika 1: Prerez vrvi Al/Fe, 7 Fe žic in 12 Al žic premera 3,6 mm..

Pri oznaki prereza prva vrednost predstavlja prerez Al dela in druga prerez Fe dela. Prerezi so mednarodno standardizirani. Na srednji napetostih je velika večina vrvi kombiniranih. Na 35 kV nivoju uporabljamo Al/Fe vrvi prereza 35, 50, 70 ali 120 mm², na 10 kV nivoju pa izključno Al/Fe vrvi prereza 35mm².

4. SPECIFIČNA TEŽA

Kombinirane vodnike oziroma vrvi obravnavamo v izračunih kot homogene vrvi skupnega prereza obeh kovinskih delov A in skupne specifične teže γ glede na relacijo:

$$\gamma \cdot A = \gamma_{Al} \cdot A_{Al} + \gamma_{Fe} \cdot A_{Fe} \quad (4.1)$$

Iz enačbe (4.1) sledi vrednost za specifično težo kombinirane vrvi:

$$\gamma = \frac{\gamma_{Al} \cdot A_{Al} + \gamma_{Fe} \cdot A_{Fe}}{A_{Al} + A_{Fe}} \quad (4.2)$$

$$\gamma = \frac{\gamma_{Fe} + \gamma_{Al} \cdot \eta}{1 + \eta} \quad (4.3)$$

Prerezno razmerje $\eta = \frac{A_{Al}}{A_{Fe}}$:

5. NATEZNA NAPETOST

5.1. Natezna napetost pri nevtralni temperaturi

Pri obravnavanju natezne napetosti kombinirane vrvi predpostavimo, da je temperatura ϑ enaka nevtralni temperaturi, kar pomeni, da ne upoštevamo dodatnih raztezkov zaradi temperature. Predpostavimo tudi, da je sila trenja med Al in Fe vodniki tako velika, da ne prihaja do medsebojnih premikov.

Nevtralna temperatura je običajno 15°C. Raztezke vrvi opazujemo kot relativne vrednosti $[\Delta l/l_0]_{\sigma}$, pri čemer indeks σ pomeni, da relativni raztezki nastopajo samo zaradi natezne

napetosti in ne zaradi spremembe temperature. Δl predstavlja spremembo dolžin zaradi natezne napetosti in l_0 izhodiščno dolžino. Po Hookovem zakonu velja, da je relativni raztezek enak razmerju natezne napetosti in modula elastičnosti.

$$\left[\frac{\Delta l}{l_0} \right]_{\sigma} = \frac{\sigma}{E} \quad (5.1)$$

Po predpostavki, da ni medsebojnih premikov, lahko zapišemo:

$$\frac{\sigma_{Al}}{E_{Al}} = \frac{\sigma_{Fe}}{E_{Fe}} = \frac{\sigma}{E} \quad (4.2)$$

kjer je σ natezna napetost celotne vrvi in E modul elastičnosti prav tako celotne vrvi. Ugotovimo, da se natezni napetosti v Al in Fe delu vodnika postavita v razmerju modulov elastičnosti.

$$\frac{\sigma_{Al}}{\sigma_{Fe}} = \frac{E_{Al}}{E_{Fe}} \quad (5.3)$$

Za natezne sile v kombinirani vrvi velja:

$$\sigma_{Al} \cdot A_{Al} + \sigma_{Fe} \cdot A_{Fe} = \sigma \cdot (A_{Al} + A_{Fe}) \quad (5.4)$$

Enačba za natezno napetost celotne vrvi se tako glasi:

$$\sigma = \frac{\sigma_{Al} \cdot A_{Al} + \sigma_{Fe} \cdot A_{Fe}}{A_{Al} + A_{Fe}} = \frac{\eta \cdot \sigma_{Al} + \sigma_{Fe}}{\eta + 1} = \frac{\eta + \frac{E_{Fe}}{E_{Al}}}{\eta + 1} \cdot \sigma_{Al} \quad (5.5)$$

Naj še enkrat spomnim, da zgornja enačba velja le za temperaturo, pri kateri je bila vrv spletena. Za drugo poljubno temperaturo je treba poleg elastičnih raztezkov upoštevati tudi temperaturne raztezke.

Za modul elastičnosti kombinirane vrvi velja:

$$E = \frac{E_{Fe} + \eta \cdot E_{Al}}{1 + \eta} \quad (5.6)$$

Izraz (5.6) za natezno napetost kombinirane vrvi v odvisnosti od natezne napetosti v Al plašču je veljaven samo za temperaturo, pri kateri je bila vrv spletena. Za drugo poljubno temperaturo pa je treba poleg elastičnih raztezkov upoštevati tudi temperaturne raztezke.

5.2. Natezna napetost pri upoštevanju raztezka zaradi temperature

Če pri izpeljavi natezne napetosti upoštevamo spremembo dolžine vrvi zaradi temperature, je relativni raztezek enak:

$$\left[\frac{\Delta l}{l_0} \right]_{\vartheta} = \alpha \cdot \Delta \vartheta \quad (5.7)$$

Pri tem je α [1/K] temperaturni koeficient.

$$\alpha_{Fe} = 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

$$\alpha_{Al} = 23 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Predpostavili smo, da se obe kovini enako raztezata. Če tega ne upoštevamo se bo pod vplivom temperature Al plašč bolj raztegnil od Fe jedra.

$$\left[\frac{\Delta l}{l_0} \right]_{\vartheta} = (\alpha_{Al} - \alpha) \cdot (\vartheta - \vartheta_{15}) \quad (5.8)$$

Ker pa se to zaradi Hookovega zakona ne more zgoditi, nastane temu raztezkju ustrezna natezna napetost.

$$\sigma = (\alpha_{Al} - \alpha) \cdot (\vartheta - \vartheta_{15}) \cdot E_{Al} \quad (5)$$

Izraz za silo v Al plašču dobimo tako, da natezno napetost pomnožimo s prerezom plašča. Enako lahko zapišemo za Fe del.

$$F_{Al} = (\alpha_{Al} - \alpha) \cdot (\vartheta - \vartheta_{15}) \cdot E_{Al} \cdot A_{Al} \quad (5.10)$$

$$F_{Fe} = (\alpha - \alpha_{Fe}) \cdot (\vartheta - \vartheta_{15}) \cdot E_{Fe} \cdot A_{Fe} \quad (5.11)$$

Ker sta obe sili v ravnovesju ($F_{Al} = F_{Fe}$) lahko iz enačb (5.10) in (5.11) izrazimo skupni temperaturni koeficient.

$$\alpha = \frac{\alpha_{Al} \cdot E_{Al} \cdot \eta + \alpha_{Fe} \cdot E_{Fe}}{E \cdot (1 + \eta)} \quad (5.12)$$

Zaradi trditve, da premikov med jeklenim jedrom in aluminijastim plaščem ni, velja enakost elastičnih in temperaturnih raztezkov celotne vrvi in Al plašča.

$$\alpha \cdot (\vartheta - \vartheta_{15}) + \frac{\sigma}{E} = \alpha_{Al} \cdot (\vartheta - \vartheta_{15}) + \frac{\sigma_{Al}}{E_{Al}} \quad (5.13)$$

Iz enačbe (5.13) nato izrazimo natezno napetost celotne vrvi σ v odvisnosti od temperature in natezne napetosti v Al plašču.

$$\sigma = (\alpha_{Al} - \alpha) \cdot (\vartheta - \vartheta_{15}) \cdot E + \frac{E}{E_{Al}} \cdot \sigma_{Al} \quad (5.14)$$

6. DODATNO ZIMSKO BREME

Natezna napetost v vodniku, ki ima smer tangente na vodnik v opazovani točki, se spreminja vzdolž vodnika. Spreminja se tudi zaradi dodatne obtežbe zaradi snega, vetra, žleda. Pri nas je normalna dodatna obtežba na dolžinski meter vodnika enaka največji dodatni obtežbi, ki se na določenem mestu pojavlja povprečno vsakih pet let, vendar nikakor ni manjša kot

$$\Delta g_{min} = 0,18 \cdot \sqrt{d} \text{ [daN/m]} \quad (6.1)$$

Pri tem je d premer vrvi. Zveza med premerom vrvi in presekom A je podana s približno zvezo, ki jo dobimo s pomočjo polnilnega faktorja, ki podaja razmerje med čistim presekom jedra (aluminija) in dejanskim presekom vodnika.

$$d \approx 1,3 \cdot \sqrt{A} \quad (6.2)$$

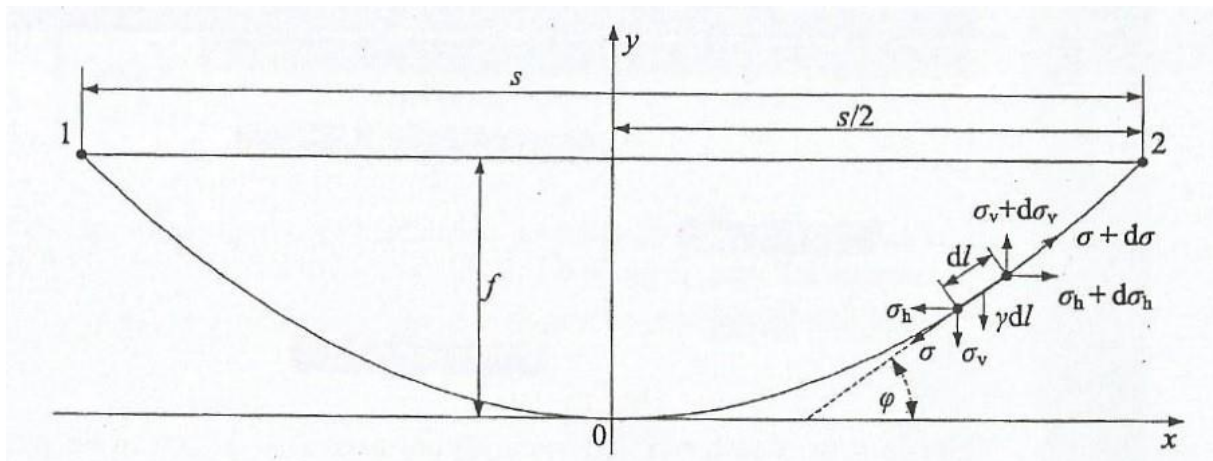
A je pri kombinirani vrvi skupni prerez Al plašča in Fe jedra. Zaradi dodatne obremenitve moramo upoštevati, da se ustrezno poveča tudi specifična teža vodnika (govorimo o reduciranem dodatnem bremenu).

$$\Delta\gamma = \frac{0,18 \cdot \sqrt{d}}{A} = \frac{0,2}{A^{\frac{3}{4}}} \left[\frac{daN}{m} \cdot mm^2 \right] \quad (6.3)$$

Iz izraza (6.3) sledi, da čim manjši je premer vrvi (prerez), tem večja je povečana specifična teža vodnika. Sklepamo lahko, da so tanjše vrvi za dodatna bremena občutljivejše od debelejših. Normalna dodatna obremenitev je pri nas določena na osnovi opazovanj. Od minimalne obremenitve je večja za faktor k , ki lahko zavzame vrednosti 1, 1,6, 2,5, 4. Pri nas načeloma projektanti upoštevajo faktor $k = 1,6$.

7. POVES

Vodniki se pod vplivom lastne teže in dodatnih bremen povešajo. Pri analizi razmer predpostavimo, da se vrvi idealno upogibljejo.



Slika 2: Verižnica.

Na primeru na sliki 2 opazujemo obešeno vrv, ki je vpeta med dvema obesiščema in ima 1 mm^2 v prerezu. V tem primeru sta višini obesišč enaki. Predpostavimo element vrvi dolžine dl (m) s

težo $\gamma \cdot dl$ (N). Vertikalna sila $\gamma \cdot dl$ in tangencialni sili na obeh koncih izrezanega elementa σ ter $\sigma + d\sigma$ morajo biti v ravnotežju. Ravnotežni pogoj za horizontalne komponente se glasi:

$$\sigma_h - \sigma_h - d\sigma_h = 0 \qquad d\sigma_h = 0 \qquad (7.1)$$

Iz prve ravnotežne enačbe sledi, da je horizontalna natezna napetost konstantna v katerikoli točki verižnice ($\sigma_h = \text{konst.}$). Iz slike 2 sledi, da so vertikalne komponente prav tako v ravnotežju, kar lahko zapišemo z enačbo:

$$\sigma_v + \gamma \cdot dl - \sigma_v - d\sigma_v = 0 \qquad d\sigma_v = \gamma \cdot dl \qquad (7.2)$$

Element loka lahko zapišemo v obliki:

$$dl = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dx \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \qquad (7.3)$$

Če element loka vstavimo v drugo ravnotežno enačbo (7.2) dobimo:

$$d\sigma_v = \gamma \cdot dx \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \qquad (7.4)$$

kar vodi do diferencialne enačbe

$$\frac{d\sigma_v}{dx} = \gamma \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \qquad (7.5)$$

Glede na sliko 2 velja

$$\text{tg}\phi = \frac{\sigma_v}{\sigma_h} = \frac{dy}{dx} \qquad (7.6)$$

in dalje

$$\sigma_v = \sigma_h \cdot \frac{dy}{dx} \qquad (7.7)$$

Izraz (7.8) odvajamo po x in vstavimo v zgornjo diferencialno enačbo (7.5). Dobimo navadno diferencialno enačbo drugega reda.

$$\sigma_h \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = \gamma \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \quad (7.8)$$

Splošna rešitev enačbe (7.9) je

$$y = a ch \frac{x}{a} + K \quad (7.9)$$

kjer je a parameter verižnice

$$a = \frac{\sigma_h}{\gamma} \quad (7.10)$$

K je integracijska konstanta. Kot vidimo je poves v vsaki točki odvisen le od horizontalne komponente natezne napetosti. Parameter γ je specifična teža vodnika.

Če postavimo koordinatni sistem v teme verižnice, za $x = 0$ velja $y = 0$ in s tem

$$y = a + K \quad (7.11)$$

$$K = -a \quad (7.12)$$

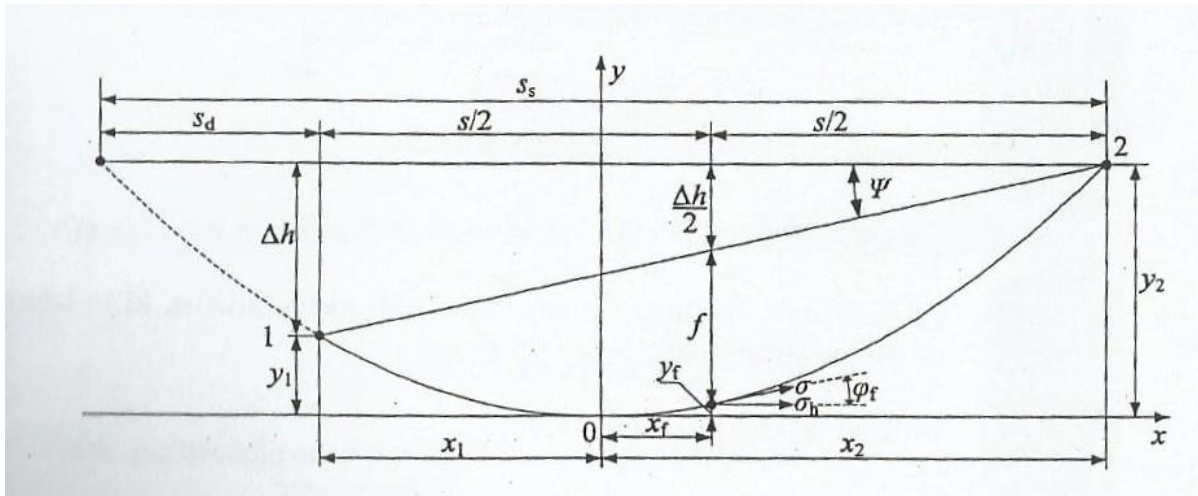
Tako dobimo

$$y = a ch \frac{x}{a} - a \quad (7.13)$$

Ugotovimo, da najvišji poves f nastopi na polovici razpetine ($s/2$).

$$f = a ch \frac{s}{2a} - a = a \left(ch \frac{s}{2a} - 1 \right) \quad (7.14)$$

Pri različnih višinah obesišč imamo med obesiščema neko višinsko razliko Δh .



Slika 3: Verižnica z različnima višinama obesišč.

$$\Delta h = y_2 - y_1 = a \operatorname{ch} \frac{x_2}{a} - a \operatorname{ch} \frac{x_1}{a} = 2 a \operatorname{sh} \frac{x_1 + x_2}{2 a} \operatorname{sh} \frac{x_2 - x_1}{2 a} \quad (7.15)$$

Pri različnih višinah obesišč na sliki 3 si vedno lahko predstavljamo, da je verižnica tako dopolnjena, da dobimo enaki višini obesišč. Fiktivni dodatek razpetine označimo kot s_d .

$$s = x_1 + x_2 \quad (7.16)$$

$$s_d = x_2 - x_1 \quad (7.17)$$

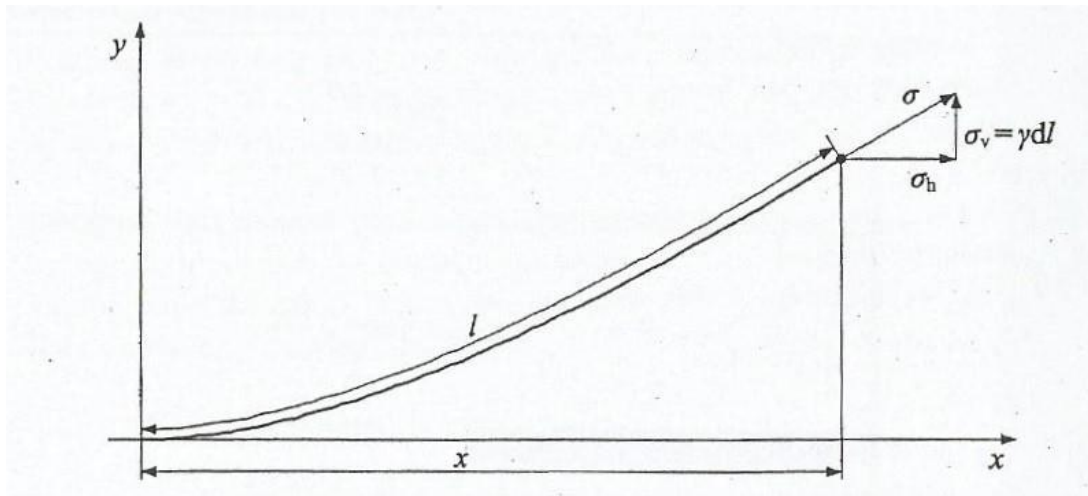
Pri upoštevanju zgornjih izrazov dobimo za razliko obesišč

$$\Delta h = 2 a \operatorname{sh} \frac{s_d}{2 a} \operatorname{sh} \frac{s}{2 a} \quad (7.18)$$

Skupno navidezno razpetino zapišemo kot

$$s_s = s + s_d \quad (7.19)$$

Pri obravnavi verižnice je pomembna tudi njena dolžina, ki jo lahko določimo na osnovi slike 4.



Slika 4: Določitev dolžine verižnice.

Dolžino verižnice izrazimo kot

$$l = \int_0^x dl = \int_0^x \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \quad (7.20)$$

$$\frac{dy}{dx} = sh \frac{a}{x} \quad (7.21)$$

$$1 + sh^2 \frac{x}{a} = ch^2 \frac{x}{a} \quad (7.22)$$

$$l = \int_0^x ch \frac{x}{a} dx = a sh \frac{x}{a} \quad (7.23)$$

Iz slike 4 je razvidno, da lahko tangencialno natezno napetost σ razdelimo na horizontalno in vertikalno komponento.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_v^2} = \sqrt{\sigma_h^2 + (\gamma l)^2} \quad (7.24)$$

Ob upoštevanju enačbe za dolžino verižnice (7.23) je natezna napetost enaka:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_h^2 \cdot sh^2 \frac{x}{a}} = \sigma_h \sqrt{1 + sh^2 \frac{x}{a}} \quad (7.25)$$

Ob upoštevanju enačb (7.22), (7.13), (7.10) dobimo:

$$\sigma = \sigma_h \cdot ch \frac{x}{a} \quad (7.26)$$

$$ch \frac{x}{a} = \frac{y}{a} + 1 \quad (7.27)$$

$$\sigma = \sigma_h + \gamma \cdot y \quad (7.28)$$

Enačba (7.28) nam podaja povezavo med tangencialno natezno napetostjo v poljubni točki povešene vrvi ob znani ordinati opazovane točke.

Največji poves se tudi ob različnih višinah obesišč meri v sredini razpetine z ustrežno vertikalno razdaljo med zveznico obeh obesišč in verižnico. V tej točki verižnice imamo opravka s tangencialno natezno napetostjo σ_f , ki je $(1/\cos\varphi_f)$ -krat večja od horizontalne komponente σ_h .

Ker je φ_f približno enak ψ , velja

$$\sigma_f = \frac{\sigma_h}{\cos\psi} \quad (7.29)$$

Zaradi tega je tudi največji poves sedaj ustrezno večji kot v primeru enakih višin obesišč

$$f = \frac{a}{\cos\psi} \cdot \left(ch \frac{s}{2a} - 1 \right) \quad (7.30)$$

Pri načrtovanju daljnovodov je predvsem pomembna varnostna razdalja med daljnovodno vrvjo in terenom. Glede na konfiguracijo terena najmanjša razdalja do zemlje običajno nastopi v sredini razpetine, kjer je največji poves.

Ker pa enačba verižnice (7.13) ni zapisana v uporabni obliki, moramo dosedanje izpeljave dopolniti z določenimi poenostavitvami. Če hiperbolični kosinus razvijemo v vrsto dobimo:

$$ch x = 1 + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \dots \quad (7.31)$$

Ob upoštevanju samo prvih dveh členov vrste, dobimo za verižnico aproksimativen izraz

$$y = \frac{x^2}{2a} \quad (7.32)$$

Na sredini razpetine z enakimi višinami obesišč ob upoštevanju enačbe (7.10) lahko zapišemo, da je poves enak

$$f = \frac{\gamma \cdot s^2}{8 \cdot \sigma_h} \quad (7.33)$$

V primeru neenakih obesišč z upoštevanjem (7.30) spremenimo zgornji izraz v

$$f = \frac{1}{\cos\psi} \cdot \frac{\gamma \cdot s^2}{8 \cdot \sigma_h} \quad (7.34)$$

Če so razpetine daljše od 400m, predpisi zahtevajo, da se upoštevajo trije členi za kosinusno hiperbolično funkcijo, s katero izrazimo poves. Natančno to določa velikost prispevka tretjega člena vrste. Če je ta prispevek večji od 5 cm, potem moramo to spremembo upoštevati. Dopolnjena enačba ima naslednjo obliko.

$$f = \frac{\gamma \cdot s^2}{8 \cdot \sigma_h} + \frac{\gamma^3 \cdot s^4}{384 \cdot \sigma_h^3} \quad (7.35)$$

Podobno poenostavitev vpeljemo pri različnih višinah obesišč. Če namesto sinusne hiperbolične funkcije upoštevamo samo prvi člen ustrezne vrste

$$\operatorname{sh} x = x + \frac{x^3}{3!} + \dots \quad (7.36)$$

Sedaj lahko zapišemo izraz (7.18) v poenostavljeni obliki

$$\Delta h = \frac{s_d \cdot s}{2 \cdot a} \quad (7.37)$$

Iz enačbe (7.37) lahko sedaj izpeljemo izraz za fiktivni dodatek razpetine

$$s_d = 2 \cdot a \cdot \frac{\Delta h}{s} = 2 \cdot \frac{\sigma_h}{\gamma} \cdot \frac{\Delta h}{s} \quad (7.38)$$

Na koncu za fiktivno razpetino dobimo izraz:

$$s_s = s + 2 \cdot \frac{\sigma_h}{\gamma} \cdot \frac{\Delta h}{s} \quad (7.39)$$

Podobno poenostavitev lahko uporabimo tudi pri izračunu dolžine verižnice (7.23). Z dvema členoma vrste za sinusno hiperbolično funkcijo po enačbi (7.36) dobimo za celotno razpetino dolžino verižnice

$$L_v = 2 \cdot l = 2a \cdot sh \frac{s}{2a} \approx 2a \left(\frac{s}{2a} + \frac{s^3}{48a^3} \right) = s + \frac{s^3}{24a^2} = s + \frac{\gamma^2 s^3}{24\sigma_h^2} \quad (7.40)$$

Z upoštevanjem izraza (7.33) lahko zapišemo zgornjo enačbo v drugi obliki

$$L_v = s + \frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{s} \quad (7.41)$$

Pri enakih višinah obesišč tako sklepamo, da se zaradi povečanja povesa iz f_1 na f_2 dolžina vrvi poveča za

$$\Delta L = \frac{8}{3s} \cdot (f_2^2 - f_1^2) \quad (7.42)$$

Po predpisih je lahko tangencialna natezna napetost σ v obesišču pri temperaturi -5°C z dodatnim bremenom enaka trem četrtinam pretržne napetosti σ_m . Predpisi tudi zahtevajo, da je horizontalna komponenta natezne napetosti pri temperaturi -20°C brez dodatne obremenitve ali pri temperaturi -5°C z dodatno obremenitvijo lahko do $0,25\sigma_m$ za žice in do $0,45\sigma_m$ za vrvi.

8. KRITIČNA RAZPETINA IN KRITIČNA TEMPERATURA

To sta pojma, ki predstavljata merilo za izbiro značilnega temperaturnega stanja, ko nastopi največja natezna napetost oziroma največji poves. Označimo ju z s_k in \mathcal{V}_k .

Potek natezne napetosti v odvisnosti od temperature dobimo iz klasične položajne enačbe.

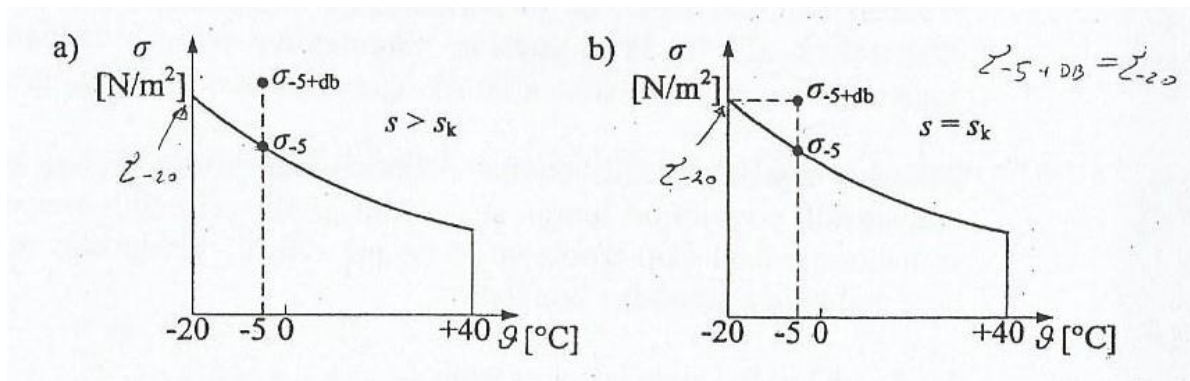
$$\frac{\gamma^2 s^2}{24\sigma_h^2} - \frac{\gamma_0^2 s^2}{24\sigma_{0h}^2} = \alpha(\vartheta - \vartheta_0) + \frac{\sigma_h - \sigma_{0h}}{E} \quad (8.1)$$

Pri različni višini obesišč upoštevamo manjšo spremembo pri drugem členu na desni strani enačbe.

$$\frac{\gamma^2 s^2}{24\sigma_h^2} - \frac{\gamma_0^2 s^2}{24\sigma_{0h}^2} = \alpha(\vartheta - \vartheta_0) + \frac{\sigma_h - \sigma_{0h}}{E \cdot \cos\Psi} \quad (8.1)$$

8.1. Kritična razpetina

Kritično razpetino s_k imenujemo tisto razpetino, pri kateri je natezna napetost pri -5°C z dodatnim bremenom σ_{-5+db} natanko enaka natezni napetosti pri -20°C brez dodatnega bremena σ_{-20} .



Slika 5: Natezna napetost vrvi v odvisnosti od temperature.

Če ustrezno natezno napetost označimo s $\sigma_{-5+db} = \sigma_{-20} = \sigma_{hd}$, ki predstavlja dopustno horizontalno natezno napetost, dobimo iz položajne enačbe ob upoštevanju razlike temperature $\vartheta - \vartheta_0 = -20^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C}) = -15^\circ\text{C}$ izraz iz katerega nato izrazimo kritično razpetino.

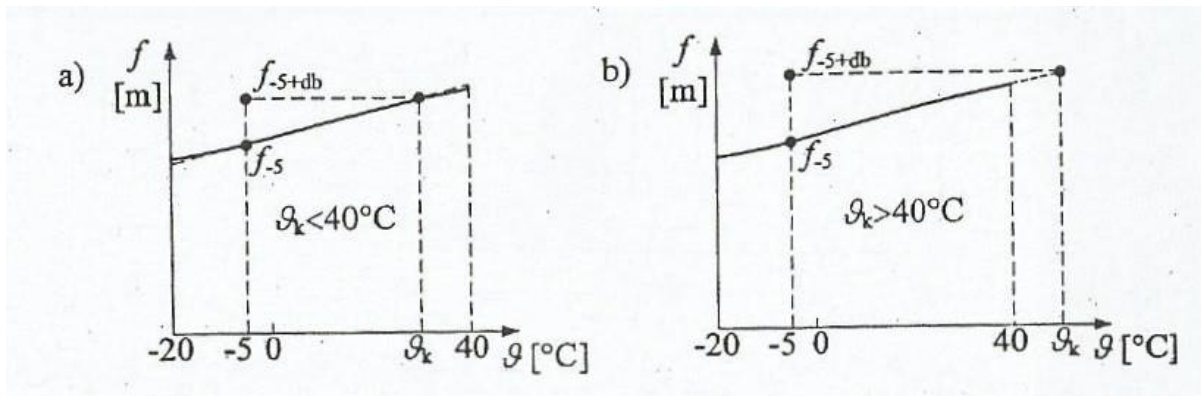
$$\frac{\gamma^2 s_k^2}{24\sigma_{hd}^2} - \frac{(\gamma + \Delta\gamma)^2 s_k^2}{24\sigma_{hd}^2} = -15 \cdot \alpha \quad (8.2)$$

$$s_k = \sigma_{hd} \sqrt{\frac{360\alpha}{(\gamma + \Delta\gamma)^2 - \gamma^2}} \quad (8.3)$$

Če je dejanska razpetina večja od kritične, potem velja da nastopi največja natezna napetost pri -5°C . z dodatnim bremenom. Če je dejanska razpetina manjša od kritične razpetine, potem nastopi največja natezna napetost pri -20°C .

8.2. Kritična temperatura

Tisto pozitivno temperaturo, pri kateri je povese natanko enak povesu pri -5°C z dodatnim bremenom f_{-5+db} , imenujemo kritična temperatura ϑ_k .



Slika 6: Poves vrvi v odvisnosti od temperature.

Če levo stran osnovne položajne enačbe izrazimo s povesi, sledi za značilno stanje pri -5°C z dodatnim bremenom

$$\frac{8}{3} \left(\frac{f_{\vartheta_k}}{s} \right)^2 - \frac{8}{3} \left(\frac{f_{-5+db}}{s} \right)^2 = \alpha [\vartheta_k - (-5)] + \frac{\sigma_{\vartheta_k} - \sigma_{-5+db}}{E} \quad (8.4)$$

Ker je po definiciji povese pri kritični temperaturi enak f_{-5+db} , velja tudi

$$\frac{\gamma s^2}{8\sigma_{\vartheta_k}} = \frac{(\gamma + \Delta\gamma)s^2}{8\sigma_{-5+db}} \quad (8.5)$$

Od tod sledi izraz za natezno napetost pri kritični temperaturi

$$\sigma_{\vartheta_k} = \frac{\gamma}{\gamma + \Delta\gamma} \sigma_{-5+db} \quad (6)$$

Leva stran položajne enačbe je enaka nič, tako da ob upoštevanju zgornje enačbe dobimo izraz za kritično temperaturo.

$$\vartheta_k = \frac{\sigma_{-5+db} \cdot \Delta\gamma}{\alpha \cdot E \cdot (\gamma + \Delta\gamma)} - 5^\circ\text{C} \quad (8.7)$$

Če je povos pri kritični temperaturi manjši kot pri predpostavljene največji temperaturi, npr. pri 40 °C, določamo največji povos pri predpostavljene največji temperaturi. V nasprotnem primeru, ko kritična temperatura presega predpostavljeno največjo temperaturo, računamo največji povos pri kritični temperaturi oziroma pri temperaturi -5°C z dodatnim bremenom.

9. VPRAŠANJA IN NALOGA

9.1. Vprašanja

- Kakšna je razlika med homogeno in kombinirano vrvjo?

Homogene vrvi so sestavljene iz žic enakega materiala, medtem ko si kombinirane vrvi sestavljene iz določenih plasti žic enega materiala ter določenih plasti žic drugega materiala.

- Kaj je pomembno pri načrtovanju daljnovodov?

Pri načrtovanju daljnovodov je predvsem pomembna varnostna razdalja med daljnovodno vrvjo in terenom. Glede na konfiguracijo terena najmanjša razdalja do zemlje običajno ne nastopi v sredini razpetine, kjer je povos največji.

- Kako je definirana kritična razpetina?

Kritično razpetino s_k imenujemo tisto razpetino, pri kateri je natezna napetost pri -5 °C z dodatnim bremenom σ_{-5+db} natanko enaka natezni napetosti pri -20 °C brez dodatnega

Razdelilna in industrijska omrežja

bremena. Če je dejanska razpetina večja od kritične, potem velja da nastopi največja natezna napetost pri -5°C . z dodatnim bremenom. Če je dejanska razpetina manjša od kritične razpetine, potem nastopi največja natezna napetost pri -20°C .

- Kako je definirana kritična temperatura?

Tisto pozitivno temperaturo, pri kateri je poves natanko enak povesu pri -5°C z dodatnim bremenom $f_{-5+\text{db}}$, imenujemo kritična temperatura ϑ_k . Če je poves pri kritični temperaturi manjši kot pri predpostavljene največji temperaturi, npr. pri 40°C , določamo največji poves pri predpostavljene največji temperaturi. V nasprotnem primeru, ko kritična temperatura presega predpostavljeno največjo temperaturo, računamo največji poves pri kritični temperaturi oziroma pri temperaturi -5°C z dodatnim bremenom.

9.2. Naloga

Kolikšna je specifična teža Al/Fe 35/6 mm² vodnika, če je specifična teža aluminija 27000 N/m³, železa pa 78800 N/m³?

Rešitev:

Do rešitve pridemo tako, da uporabimo enačbo (4.3). Oznaka vodnika nam pove prerez posameznega dela vrvi. V našem primeru je prerez Al dela 35 mm², prerez Fe dela pa 6 mm². Izračunamo prerezno razmerje in vstavimo v enačbo (4.3).

$$\eta = \frac{A_{Al}}{A_{Fe}} = \frac{35}{6} = 5,8333$$

$$\gamma = \frac{\gamma_{Fe} + \gamma_{Al} \cdot \eta}{1 + \eta} = \frac{78800 \frac{N}{m^3} + 27000 \frac{N}{m^3} \cdot 5,8333}{1 + 5,8333} = 34580,525 \text{ N/m}^3$$

10. ZAKLJUČEK

Nadzemni vodi so ključen element elektroenergetskega sistema. V razdelilnem omrežju nam služijo za razdeljevanje elektrine energije in so povezovalni člen med prenosnim in porabniškim omrežjem. Zaradi njihove pomembnosti je pomembno, da jih dobro dimenzioniramo, saj bi v primeru preobremenitve pod-dimenzioniranega voda le-ta hitreje izpadel iz omrežja. Temu bi lahko sledil izpad še več daljnovodov, saj bi se moč izpadlega daljnovoda razporedila med ostale. V najslabšem primeru lahko pride do električnega mrka. V primeru predimenzioniranja pa bi velik (nepotreben) strošek utrpel investitor daljnovoda.

11. VIRI

[1] I. Papič, P. Žunko, Elektroenergetska tehnika I, Založba FE in FRI, Ljubljana.