

## Mehanski parametri vodov

Dopustne natezne napetosti	$\sigma_{dop} (N/mm^2)$
Al	60
Cu	180
Jeklo II	280
Jeklo III	450
AlMg1	90

Razmerje prereza Al/Je	Specifična teža $\gamma (N/m \cdot mm^2)$	Modul elastičnosti $E (N/mm^2)$	Temperaturni koeficient $\alpha (10^{-6} / ^\circ C)$
4,4	0,0364	80000	18,7
6,0	0,0350	77000	18,8
7,7	0,0336	70000	19,4

Splošni podatki	Al	Fe
Temperaturni koeficient $\alpha (10^{-6} / ^\circ C)$	23	11
Modul elastičnosti $E (N/mm^2)$	56000	180000
Dopustna natezna napetost $\sigma_{dop} (N/mm^2)$	60	280 - 450
Specifična teža $\gamma (N/m \cdot mm^2)$	0,027	0,078

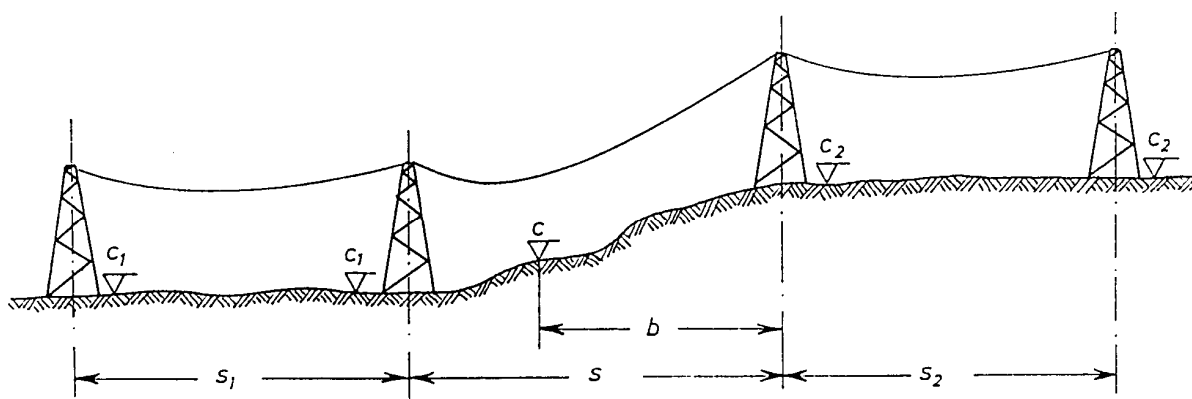
Varnostni faktor	$\sigma_{dop} = f_v \cdot \sigma_{dop}'$
križanje cest 1. - 4. reda	1
avtoceste	0,75
plovne reke, kanali	0,75
železnice	0,85
gosto naseljeni kraji	0,75
ostali	1

Varnostne višine	$h_v (m)$
nedostopna mesta	4
vozilom nedostopna mesta	5
vozilom dostopna mesta	6
stavbe	5
stavbe z vnetljivo streho	12
naseljeni kraji	7
regionalne, lokalne ceste	7
magistralne, avto- ceste	7
reka za splavljanje	7
plovne reke, prekopi	15
plinovodi, naftovodi	8

## VAJA 2 - Oblikovanje daljnovoda

Daljnovod nazivne napetosti 220 kV križa plinovod po spodnji skici. Izračunati je potrebno montažno krivuljo za razpetino "s" in za uporabljene vrvi Al/Je 490/65 mm<sup>2</sup>. Določiti je potrebno tudi višino križnih stebrov 2 in 3 do spodnjih obesišč vodnikov.

Skica trase:



Podatki:

U	Prečkamo	s <sub>1</sub>	s	s <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	c	c <sub>2</sub>	b
kV		m	m	m	m	m	m	m
220	plinovod	220	200	190	230	235	240	120

### 1.0. Specifična teža vrvi ( $\gamma$ ) :

Podatki iz tabele:  $\gamma_{Al} = 0,027 \text{ N/mm}^2\text{m}$   
 $\gamma_{Fe} = 0,078 \text{ N/mm}^2\text{m}$

Uporabljena vrv: Al/Je 490/65 mm<sup>2</sup>

Prerezno razmerje:

$$\eta = \frac{A_{Al}}{A_{Fe}} = \frac{490}{65} = 7,54$$

$$\gamma = \frac{\gamma_{Al}\eta + \gamma_{Fe}}{1 + \eta} = 0,03297 \text{ N/mm}^2\text{m}$$

### 1.1. Modul elastičnosti (E) :

Podatki iz tabele :  $E_{Fe} = 180000 \text{ N/mm}^2$   
 $E_{Al} = 56000 \text{ N/mm}^2$

skupni modul :  $E = \frac{E_{Fe} + \eta E_{Al}}{1 + \eta} = 69640 \text{ N/mm}^2$

### 1.2. Temperaturni razteznostni koeficient ( $\alpha$ ) :

Podatki iz tabele:  $\alpha_{Al} = 23 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{K}$   
 $\alpha_{Fe} = 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{K}$

$$\alpha = \frac{\alpha_{Fe}E_{Fe} + \alpha_{Al}E_{Al}\eta}{E(1 + \eta)} = 19,37 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{K}$$

### 1.3. Koeficiente $\gamma$ , E in $\alpha$ lahko določimo tudi iz priložene tabele

$$\begin{aligned}\gamma &= 0,0336 \text{ N/mm}^2\text{m} \\ E &= 70000 \text{ N/mm}^2 \\ \alpha &= 19,40 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{K}\end{aligned}$$

V nadaljevanju bodo uporabljeni podatki iz tabele!

### 1.4. Dodatno zimsko breme:

$$A = A_{Al} + A_{Je}$$

$$\gamma_D = \frac{2}{A^{3/4}} = 0,0175 \text{ N/mm}^2\text{m}$$

celotna specifična teža:  $\gamma_C = \gamma_D + \gamma = 0,0511 \text{ N/mm}^2\text{m}$

### 1.5. Dopustna natezna napetost ( $\sigma$ ) pri temperaturi $\vartheta = -5\text{ }^\circ\text{C}$ :

Podatek :  $\sigma_{dopAl} = 60\text{ N/mm}^2$

Nevtralna temperatura:  $\vartheta_t = 15\text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura okolice:  $\vartheta = -5\text{ }^\circ\text{C}$

Faktor varnosti:  $f_v = 1,0$

$$\sigma_{dop}' = (\alpha_{Al} - \alpha)(\vartheta - \vartheta_t)E + \frac{E}{E_{Al}}\sigma_{dopAl} = 69,96\text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{dop} = f_v \cdot \sigma_{dop}' = 69,96\text{ N/mm}^2$$

### 1.6. Kritična razpetina ( $s_k$ ) :

**Definicija** : Kritična razpetina je tista razpetina, pri kateri je natezna napetost pri  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  enaka natezni napetosti pri  $-5\text{ }^\circ\text{C}$  z dodatnim bremenom.

$$s_k = \sigma_{dop} \sqrt{\frac{360 \cdot \alpha}{\gamma_c^2 - \gamma^2}} = 151,91\text{ m}$$

Ker je kritična razpetina manjša od naše razpetine ( $s = 200\text{ m}$ ), nastopi največja natezna napetost pri  $-5\text{ }^\circ\text{C}$  z upoštevanjem dodatnega zimskega bremena.

### 1.7. Kritična temperatura ( $\vartheta_k$ ) :

**Definicija** :

Kritična temperatura je temperatura, pri kateri je poves enak povesu pri  $-5\text{ }^\circ\text{C}$  z dodatnim bremenom.

$$\vartheta_k = \frac{\sigma_{dop}}{E \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_c}\right) - 5\text{ }^\circ\text{C} = 12,64\text{ }^\circ\text{C}$$

Ker je kritična temperatura manjša od  $40\text{ }^\circ\text{C}$  ( $\vartheta_k < 40\text{ }^\circ\text{C}$ ), nastopi največji poves pri temperaturi  $+40\text{ }^\circ\text{C}$ .

### 1.8. Montažna tabela :

$$\sigma_g^3 + m\sigma_g^2 = n^2$$

$$\cos\psi = \frac{s}{\sqrt{s^2 + (c_2 - c_1)^2}} = 0,9988$$

$$n = \gamma \cdot s \cdot \sqrt{\frac{E \cos\psi}{24}} = 362,70$$

Koeficient  $n$  je konstanten (neodvisen od temperature).

## Elektroenergetski elementi - vaje

$$m(\vartheta) = \frac{s^2 E \cos \psi \cdot \gamma_c^2}{24 \sigma_{dop}^2} + \alpha(\vartheta - \vartheta_0) E \cos \psi - \sigma_{dop} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \sigma_{dop} = 69,96 \text{ N/mm}^2$$

Koeficient  $m$  je temperaturno odvisen, pri čimer je v enačbi  $\vartheta_0 = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Natezno napetost dobimo z rešitvijo polinoma :  $\sigma_g^3 + m\sigma_g^2 = n^2$  (N/mm<sup>2</sup>).

Iteracijski postopek. Polinom rešimo s pomočjo formule :  $\sigma_g^{k+1} = \frac{n}{\sqrt{\sigma_g^k + m}}$ . S to formulo se po

štirih do petih iteracijah ( $k = 1..5$ ) dovolj dobro približamo pravi vrednosti  $\sigma_g$ , pri čimer vzamemo poljubno začetno vrednost  $\sigma_g^k$  (začetna vrednost je lahko 1).

Analitična rešitev. Polinom lahko rešimo tudi z analitično rešitvijo:

$$\sigma_g(\vartheta) = \left( \frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{27}m(\vartheta)^3 + \frac{1}{18}n\sqrt{27n^2 - 4m(\vartheta)^3} \cdot \sqrt{3} \right)^{1/3} + \left( \frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{27}m(\vartheta)^3 - \frac{1}{18}n\sqrt{27n^2 - 4m(\vartheta)^3} \cdot \sqrt{3} \right)^{1/3} - \frac{1}{3}m(\vartheta)$$

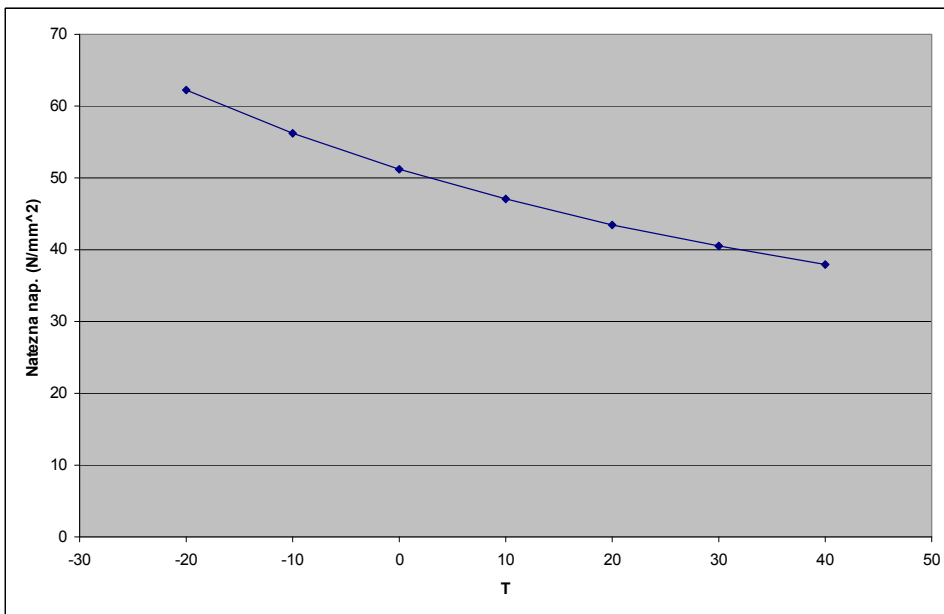
Poves računamo iz enačbe:  $f_g = \frac{s^2 \gamma}{8\sigma_g}$  (m)

**Montažna tabela :**

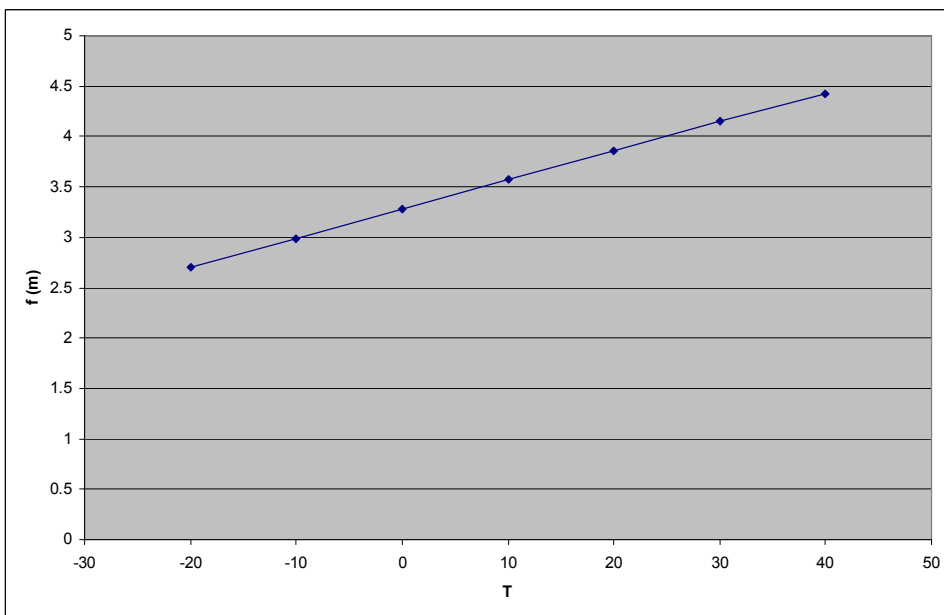
$\vartheta(^\circ\text{C})$	-20	-10	0	10	20	30	40
$m$ (N/mm <sup>2</sup> )	-28,16	-14,60	-1,04	12,53	26,09	39,65	53,22
$\sigma_g$ (N/mm <sup>2</sup> )	62,18	56,22	51,21	47,01	43,48	40,51	37,98
$f$ (m)	2,70	2,99	3,28	3,57	3,86	4,15	4,42

Glede na izračunane vrednosti je potrebno narisati še grafe odvisnosti  $\sigma_g$  in  $f_g$  od temperature  $\vartheta$ .

Graf odvisnosti  $\sigma_g$  od temperature  $\vartheta$ :



Graf odvisnosti  $f_g$  od temperature  $\vartheta$ :



### 1.9. Grafična določitev višine stebrov :

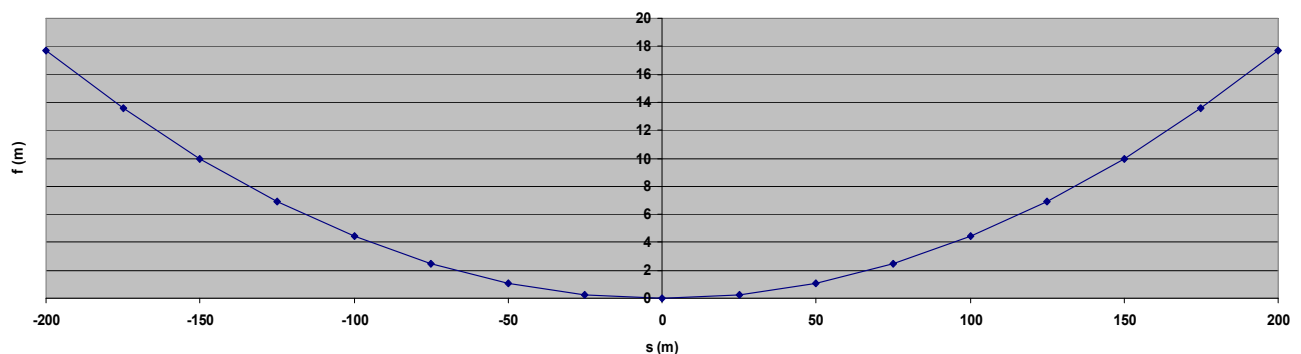
Ker je kritična temperatura manjša od +40 °C nastopi največji povos pri temperaturi +40 °C, zato pri računanju tabele za izdelavo šablone računamo s formulo:  $f(s) = \frac{s^2 \gamma}{8 \sigma_{40^\circ \text{C}}}$

Tabela za izdelavo šablone :

s (m)	50	100	150	200	250	300	350	400
f (m)	0,28	1,10	2,49	4,42	6,91	9,95	13,55	17,69

Merilo : za razpetino (os x)      1:2500  
          za povos (os y)            1:500

Šablona verižnice (merilo je približno!):

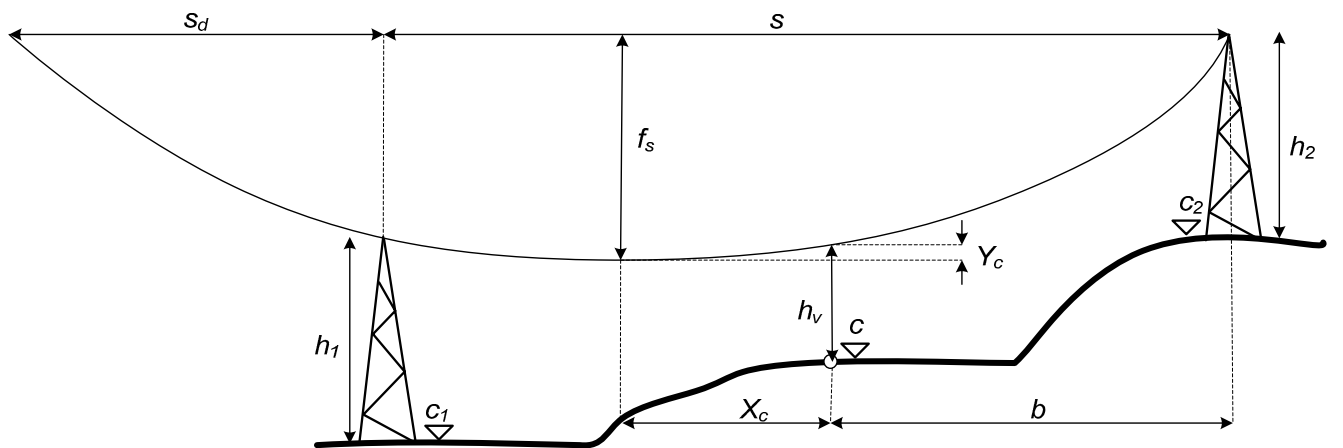


Pri risanju upoštevamo varnostno višino, ki znaša pri prečkanju plinovoda 8 m. Ker pa je nazivna napetost daljnovoda 220 kV, prištejemo še 0,75 m, tako da znaša skupna varnostna višina  $h_v = 8,75\text{m}$ .

Dodatek 0,75 m dobimo iz enačbe  $h_{dod} = \frac{U_n - 110}{150}$  (m), pri čimer je  $U_n$  nazivna napetost daljnovoda (220 kV).

S pomočjo skice v merilu določimo potrebno višino stebrov tako, da je izpolnjen pogoj zadostne varnostne višine in da imata stebra enako višino.





\*opozorilo: slika ni v merilu

Iz skice določimo višino stebrov:  $h_{\text{stebra}} = 14,4 \text{ m}$

## 2.0. Računska kontrola rezultatov grafičnega postopka :

$$h_v = 8,75 \text{ m}$$

$$b = 120 \text{ m}$$

$$s_d = 2 \frac{\sigma_{40^\circ\text{C}} \cdot (c_2 - c_1)}{s \gamma} = 113,04 \text{ m}$$

$$s_c = s + s_d = 313,04 \text{ m}$$

$$X_c = \frac{s_c}{2} - b = 36,5 \text{ m}$$

$$Y_c = \frac{X_c^2 \gamma}{2 \sigma_{40^\circ\text{C}}} = 0,59 \text{ m}$$

$$f_s = \frac{s_c^2 \gamma}{8 \sigma_{40^\circ\text{C}}} = 10,84 \text{ m}$$

$$h_{v\_rač} = h_{\text{stebra}} + c_2 - c - f_s + Y_c = 9,25 \text{ m}$$

Izračunana višina je malo večja od predpisane, zato je določena višina stebrov ustrezna.