Elementi elektroenergetskih sistema

- Klimatski uslovi merodavni za proračun nadzemnih vodova
- Temperatura
- Dodatno opterećenje usled leda, inja ili mokrog snega
- Uticaj vetra na nadzemni vod
- Jednačina stanja provodnika
- Jednačina promene stanja za umerene raspone

2.1.3 Klimatski uslovi merodavni za proračun nadzemnih vodova

- Temperatura
- Dodatno opterećenje usled leda, inja ili mokrog snega
- Uticaj vetra na nadzemni vod

2.1.3.1 Temperatura

- Temperature prema kojima se vrši proračun provodnika i zaštitne užadi su sledeće:

  - minimalna temperatura -20ºC
  - maksimalna temperatura +40ºC
  - temperatura pri kojoj se hvata led -5ºC

Vidi se da postoji razlika između 40ºC i maksimalne temperature od 80ºC koju smo definisali kod određivanja minimalnog preseka voda i termički dozvoljene struje. Razlika ugiba za uobičajene raspone za AlČe provodnike i temperature 40ºC i 80ºC je:

2.1.3.1 Temperatura

10 kV	Do 0.5m
35 kV	0.75 – 1m
110 kV	1.25 – 1.5m
220 kV	1.5 – 1.75

2.1.3.1 Temperatura

- Međutim ipak se pri izračunavanju koristi temperatura +40ºC iz sledećih razloga: Događaji koji bi se morali istovremeno desiti da dođe do preskoka:

  - vod bi morao biti strujno vrlo visokog opterećenja
  - temperatura okoline morala bi iznositi +40ºC
  - ne bi smelo biti ni daška vetra
  - ispod najniže tačke voda moralo bi biti neko kritično približenje.

- Sada je uobičajena praksa da se vodovi projektuju za temperature +40ºC, a vrši se provera na mestima ukrštanja sa važnijim objektima na 80ºC (sa aspekta sigurnosnih visina). Neki vodovi su projektovani za 60ºC, što nije pogrešno, na strani je sigurnosti, ali je skuplje (viši stubovi).

2.1.3.2 Dodatno opterećenje

- Pri projektovanju provodnika i zaštitne užadi uzima se da se na njima stvara dodatno opterećenje usled leda, inja ili mokrog snega.

- Dodatno opterećenje deluje vertikalno naniže i dodaje se težini provodnika i zaštitnog užeta.

- Za normalno dodatno opterećenje uzima se najveće dodatno opterećenje koje se javlja svakih 5 godina, ali ne manje od:

$$g_{dod} = 0.18 \cdot \sqrt{d} \left[\frac{daN}{m} \right]$$, gde je **d** dato u **mm**.

2.1.3.2 Dodatno opterećenje

- Opterećenju, g_{dod},odgovara minimalna normalna dodatna specifična težina:

  $\gamma_{nd} = \frac{0.18 \cdot \sqrt{d}}{s} \left[\frac{daN}{m \cdot mm^2} \right]$, gde je **s** presek provodnika

  izražen u **mm²**.

- Ako se proceni na osnovu iskustva, da je mogući opterećenje usled leda u oblasti gde prolazi trasa novog dalekovoda veće od $\gamma_{nd\,\min}$, uzima se kao dodatno opterećenje usleda leda:

  $\gamma_{nd} = k \cdot \gamma_{nd\,\min}$ - normalna dozvoljena specifična težina usled leda, gde je **k** koeficijent leda.

2.1.3.2 Dodatno opterećenje

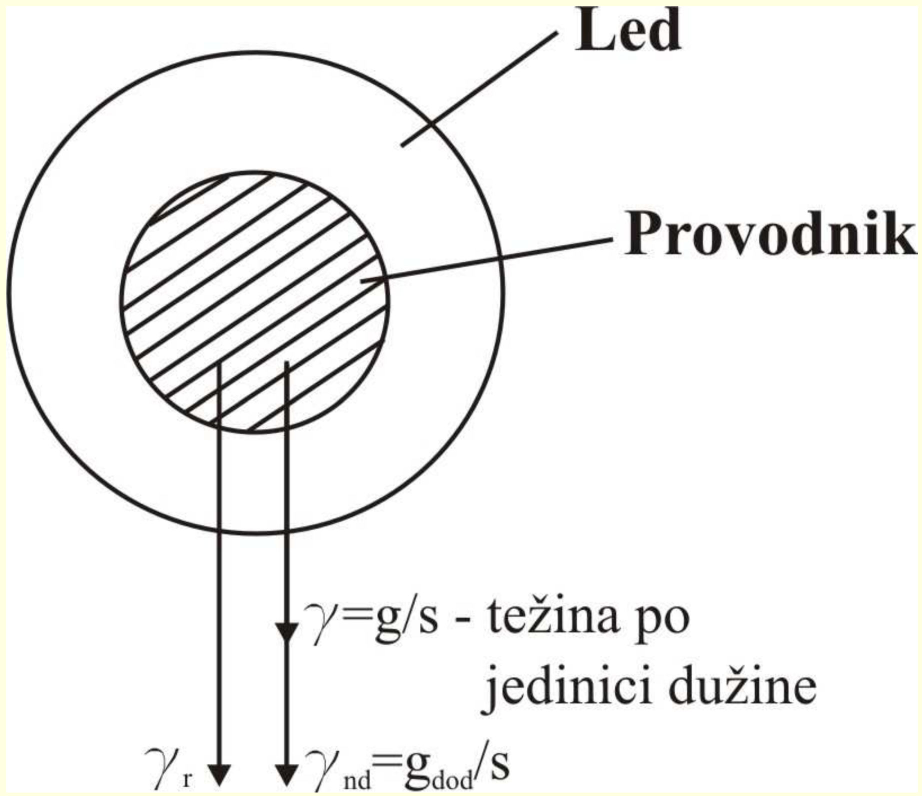
Zona leda	1	2	3	4
k	1	1.6	2.5	4

Znači rezultantno opterećenje provodnika je sledeće:

γ_r - rezultantno specifično opterećenje provodnika

(težina + led) $\gamma_r = \gamma + \gamma_{nd}$ - izuzetna dodatna specifična težina usled leda

2.1.3.2 Dodatno opterećenje



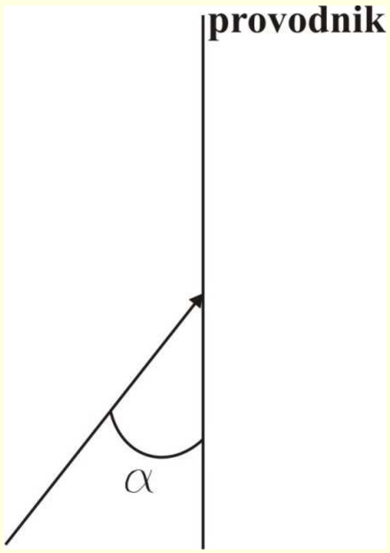
Za <u>izuzetno dodatno opterećenje</u> usled leda uzima se najveće dodatno opterećenje koje se javlja svakih 20 godina, isto važi i za dodatne specifične težine:

$\gamma_{id} \geq \gamma_{id\,\min} = 2 \cdot \gamma_{nd}$. Znači može biti i veće od $2 \cdot \gamma_{nd}$

2.1.3.3 Uticaj vetra na nadzemni vod

- Opterećenje od vetra je:

Sila vetra: $F_V = c_V \cdot s_V \cdot p_V \cdot \sin\alpha$



α = napadni ugao vetra (α = 90° $\Rightarrow \sin\alpha = 1$)

c_V = aerodinamički koeficijent:
- za provodnike cV = 1
- za stubove (iz propisa)

p_V = pritisak vetra $\left[\frac{daN}{m^2}\right]$

$p_V = \frac{v^2}{16}$, gde je **v** izraženo u $\left[\frac{m}{s}\right]$

v= maksimalna brzina vetra koje se na istom potezu trase pojavljuje prosečno svakih pet godina, a za vodove 400 kV i dužem periodu.

2.1.3.3 Uticaj vetra na nadzemni vod

$p_V = \frac{v^2}{16}$, gde je **v** izraženo u $\left[\frac{m}{s}\right]$

v= maksimalna brzina vetra koje se na istom potezu trase pojavljuje prosečno svakih pet godina, a za vodove 400 kV i dužem periodu.

2.1.3.3 Uticaj vetra na nadzemni vod

- Izračunato p_V se povećava na prvu veću vrednost iz tabele:

Visinska zona=visina objekta [m]	Pritisak vetra [daN/m^2]
0 – 15	50 60 75 90 110
15 – 40	60 75 90 110 130
40 – 80	75 90 110 130 150

s_V=površina projekcije tela na vertikalnu ravan (upravnu na pravac duvanja vetra)

2.1.3.3 Uticaj vetra na nadzemni vod

$\gamma_V = \frac{F_V}{L \cdot s}\left[\frac{daN}{m \cdot mm^2}\right] = \frac{1 \cdot L \cdot d \cdot p_V \cdot \sin\alpha}{L \cdot s}$ - dodatno specifično opterećenje usled vetra, gde je

$\frac{F_V}{L}$ - sila po jedinici dužine, a s - poprečni presek provodnika.

$\gamma_V = \frac{d \cdot p_V}{s}$, gde je d izraženo u [m], p_V izraženo u $\left[\frac{daN}{m}\right]$ i s izraženo u [mm2], pa sledi da je γ_V izraženo u $\left[\frac{daN}{m \cdot mm^2}\right]$

Rezultantno specifično opterećenje (specifična težina) usled vetra:

$$\gamma_{rV} = \sqrt{\gamma^2 + {\gamma_V}^2}$$

Ako se dogodi da je $\gamma_{rV} > \gamma + \gamma_{id} = \gamma_{ir}$ - dobijeno usled izuzetnog dodatnog opterećenja=leda

2.1.3.3 Uticaj vetra na nadzemni vod

- Ako je na vodu ili delu njegove trase rezultantna sila pritiska vetra i težine provodnika bez dodatnog opterećenja veća od težine provodnika sa izuzetnim dodatnim opterećenjem, treba za izuzetnu dodatnu specifičnu težinu usvojiti vrednosti iz:

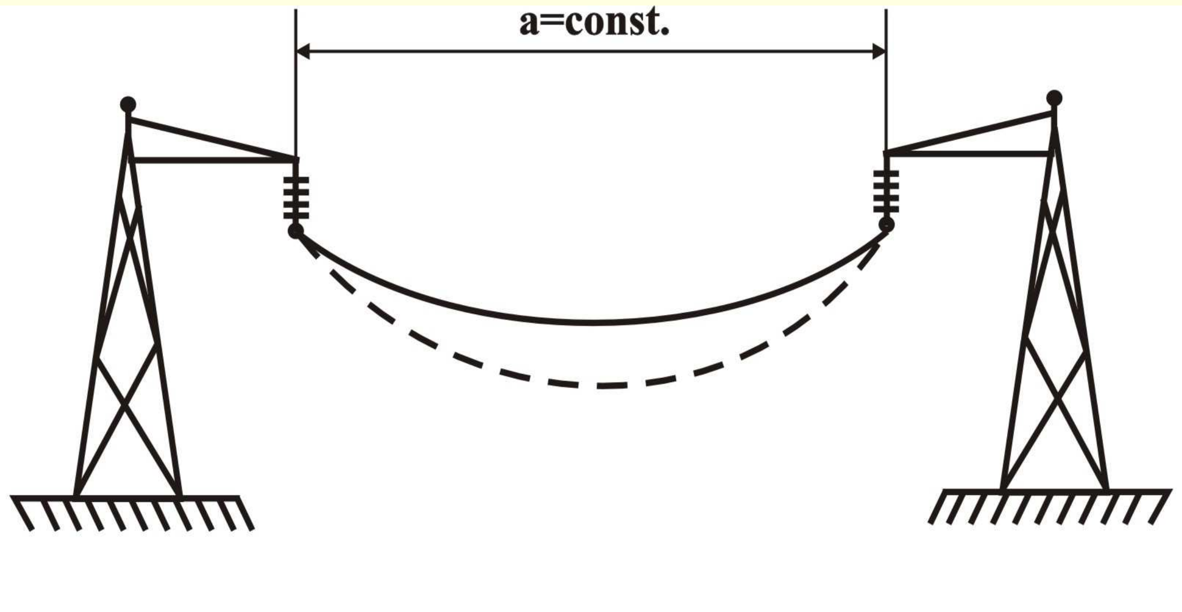
$$\gamma_{id} = \gamma_{rV} - \gamma = \sqrt{\left(\gamma^2 + \gamma_V{}^2\right)} - \gamma$$

- Znači za izuzetno dodatno opterećenje se usvaja veća vrednost, usled leda (češće) ili usled vetra (retko).

2.1.4 Jednačina stanja provodnika

- Zbog promene temperature ambijenta i strujnog opterećenja, menja se temperatura provodnika:

t(raste), σ(opada), L(raste) i fmax(raste)



h=const. (vertikalno rastojanje izmedju tačaka vešanja)

2.1.4 Jednačina stanja provodnika

- Za formiranje jednačine stanja provodnika moraju se definisati dva stanja provodnika:

1 – stanje = indeks 0

2 – stanje = bez indeksa

"0" 1 – stanje: , gde je: L_0 – početna dužina provodnika

t_0 – početna temperatura provodnika

γ_0 – početna specifična težina provodnika

σ_0 – početna horizontalna komponenta naprezanja provodnika

Pretpostavlja se da je stanje "0" poznato.

2.1.4 Jednačina stanja provodnika

2 – stanje: L, t, γ, δ

a=const., h=const. - zadatak jednačine stanja je da poveže ova dva stanja

Dužina provodnika menja se usled promene temperature i usled promene naprezanja: $\sigma L = \sigma L_t + \sigma L_\sigma$

σL – ukupno izduženje provodnika
σL_t – izduženje usled temperature
σL_σ – izduženje uslovljeno promenom naprezanja
γ – specifična težina provodnika
σ – horizontalna komponenta naprezanja provodnika

2.1.4 Jednačina stanja provodnika

$L - L_0 = (t - t_0) \cdot \alpha \cdot L_0 + (\delta - \delta_0) \cdot \frac{L_0}{E}$, gde je: α=koeficijent temperaturnog istezanja
E=modul elastičnosti

Kada ovu jednačinu podelimo sa L_0, dobija se: $\frac{L}{L_0} = (t - t_0) \cdot \alpha + \frac{\delta - \delta_0}{E} + 1$

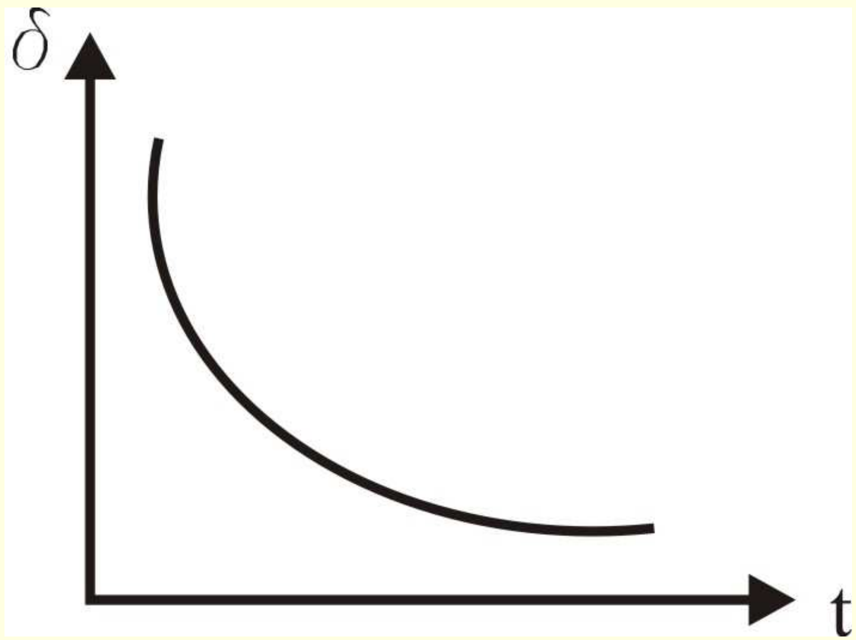
ako se u gornji izraz zameni: $L = \sqrt{h^2 + 4 \cdot \left(\frac{\delta}{\gamma}\right)^2 \cdot sh^2\left(\frac{a \cdot \gamma}{2 \cdot \delta}\right)}$ - tačan izraz za L

dobija se: $(t - t_0) \cdot \alpha + \frac{\delta - \delta_0}{E} + 1 = \sqrt{\frac{h^2 + \frac{4 \cdot \delta^2}{\gamma^2} \cdot sh^2\left(\frac{a \cdot \gamma}{2 \cdot \delta}\right)}{h^2 + \frac{4 \cdot \delta_0^2}{\gamma_0^2} \cdot sh^2\left(\frac{a \cdot \gamma_0}{2 \cdot \delta_0}\right)}}$ - apsolutno tačan izraz,

primenjuje se za jako velike raspone i to σ=f(t).

2.1.4 Jednačina stanja provodnika

- Oblik zavisnosti je dat na slici. Kod prethodnog izvodjenja predpostavljeno je da je:



Zavisnost naprezanja od temperature

2.1.4 Jednačina stanja provodnika

- Izduženje provodnika (σL_σ) zavisi samo od horizontalne komponente naprezanja (σ), a ne od ukupnog naprezanja (σ_F). Izraz za σ_F je komplikovan, jer se σ_F menja od tačke do tačke duž linije provodnika. Korekcija: uvodi se SREDNJE NAPREZANJE koje izaziva isto izduženje kao stvarno naprezanje.

$$\delta_{sr} = \delta \cdot \frac{L}{a}$$

2.1.4 Jednačina stanja provodnika

Izmene u jednačini stanja provodnika:

za dug raspon umesto $\frac{\delta - \delta_0}{E}$, treba, $\frac{\delta \cdot L - \delta_0 \cdot L_0}{a \cdot E}$

pa se tada dobija:

$$(t - t_0) \cdot \alpha + \frac{\delta \cdot L - \delta_0 \cdot L_0}{a \cdot E} + 1 = \sqrt{\frac{h^2 + \frac{4 \cdot \delta^2}{\gamma^2} \cdot sh^2\left(\frac{a \cdot \gamma}{2 \cdot \delta}\right)}{h^2 + \frac{4 \cdot \delta_0{}^2}{\gamma_0{}^2} \cdot sh^2\left(\frac{a \cdot \gamma_0}{2 \cdot \delta_0}\right)}}$$

- tačan izraz za duge raspone

2.1.4.1 Jednačina promene stanja za umerene raspone

Ako se u relaciji , $(t-t_0)\cdot\alpha+\dfrac{\delta-\delta_0}{E}+1=\sqrt{\dfrac{h^2+\dfrac{4\cdot\delta^2}{\gamma^2}\cdot sh^2\left(\dfrac{a\cdot\gamma}{2\cdot\delta}\right)}{h^2+\dfrac{4\cdot\delta_0^{\ 2}}{\gamma_0^{\ 2}}\cdot sh^2\left(\dfrac{a\cdot\gamma_0}{2\cdot\delta_0}\right)}}$, dužina izrazi pomoću

$$L=\frac{a}{\cos\psi}+\frac{a^3\cdot\gamma^2\cdot\cos\psi}{24\cdot\delta^2}$$

(1) $L-L_0=(t-t_0)\cdot\alpha\cdot L_0+(\delta-\delta_0)\cdot\dfrac{L_0}{E}$

(2) $L=\dfrac{a}{\cos\psi}+\dfrac{a^3\cdot\gamma^2\cdot\cos\psi}{24\cdot\delta^2}$ (za L i L_0)

(3) umereno kos raspon: umesto $\dfrac{\delta-\delta_0}{E}$ treba $\dfrac{\delta-\delta_0}{E\cdot\cos\psi}$

2.1.4.1 Jednačina promene stanja za umerene raspone

$$\frac{\delta \cdot L - \delta_0 \cdot L_0}{a \cdot E} = \frac{\delta \cdot L - \delta_0 \cdot L_0}{a_{12} \cdot \cos\psi \cdot E} = \frac{\delta - \delta_0}{E \cdot \cos\psi}$$

(3) Ovo uvažava činjenicu da ukupno izduženje usled naprezanja (σL_σ), zavisi od ukupnog naprezanja σ_F, a ne samo usled horizontalne komponente σ.

$$(2) \text{ i } (3) \Rightarrow (1)$$

$$\frac{a^3 \cdot \cos\psi}{24} \cdot \left(\frac{\gamma^2}{\delta^2} - \frac{\gamma_0^{\ 2}}{\delta_0^{\ 2}} \right) = \left[(t - t_0) \cdot \alpha + \frac{\delta - \delta_0}{E \cdot \cos\psi} \right] \cdot a \cdot \left(\frac{1}{\cos\psi} + \frac{a^2 \cdot \gamma^2 \cdot \cos\psi}{24 \cdot \delta_0^{\ 2}} \right)$$

za umerene raspone je $a^2 << \left(\frac{\delta_0}{\gamma_0} \right)^2$, a član $\left(\frac{\delta_0}{\gamma_0} \right)^2$ veći od 1000 m, pa sledi da je:

$$\frac{a^2 \cdot \gamma^2 \cdot \cos\psi}{24 \cdot \delta_0^{\ 2}} = 0$$

2.1.4.1 Jednačina promene stanja za umerene raspone

$$\frac{a^2 \cdot \cos^2\psi}{24} \cdot \left(\frac{\gamma^2}{\delta^2} - \frac{{\gamma_0}^2}{{\delta_0}^2} \right) = (t - t_0) \cdot \alpha + \frac{\delta - \delta_0}{E \cdot \cos\psi}$$ - jednačina stanja za kose raspone:

a<500 m ; $\psi \leq 30^\circ$

Za umereno prave raspone (a<500 m):

$$\frac{a^2}{24} \cdot \left(\frac{\gamma^2}{\delta^2} - \frac{{\gamma_0}^2}{{\delta_0}^2} \right) = (t - t_0) \cdot \alpha + \frac{\delta - \delta_0}{E}$$ - prav raspon

2.1.4.1 Jednačina promene stanja za umerene raspone

- Kako se u zadacima koristi neki od gornjih izraza:

  poznato: sve sa indeksom 0 ; γ, α, a, E

  nepoznato: σ, t

- Za konkretnu primenu jednačine stanja provodnika neophodno je odrediti početne uslove. Za početnu vrednost naprezanja treba usvojiti najveće dozvoljeno naprezanje: $\sigma_0=(\sigma_{mr})=\sigma_{nd}$

- Za početnu vrednost temperature treba usvojiti vrednost na kojoj se javlja početno naprezanje.

2.1.4.1 Jednačina promene stanja za umerene raspone

- U principu se može uzeti bilo koji par (σ, t) u opsegu (-20ºC do +40ºC), da se ne prekorači σ_{nd} (maksimalna vrednost naprezanja). Kod izbora početne temperature javlja se teškoća jer se maksimalno naprezanje može pojaviti pri:
  - (-20ºC) bez dodatne specifične težine usled leda
  - (-5ºC) sa dodatnom specifičnom težinom usled leda
- Kod koje će se od ove dve temperature javiti veće naprezanje zavisi od raspona. Da bi se mogla odrediti početna temperatura, mora se prethodno odrediti kritični raspon.