

Prof. dr. sc. Ivica Pavić  
Izv. prof. dr. sc. Viktor Milardić

# Nadzemni vodovi i kabeli

---

Zavod za visoki napon i energetiku

Ak. god.: 2014/2015

## Tehnička norma

- Norma je po definiciji dokument donesen konsenzusom koji je odobrilo priznato tijelo, a koji za opću i višekratnu upotrebu daje pravila, upute ili značajke za djelatnost ili njihove rezultate za postizanje najboljeg stupnja uređenosti u danom kontekstu
- Norme pripremaju i izrađuju zainteresirane strane postupkom koji nastoji uzeti u obzir gledišta svake od zainteresiranih strana te omogućiti usklađivanje oprečnih stajališta, pri čemu moraju biti utemeljene na provjerenim znanstvenim, tehničkim i iskustvenim spoznajama
- Norme se sustavno dopunjuju kako bi pratile razvoj tehnike te trajno predstavljale aktualni stupanj razvoja

## Normizacija u Hrvatskoj

- Prijemom HZN-a (Hrvatski zavod za norme) primljen u punopravno članstvo CEN-a i CENELEC-a, u siječnju 2010. godine
- HZN kao nacionalno normirno tijelo mora redovito glasati o nacrtima (prEN) i konačnim nacrtima (FprEN) europskih normi
- Zadatak tehničkih odbora - davanje komentara na europske dokumente i glasanje čime je omogućen direktni utjecaj na razvoj nove ili izmjenu postojeće europske norme

## Norme i propisi za nadzemne vodove

- Prvi službeni propisi mjerodavni za proračun dalekovoda 110 kV naponskog nivoa na području RH bili su "Privremeni propisi za projektiranje i građenje dalekovoda 110 kV" (Prilog časopisa "Elektroprivreda" izdanog 1. lipnja 1949. godine)
- Navedeni propis pretrpio je nekoliko izmjena, pri čemu se osobito ističe izmjena potaknuta potrebom izgradnje 400 kV prijenosne mreže na teritoriju bivše Jugoslavije
- Važeći pravilnik je tada dopunjena i zamijenjen novim "Pravilnikom o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova" (Sl. list 51/1973.).
- Posljednja značajna izmjena – "Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova napona 1 kV do 400 kV" (Sl. list br. 65/1988)

## Norme i propisi za nadzemne vodove

### ➤ Pravilnik iz 1973. godine (Čl. 4., st. 28.)

*„Sigurnosna visina je najmanja dopuštena vertikalna udaljenost vodiča odnosno dijelova pod naponom od zemlje ili nekog objekta na zemlji, pri provjesu na +40 °C, odnosno na -5 °C s normalnim dodatnim teretom bez vjetra.*

*Za vodiče visokonaponskih vodova za koje se predviđa da tijekom ljeta mogu imati u normalnom pogonu visoko specifično strujno opterećenje preporučuje se računanje provjesa za temperaturu vodiča + 60 °C.“*

## Norme i propisi za nadzemne vodove

### ➤ Pravilnik iz 1973. godine (Čl. 20.)

*„Presjek žica i užeta mora biti dovoljno velik da im temperatura od zagrijavanja strujom ne prelazi +80 °C. Pri tome se računa s temperaturom okoline od +40 °C.“*

### ➤ Pravilnik iz 1988. godine (Čl. 2., st. 29.)

*„Sigurnosna visina je najmanja dopuštena vertikalna udaljenost vodiča odnosno dijelova pod naponom od zemlje ili nekog objekta na zemlji, pri provjesu na +40 °C, odnosno na -5 °C s normalnim dodatnim teretom bez vjetra.“*

## Norme i propisi za nadzemne vodove

### ➤ Pravilnik iz 1988. godine (Čl. 16.)

*„Presjek užadi mora biti dovoljno velik da ukupna temperatura užadi od zagrijavanja strujom ne bude viša od +80 °C, pri čemu se računa s temperaturom okoline od +40 °C.“*

### ➤ Pravilnik iz 1997. godine (Čl. 16.)

*„Presjek užadi mora biti dovoljno velik da ukupna temperatura užadi zbog zagrijavanja ne bude viša od +80 °C za klasičnu užad, a za specijalnu užad može biti i viša ako je za nju dokazana njihova mehanička postojanost“.*

## Zaključak

- 1) Dozvoljena ukupna temperatura vodiča je za klasičnu užad (tj. bakrenu, aluminijsku i Al/Če užad) uvijek bila +80 °C
- 2) Izmjenama iz 1997. uzeto u obzir postojanje specijalnih užadi (np. „crnih vodiča“, ACSS vodiča, itd.), kojima je tehnološkim poboljšanjima omogućen rad i na višim temperaturama
- 3) Proračun provjesa, odnosno sigurnosnih visina definiran je uvijek (osim provjere kod leda i dodatnog tereta) za temperaturu vodiča od +40 °C.
- 4) Početna odredba iz 1973. godine, kojom je preporučen (ali ne i propisan!) proračun provjesa za temperaturu vodiča od 60 °C izbrisana u Pravilniku iz 1988.!

## Nelogičnosti u Pravilniku (Čl. 2. i Čl. 16)

- Čl. 2 – Sigurnosna visina se određuje pri provjesu kod temperature okoline od +40 °C, odnosno kod -5 °C i normalnim dodatnim teretom, bez vjetra
- Čl. 16 – Dozvoljena ukupna temperatura vodiča zbog zagrijavanja ne smije biti viša od +80 °C (za klasične vodiče)
- **Dakle, provjes se računa za vodič zagrijan na temperaturu +40 °C, a dozvoljava se da mu ukupna temperatura bude +80 °C, kada je provjes sasvim sigurno veći**

## Europske norme do 2012.

### - za napone iznad 45 kV

1. EN 50341-1:2001 Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV - Part 1: General requirements – Common specifications;
2. EN 50341-1:2001 Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV - Part 2: Index of National Normative Aspects;
3. EN 50341-1:2001 Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV - Part 3: National Normativ Aspects;

## Europske norme do 2012.

### - za napone od 1 kV do 45 kV

1. EN 50423-1:2005 Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV up to and including AC 45 kV - Part 1: General requirements – Common specifications;
2. EN 50423-1:2005 Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV up to and including AC 45 kV - Part 2: Index of National Normative Aspects;
3. EN 50423-1:2005 Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV up to and including AC 45 kV - Part 3: Set of National Normative Aspects;

## Hrvatske norme

Hrvatski zavod za norme u službenom Glasilu broj 6/2008 od 30. 12. 2008. objavio norme:

1. HRN EN 50341-1:2008 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 45 kV - 1. Dio: Opći zahtjevi – Uobičajene specifikacije;
2. HRN EN 50341-2:2008 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 45 kV - 2. Dio: Popis nacionalnih normativnih aspekata;
3. HRN EN 50341-3:2008 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 45 kV - 3. Dio: Nacionalni normativni aspekti;

## Hrvatske norme

4. HRN EN 50423-1:2008 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 1 kV do uključivo 45 kV - 1. Dio: Opći zahtjevi – Uobičajene specifikacije;
5. HRN EN 50423-1:2008 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 1 kV do uključivo 45 kV - 2. Dio: Popis nacionalnih normativnih aspekata;
6. HRN EN 50423-1:2008 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 1 kV do uključivo 45 kV - 3. Dio: Nacionalni normativni aspekti;

## Hrvatske norme

4. HRN EN 50423-1:2008 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 1 kV do uključivo 45 kV - 1. Dio: Opći zahtjevi – Uobičajene specifikacije;
5. HRN EN 50423-1:2008 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 1 kV do uključivo 45 kV - 2. Dio: Popis nacionalnih normativnih aspekata;
6. HRN EN 50423-1:2008 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 1 kV do uključivo 45 kV - 3. Dio: Nacionalni normativni aspekti;

## Objedinjavanje normi 2012.

- Europski odbor za elektrotehničku normizaciju (CENELEC) objavio je **novu europsku normu EN 50341-1:2012 „Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV - Part 1: General requirements – Common specifications“**
- Objedinjene prethodno navedene norme za dalekovode iznad 45 kV i od 1 kV do 45 kV (EN 50341-1:2001 i EN 50423-1:2005)
- Nova norma zahtijeva da se provjes računa kod +40 °C i maksimalno pogonsko opterećenje (struju), pri čemu ukupna temperatura vodiča ne smije prijeći +80 °C (za klasične Al/Če vodiče)

## Daljnji razvoj norme

- Predmetnu normu HZN je u travnju 2013. prihvatio kao hrvatsku normu **HRN EN 50341-1:2012 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 1 kV - 1. Dio: Opći zahtjevi – Uobičajene specifikacije**
- 3. dio norme koji se odnosi na nacionalne normativne aspekte (NNA) trebao je biti objavljen do kraja 2013.
- Države članice EU koje posjeduju NNA nisu pripremile odgovarajuće nove norme, pa je rok za njihovu pripremu i objavu prolongiran
- Izrada Nacionalnog normativnog aspekta za hrvatsku (europsku) normu **HRN EN 50341-1:2012 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 1 kV** predstavlja važan korak za izradu novog Pravilnika

## Područja koja treba pokriti pri izradi NNA:

- teorija prijenosa električne energije s posebnim naglaskom na određivanje mehaničkih i električnih parametara nadzemnih vodova, te naponskih i strujnih prilika u različitim režimima rada
- koordinacija izolacije, prenaponska zaštita, te elektromagnetski i ostali utjecaj na okoliš
- statički i dinamički proračuni mehaničkih opterećenja stupova u različitim uvjetima
- utjecaj klimatskih uvjeta na projektiranje, izgradnju i održavanje dalekovoda (vjetar, snijeg, led)
- tehnička normizacija i legislativa

Prof. dr. sc. Ivica Pavić  
Izv. prof. dr. sc. Viktor Milardić

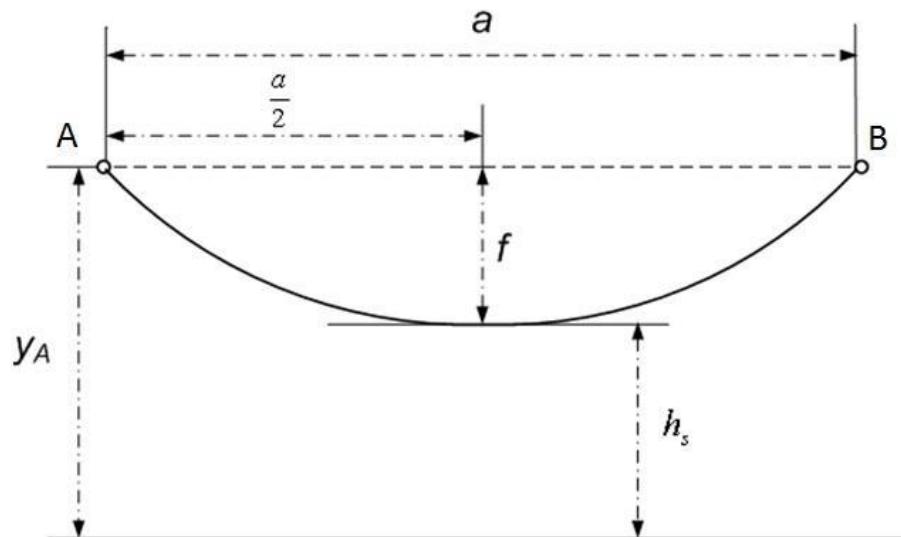
# Nadzemni vodovi i kabeli

---

Zavod za visoki napon i energetiku

Ak. god.: 2014/2015

- vodič između dva ovjesišta zbog težine zauzima položaj lančanice
  - A,B – ovjesišta
  - $y_A$  [m] – visina ovjesišta
  - $a$  [m] – raspon = horizontalni razmak između ovjesišta
  - $f$  [m] – provjes = okomiti razmak između sredine raspona i užeta,
  - $h_s$  [m] – sigurnosna visina, definira se pri maksimalnom provjesu



## Temperatura

- Propisane temperature koje se koriste za mehanički proračun vodiča dalekovoda:
  - a) minimalna:  $-20^{\circ}\text{C}$
  - b) maksimalna:  $+40^{\circ}\text{C}$
  - c) temperatura pri kojoj dolazi do pojave dodatnog tereta na dalekovodu:  $-5^{\circ}\text{C}$
- Propis → "Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 1 kV do 400 kV"
- Promjenom temperature dolazi do promjene naprezanja:
  - mijenja se duljina užeta ( $l$ ) – relativni otpust ( $\lambda$ )
  - mijenja se provjes vodiča ( $f$ ) – relativni provjes ( $\varphi$ )

## Naprezanje

- U normalnom pogonu uže je opterećeno **vlačnom silom**
  - dimenzioniranje na **vlačno (zatezno) naprezanje**
  - računa se u sredini raspona (horizontalna komponenta)
  - zbog određivanja mehaničke čvrstoće uže se ispituje na kidanje

## Sile koje djeluju na vodiče dalekovoda:

- a) Vertikalne sile
- b) Horizontalne sile

### Vertikalne sile (vlastita težina vodiča)

$$G_0 \left[ \frac{daN}{m} \right] \quad - \text{Vlastita težina vodiča po jedinici duljine}$$

$$\gamma_0 = \frac{G_0}{A} \left[ \frac{daN}{m \cdot mm^2} \right] \quad - \text{Specifična težina užeta (reducirana vlastita težina vodiča)}$$

$$\gamma_0 = \frac{G_0}{A} \cdot 10 \left[ \frac{N}{m \cdot mm^2} \right]$$

$$A [mm^2] \quad - \text{Presjek užeta}$$

## Dodatni teret (opterećenje)

- dodatni teret → inje, snijeg ili led
- razlikujemo **normalni i iznimni dodatni teret.**

**Normalni dodatni teret** → služi u proračunima za kontrolu vrijednosti dopuštenog normalnog naprezanja ( $\delta_d$ ) i definira se kao najveći teret u razdoblju od 5 god

- po propisima za normalni dodatni teret vrijedi:

$$G_{l0} \geq 0.18 \cdot \sqrt{d} \left[ \frac{daN}{m} \right], \quad d \text{ [mm]} - \text{promjer vodiča}$$

- normalni dodatni teret ovisi o klimatskim specifičnostima (led ili vjetar)
- može biti:  $G_{l0}$ ,  $1.6 \cdot G_{l0}$ ,  $2.5 \cdot G_{l0}$ ,  $4 \cdot G_{l0}$

**Iznimni dodatni teret** → služi za kontrolu iznimnog naprezanja ( $\delta_i$ ) i definira se na temelju statistike kao najveći teret u razdoblju od 20 godina.

- po propisima za iznimni dodatni teret vrijedi:  $G_l \geq 2 \cdot G_{l0} \left[ \frac{daN}{m} \right]$
- specifična težina zaledenog vodiča :  $\gamma_z = \gamma_l + \gamma_0$

## Horizontalne sile (vjetar)

- utvrđivanje brzine vjetra odnosno odgovarajućeg tlaka određuje se prema maksimalnom tlaku vjetra koji se pojavljuje prosječno svakih 5 godina na promatranom području
- **sila vjetra** na elemente voda računa se prema:  $P = A_{vj} \cdot p \cdot c_v \cdot \sin(\alpha)$

gdje je:

$P [N]$  - horizontalna sila vjetra na promatrani element dalekovoda

$A_{vj} [m^2]$  - površina promatranog elementa

$p \left[ \frac{daN}{m^2} \right]$  - tlak vjetra

$c_v$  - koeficijent djelovanja vjetra  
(za vodiče  $c_v=1$ , za stupove  $c_s=0.7-2.8$ )

$\alpha [^\circ]$  - kut pod kojim vjetar djeluje na promatrani element

- tlak vjetra se određuje:  $p = \frac{v^2}{16} \left[ \frac{daN}{m^2} \right]$ , gdje je je  $v [\text{m/s}]$  brzina vjetra

**Jednadžba lančanice**

$$y = \frac{\sigma_x}{\gamma} \cdot ch \frac{x \cdot \gamma}{\sigma_x}$$

- Razvojem jednadžbe lančanice u red hiperboličkih funkcija

$$y = \frac{\sigma}{\gamma} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{2!} \cdot \left( \frac{x}{\frac{\sigma}{\gamma}} \right)^2 + \frac{1}{4!} \cdot \left( \frac{x}{\frac{\sigma}{\gamma}} \right)^4 + \dots \right] \approx \frac{\sigma}{\gamma} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{2!} \cdot \left( \frac{x}{\frac{\sigma}{\gamma}} \right)^2 \right]$$

- **Provjes užeta po lančanici:**  $f = Y_A - \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{\sigma}{\gamma} \cdot ch \frac{a \cdot \gamma}{2 \cdot \sigma} - \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{\sigma}{\gamma} \cdot \left( ch \frac{a \cdot \gamma}{2 \cdot \sigma} - 1 \right)$

- **Jednadžba provjesa po paraboli:**  $f = \frac{a^2 \cdot \gamma}{8 \cdot \sigma}$

**Relativni provjes:**  $\varphi = \frac{f}{a} \cdot 100\%$

za  $a \leq 400$  m  $\rightarrow \varphi = 2 \div 3\%$

## Duljina vodiča (točna formula – prema lančanici)

$$L = 2 \cdot \frac{\sigma}{\gamma} \cdot sh\left(\frac{a \cdot \gamma}{2 \cdot \sigma}\right)$$

- Razvojem u red hiperboličkih funkcija (približna formula)

$$L \approx a + \frac{a^3 \cdot \gamma^2}{24 \cdot \sigma^2}$$

- **Relativni otpust:**  $\lambda = \frac{L - a}{a} \cdot 1000\%$

$$\lambda = \frac{a^2 \cdot \gamma^2}{24 \cdot \sigma^2} \cdot 1000\%$$

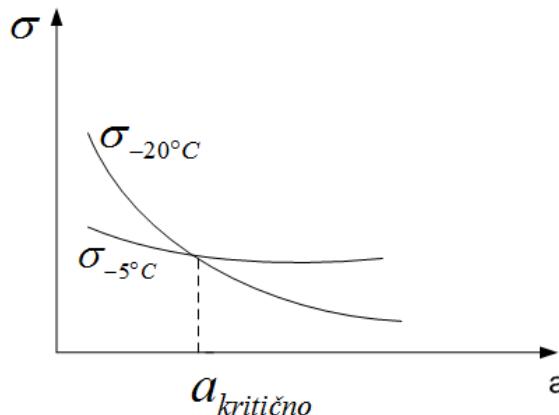
za  $a \leq 400$  m  $\rightarrow \lambda = 1 \div 2\%$

**Jednadžba stanja vodiča**

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{E} + \beta \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) = \frac{a^2}{24} \cdot \left( \frac{\gamma_1^2}{\sigma_1^2} - \frac{\gamma_2^2}{\sigma_2^2} \right)$$

□ **Kriterij kritičnog raspona**

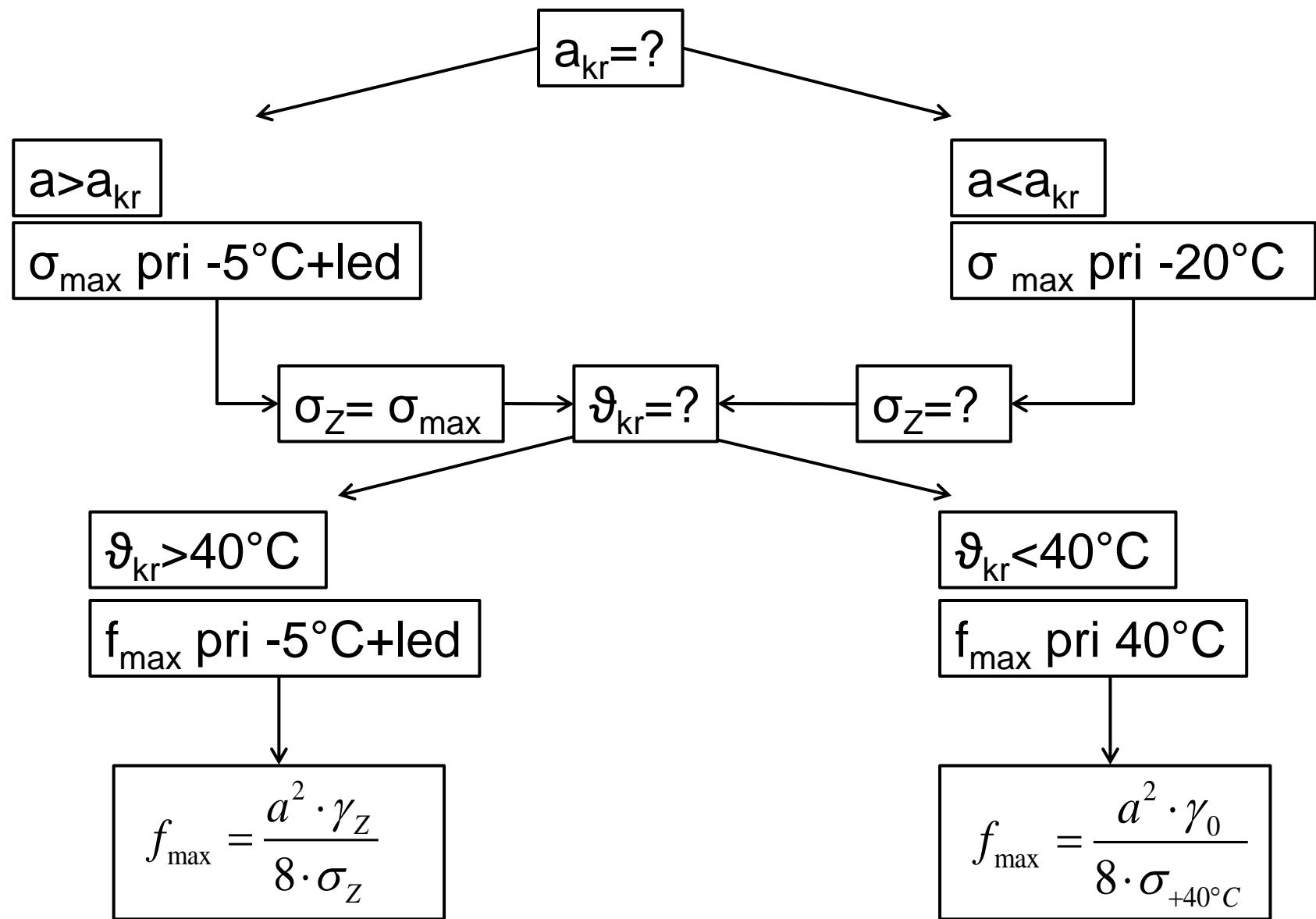
$$a_{kr} = \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot \beta}{\gamma_z^2 - \gamma_0^2}}$$



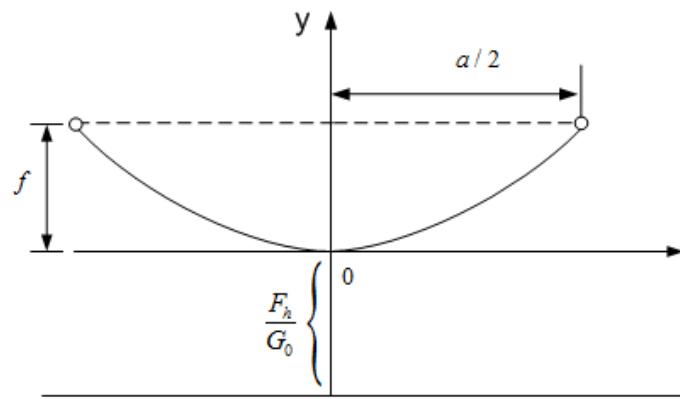
□ **Kriterij kritične temperature**

(temperatura kod koje je provjes bez dodatnog tereta jednak provjesu zaleđenog vodiča)

$$\vartheta_{kr} = \frac{\sigma_1}{\beta \cdot E} \cdot \left( 1 - \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right) - 5$$



## Jednadžba lančanice izražena preko horizontalne sile



$$y(x) = \frac{F_h}{G_0} \cdot \left[ \operatorname{ch} \left[ \frac{x}{\frac{F_h}{G_0}} \right] - 1 \right] \cong \frac{x^2}{2 \cdot \frac{F_h}{G_0}}$$

**Jednadžba parabole se koristi ako je:**

$$\frac{x^2}{12 \cdot \frac{F_h^2}{G_0^2}} \leq 1$$

**$F_h$**  - horizontalna komponenta sile u vodiču

Odnos  $\frac{F_h}{G_0}$  zove se konstanta lančanice – *catenary constant (C)*

**Provjes izražen preko horizontalne sile**

$$f = Y_A - \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{\sigma}{\gamma} \cdot \operatorname{ch} \frac{a \cdot \gamma}{2 \cdot \sigma} - \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{\sigma}{\gamma} \cdot \left( \operatorname{ch} \frac{a \cdot \gamma}{2 \cdot \sigma} - 1 \right) \quad f = \frac{a^2 \cdot \gamma}{8 \cdot \sigma}$$

$$f = \frac{F_h}{G_0} \cdot \left[ \operatorname{ch} \left[ \frac{a}{2 \cdot \frac{F_h}{G_0}} \right] - 1 \right] \cong \frac{a^2}{8 \cdot \frac{F_h}{G_0}}$$

## Veza između produljenja vodiča i provjesa

$$L - a = \frac{a^3}{24} \cdot \left( \frac{1}{\frac{F_h}{G_0}} \right)^2 = f^2 \cdot \left( \frac{8}{3a} \right)$$

**Relativno produljenje**  $\frac{L-a}{a} = \frac{a^2}{24} \cdot \left( \frac{1}{\frac{F_h}{G_0}} \right)^2 = f^2 \cdot \left( \frac{8}{3a^2} \right)$

$$f = \sqrt{\frac{3a(L-a)}{8}}$$

## Veza između zatezne sile i produljenja vodiča

$$F_h = \frac{G_0 \cdot a}{2} \sqrt{\frac{a}{6 \cdot (L-a)}}$$

## Usporedba rezultata proračuna provjesa (točna – približna formula)

| Vodič        | Raspon a (m) | Naprezanje $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> ) | Odnos $F_h/G_0$ (m) | Točan provjes f (m) | Približni provjes f (m) | Razlika (mm) |
|--------------|--------------|------------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------|
| Al/Če 150/25 | 400          | 95                                       | 2 781               | 7,1954              | 7,1923                  | 3,10         |
| Al/Če 240/40 | 400          | 95                                       | 2 772               | 7,2188              | 7,2156                  | 3,13         |

Vertikalna sila u ovjesištu vodiča (zbog težine):  $F_v = G_0 \cdot \frac{L}{2} = F_h \cdot sh \frac{a \cdot G_0}{2 \cdot F_h}$

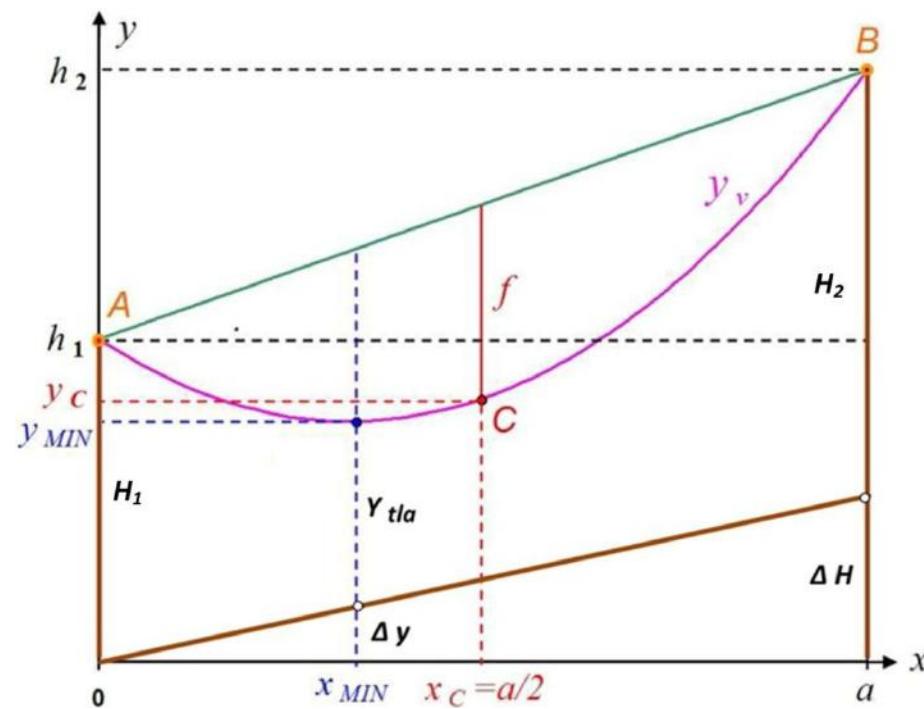
Ukupna sila:

$$\overline{F_t} = \overline{F_h} + \frac{\overline{G_0}}{2} \cdot L \quad F_t^2 = F_h^2 + \left( \frac{G_0 \cdot L}{2} \right)^2$$

$$F_t^2 = F_h^2 + F_h^2 \cdot \left( sh \frac{a \cdot G_0}{2 \cdot F_h} \right)^2 \Rightarrow F_t = F_h \cdot \sqrt{1 + \left( sh \frac{a \cdot G_0}{2 \cdot F_h} \right)^2} = F_h \cdot ch \frac{a \cdot G_0}{2 \cdot F_h}$$

$$F_t = F_h + G_0 \cdot \left( \frac{F_h}{G_0} \cdot ch \frac{a \cdot G_0}{2 \cdot F_h} - \frac{F_h}{G_0} \right) = F_h + G_0 \cdot f$$

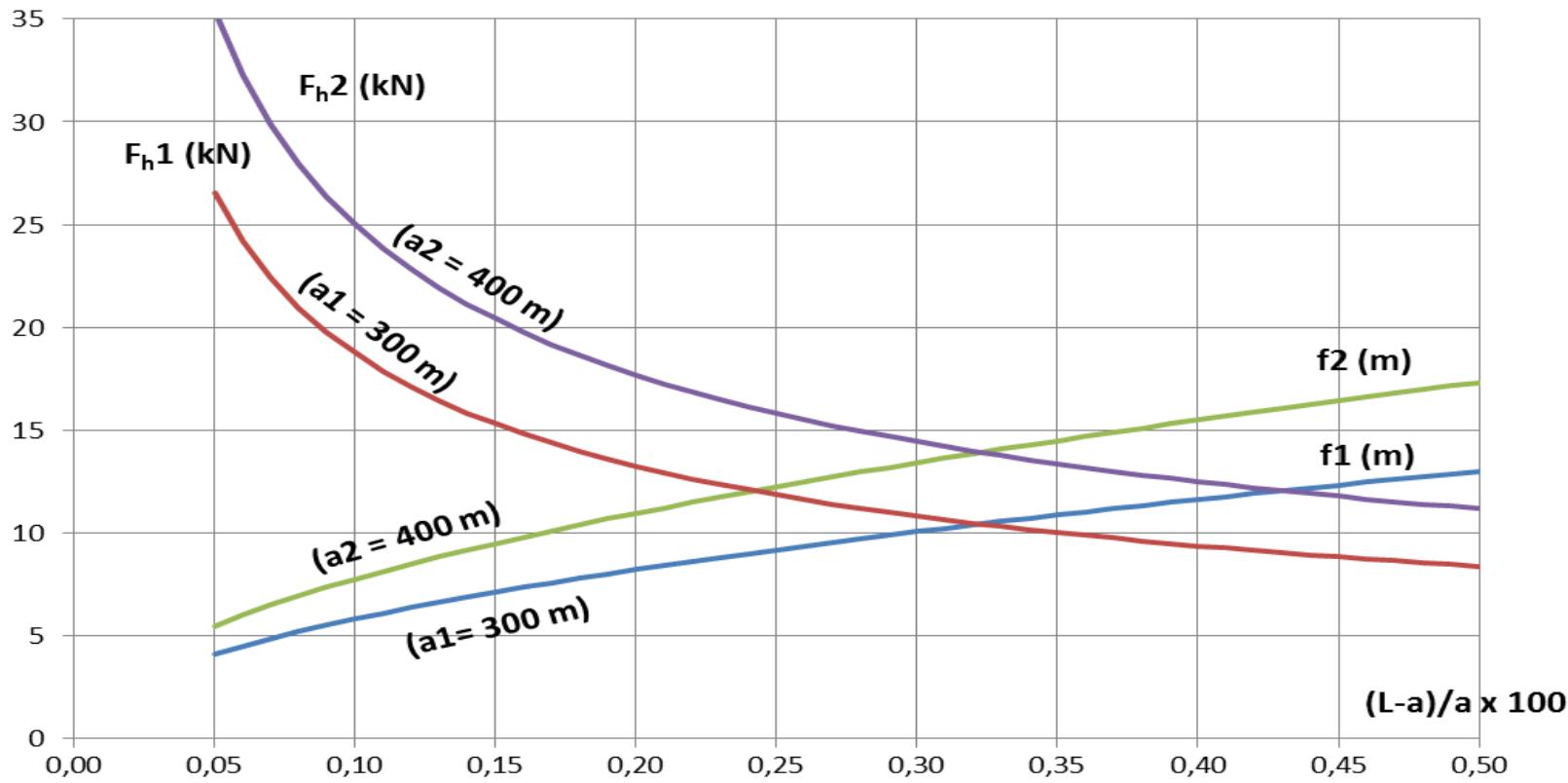
## Kosi raspon



$$y_{min} = h_1 - f \cdot \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4 \cdot f}\right)^2 \quad x_{min} = \frac{a}{2} \cdot \left(1 - \frac{h_2 - h_1}{4 \cdot f}\right)$$

$$h_1 = H_1; \quad h_2 = H_2 + \Delta H; \quad \Delta y = \frac{\Delta H}{a} \cdot x_{min} \quad y_{tla} = y_{min} - \Delta y = y_{min} - \frac{\Delta H}{a} \cdot x_{min}$$

## Međuovisnost provjesa (f) i zatezne sile ( $F_h$ ) o relativnom izduženju vodiča za AI/Če 240/40



## Proračun provjesa u realnom zateznom polju

- u zateznom polju postoji više raspona
- proračun za svaki kompliciran i dugotrajan

### Metoda idealnog raspona (*eng. Rulling Span Method*)

- temeljna pretpostavka ove metode jest da postoji jedan tzv. idealni raspon u zateznom polju koji „vrlo dobro reprezentira“ ponašanje serije različitih raspona u jednom zateznom polju
- idealni raspon predstavlja raspon koji ima istu *vrijednost relativnog produljenja* vodiča kao i svi rasponi zajedno u zateznom polju
- *vrijednost relativnog produljenja* svih raspona =  
= zbroj svih produljenja / zbroj duljina svih raspona
- *vrijednost relativnog produljenja* idealnog raspona =  
= produljenje idealnog raspona / duljina idealnog raspona

## Proračun provjesa u realnom zateznom polju

$$a_{ID} = \sqrt{\frac{\sum a_i^3}{\sum a_i}} \quad a_i = \text{pojedinačni rasponi u zateznom polju}$$

$$f_i = f_{ID} \cdot \left( \frac{a_i}{a_{ID}} \right)^2$$

Točni proračuni

- metoda konačnih elemenata
- EPE (*eng. Experimental Plastic Elongation Model*)

Programski paketi za proračun: PLS-CADD, SAG10 i dr.

Prof. dr. sc. Ivica Pavić  
Izv. prof. dr. sc. Viktor Milardić

# Nadzemni vodovi i kabeli

---

Zavod za visoki napon i energetiku

Ak. god.: 2014/2015

## Razvoj novih materijala i tehnologija (za jezgru vodiča)

- aluminij oksidna vlakna (*eng. aluminum matrix core*)
- kompozitna ugljična jezgra (*eng. hybrid carbon and glass fiber composite core*)  
(visokotemperaturni vodiči malih provjesa (*eng. High Temperature Low Sag – HTLS*))

## Pregled i osnovne karakteristike vodiča

### 1. Homogeni vodiči (od jednog materijala)

- **Klasični vodiči** (Cu, Al)
- **AAAC: All Aluminum Alloy Conductor** (vodič od posebne aluminijске legure)

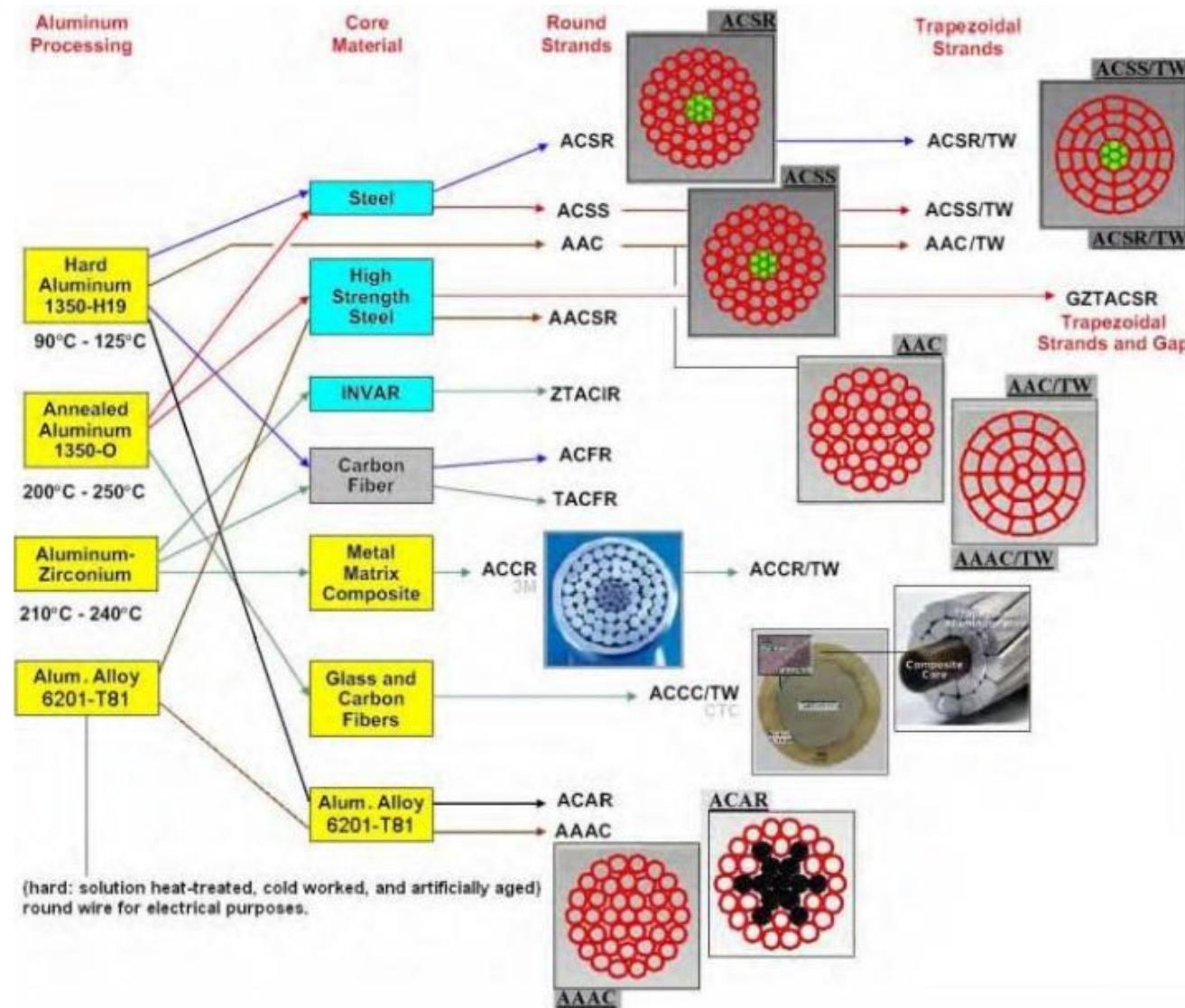
### 2. Vodiči s čeličnom jezgrom

- **ACSR: Aluminum Conductor Steel Reinforced** (Al/Fe)
- **ACSS: Aluminum Conductor Steel Supported**
- **G(Z)TACSR Gap Type ACSR**

### 3. Vodiči s kompozitnom jezgrom

- **ACCC: Aluminum Conductor Composite Core**
- **ACCR: Aluminum Conductor Composite Reinforced**

## Pregled i osnovne karakteristike vodiča

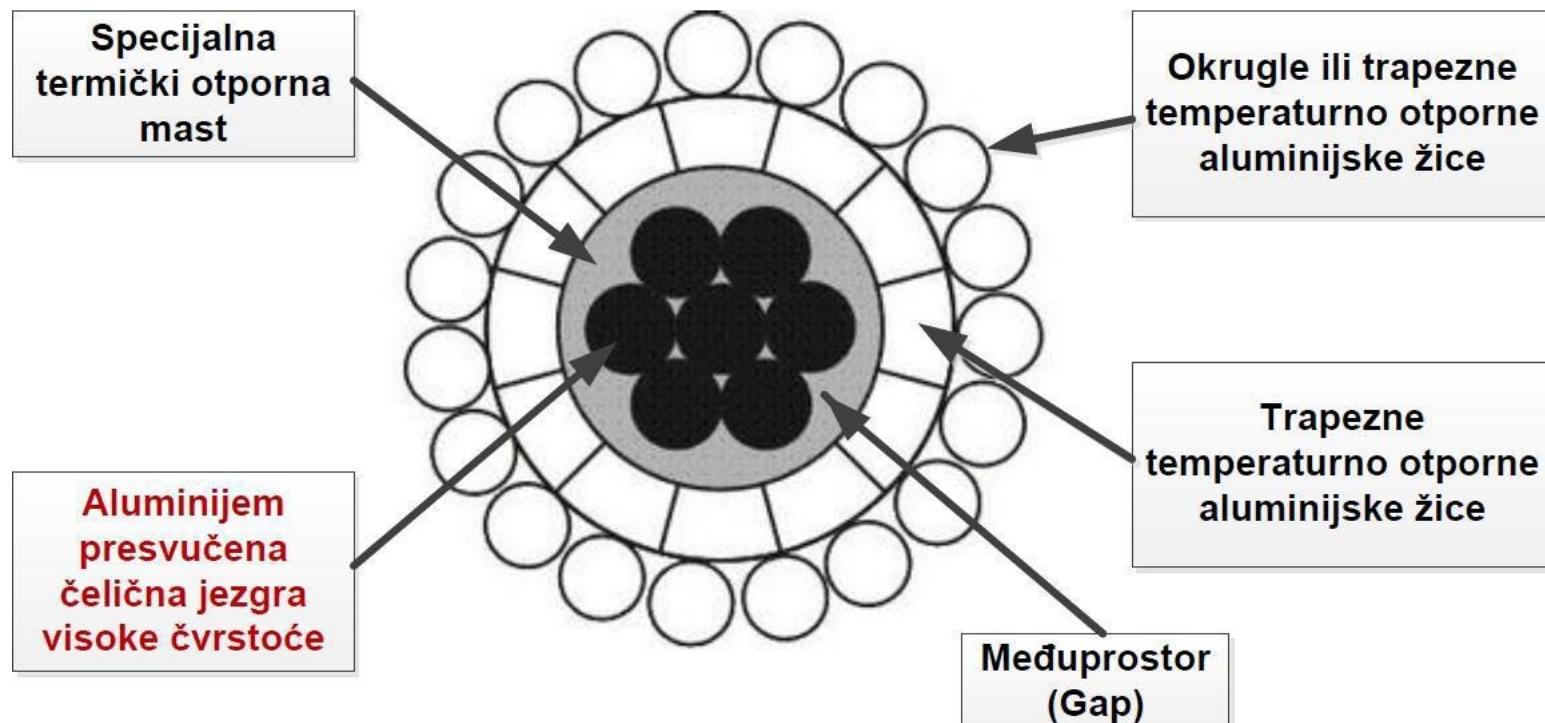


## ACSR vodič



- Najzastupljeniji vodiči današnjice
- Čelična jezgra, aluminijski plašt
- Niska radna temperatura
- Visoka temperatura termičkog koljena
- Izražen temperturni provjes

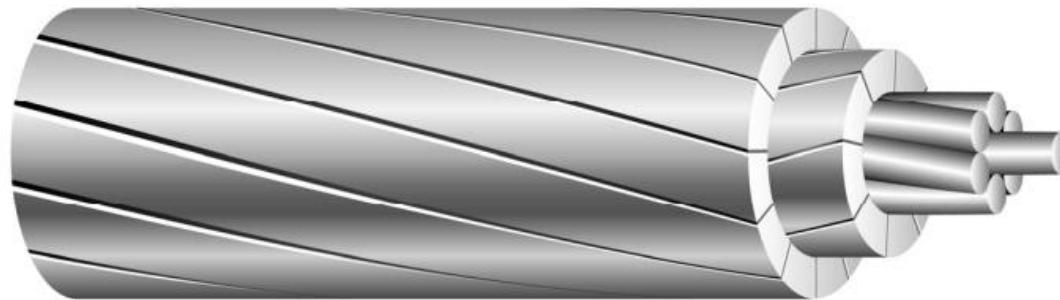
## "Gap" vodiči



## Prednosti "Gap" vodiča

- Povećanje prijenosnog kapaciteta vodiča:
  - GAP tip vodiča dopušta dvostruko veću strujnu opteretivost od konvencionalnih vodiča znog visoke temperaturne otpornosti
- Jednostavna montaža i zamjena jezgre
- Smanjenje provjesa:
  - odlična mehanička svojstva te znatno smanjenje provjesa na postojećim vodovima
- Minimalne preinake glave stupa pri zamjeni klasičnih vodiča
- Smanjenje elektromagnetskog polja

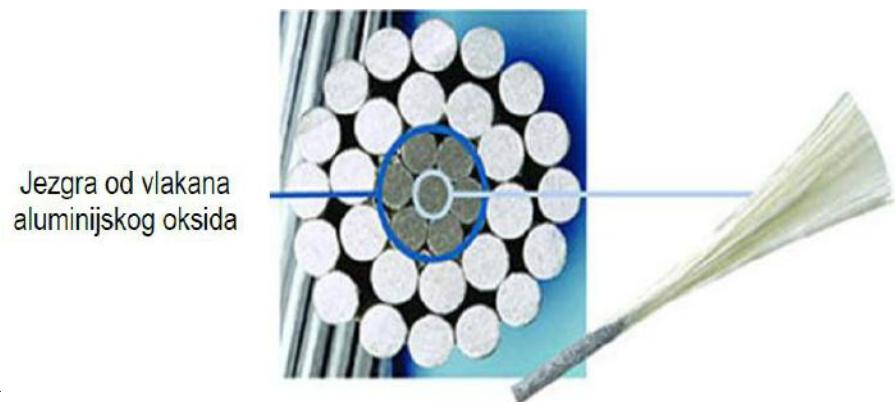
## ACSS/TW vodič



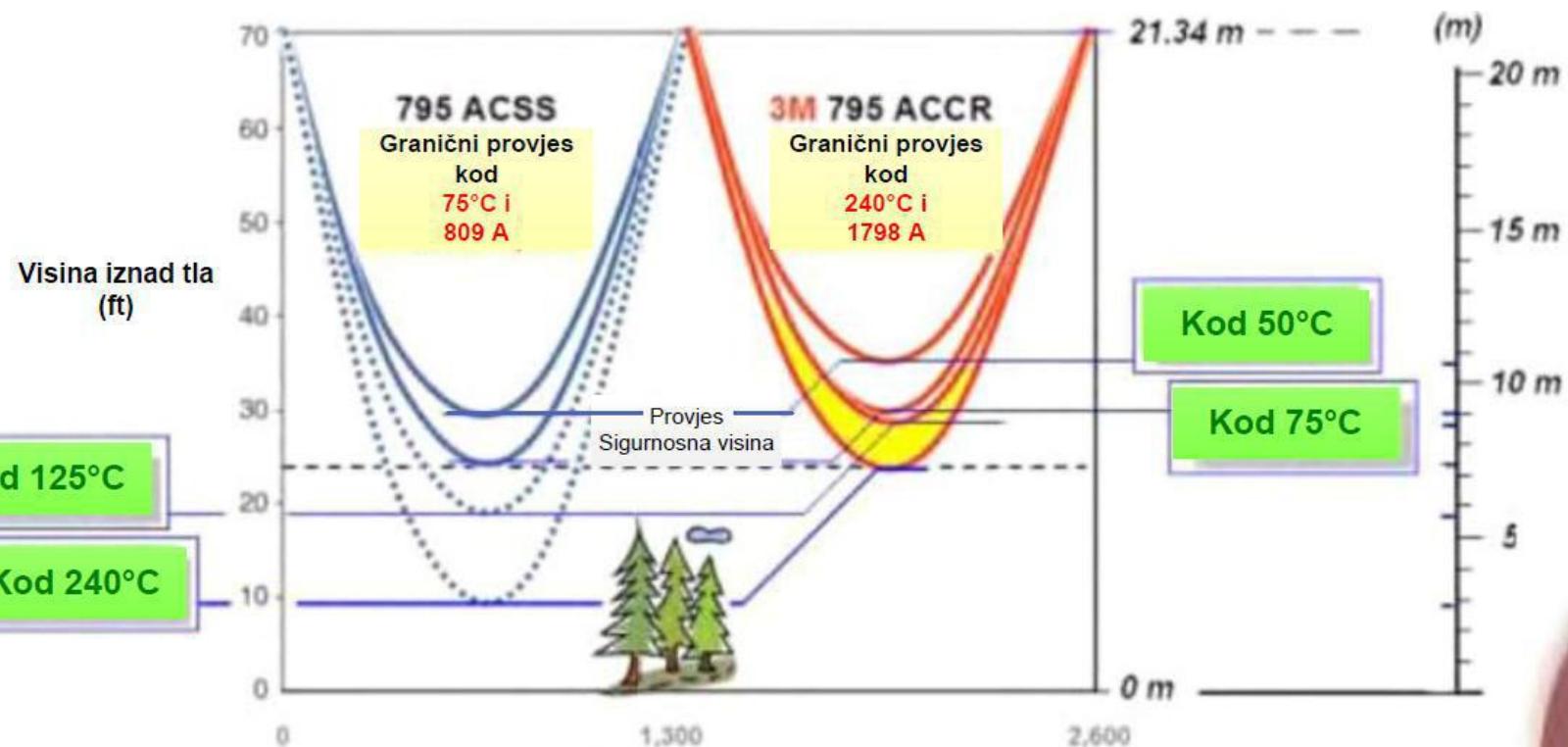
- Tehnološkom obradom dobiven tzv.mekani aluminij
- Znatno više radne temperature
- Niži iznosi provjesa
- Mogućnost veće strujne opteretivosti
- Otpornost na vibracije

## ACCR (Aluminium Conductor Reinforced) vodič

- Jezgra izgrađena od aluminij-oksidnih vlakana
- Plašt sastavljen od legure aluminij - cirkonij
- Bolja mehanička svojstva
- Mogućnost veće strujne opteretivosti
- Više radne temperature ( $210\text{-}240\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- Smanjen utjecaj termičkog provjesa
- Otporniji na udare munja

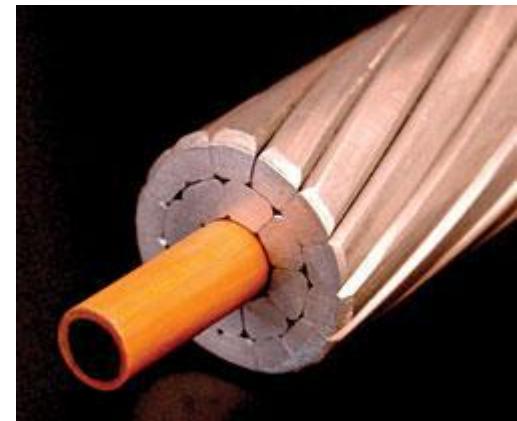


## Usporedba provjesa kod ACSS i ACCR vodiča



## ACCC (Aluminium Conductor Composite Core) vodič

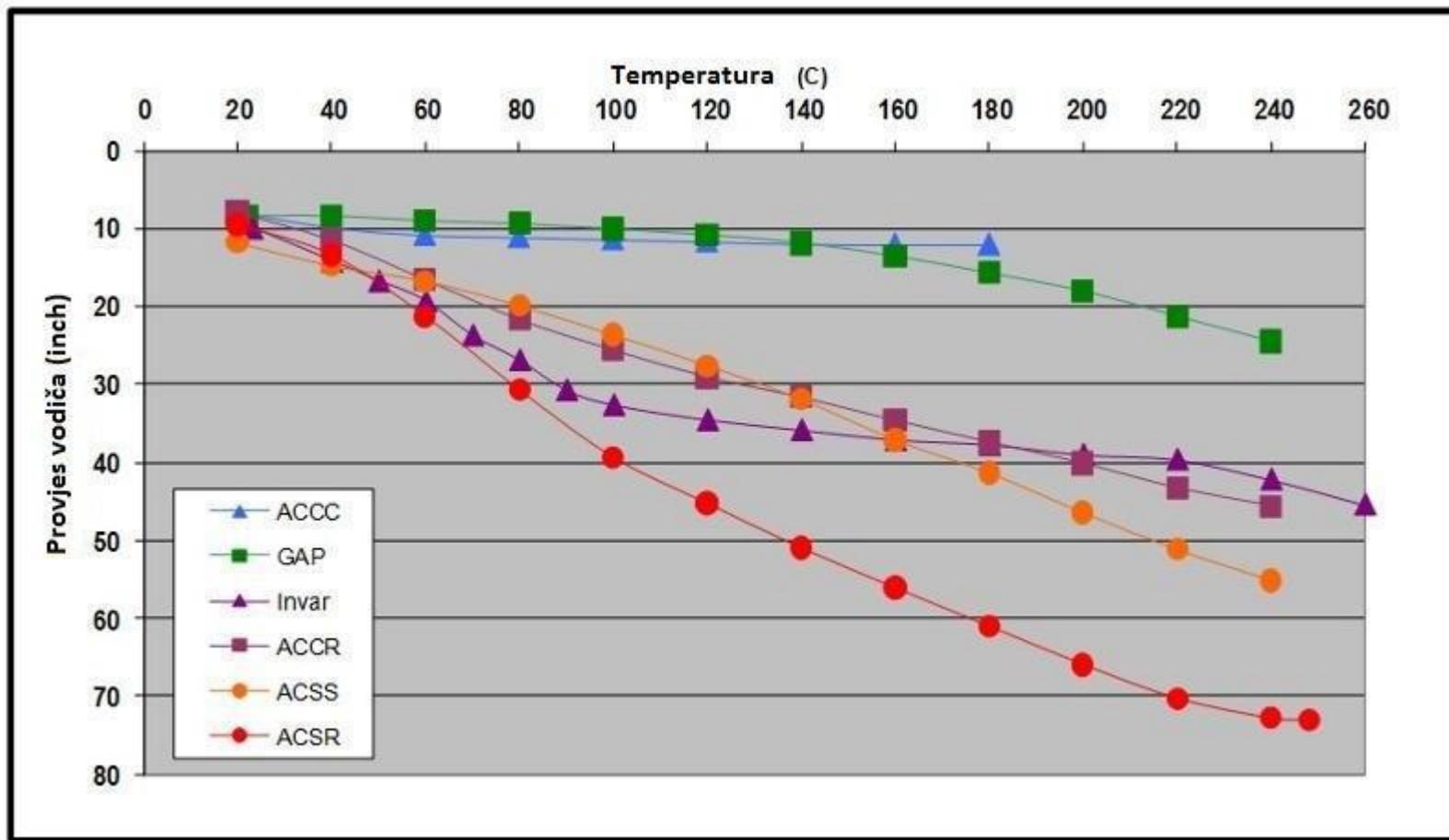
- Jezgra sastavljena od kompozitnih karbonskih i staklenih vlakana
- Aluminijski plašt
- Mogućnost većeg strujnog opterećenja
- Smanjen utjecaj temperaturnog provjesa
- Više radne temperature
- Mehanička čvrstoća



## **ACCC (Aluminium Conductor Composite Core) vodič**

- Karbonska vlakna su 25 % snažnija, te 60% lakša od tradicionalne čelične jezgre
- Trapezoidno oblikovane aluminijске niti – povećan udio Al u ACCC vodičima za 28%, bez povećanja težine i promjera vodiča
- koeficijent termičkog rastezanja ACCC vodiča – 9 puta manji od tipičnog ACSR ili ACSS vodiča
- Manji gubici djelatne snage
- Smanjenje naprezanja stupova
- Otpornost na koroziju

## Usporedba provjesa za nekoliko karakterističnih tipova vodiča

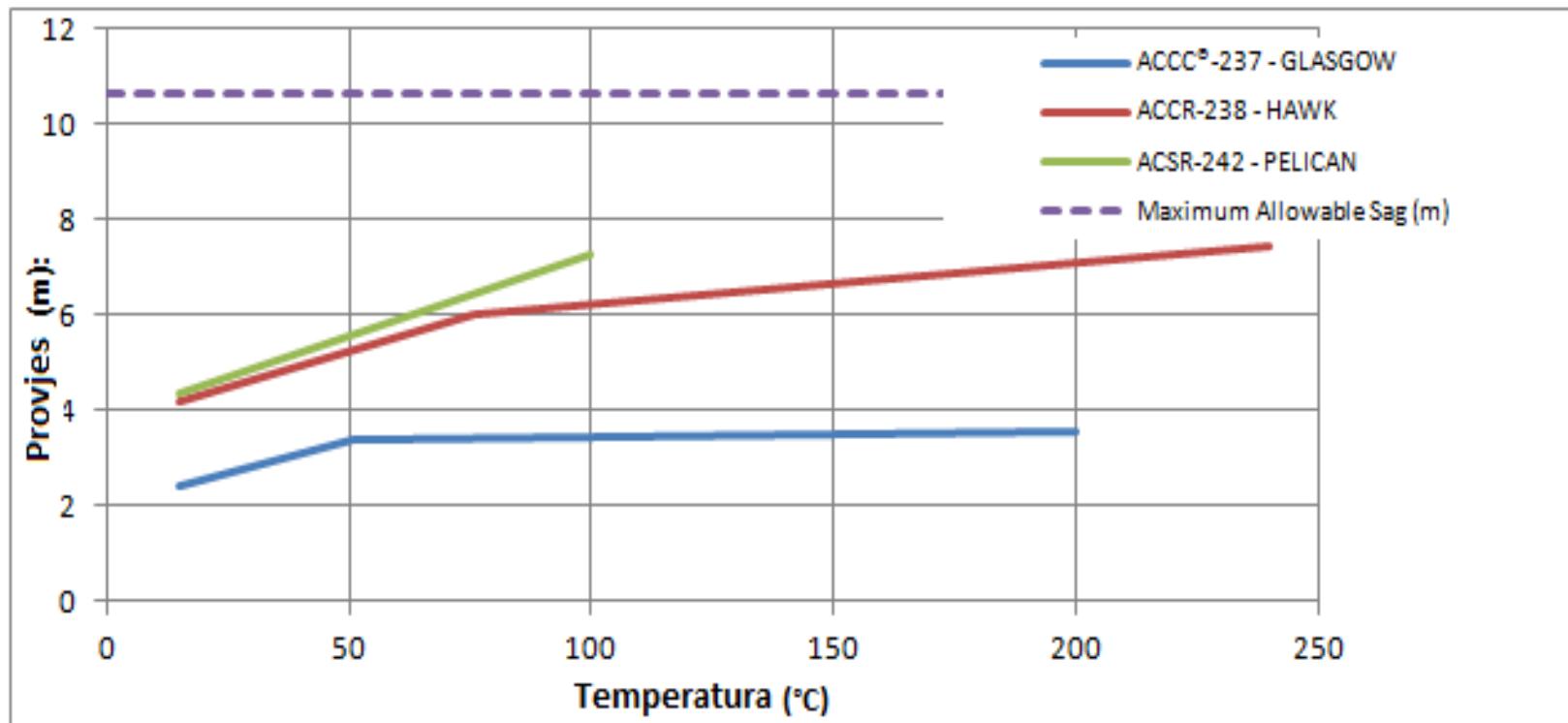


- raspon: 65 m,
- opterećenje: 0 - 1,6 kA

## Termičko koljeno

- Temperatura termičkog koljena je temperatura vodiča iznad koje aluminijski plašt složenog vodiča više nema naprezanja ili čak ide u kompresiju uzrokovano različitim istezanjem materijala pri zagrijavanju
- Temperatura koljena nije fiksna vrijednost, već ovisi o mnogo faktora, kao što su duljina raspona, zatezna sila, starost vodiča, količine leda na vodiču, te vremenski uvjeti
- Temperatura termičkog koljena kod tradicionalnih vodiča s čeličnom jezgrom varira između 80 °C i 90°C (maksimalno dozvoljena temperatura)
- Udio aluminija u jezgri vodiča znatno utječe na iznos temperature termičkog koljena
- Osnovni cilj – radna temperatura iznad temperature termičkog koljena, odnosno temperatura termičkog koljena blizu temperature okoline ili čak ispod nje (ponašanje vodiča tada je određeno isključivo karakteristikama jezgre vodiča, te aluminijski plašt nije napregnut zateznim silama)

## Usporedba provjesa za tri različita tipa vodiča



## Usporedba provjesa kod ACCC i ACSR vodiča



## Provjesi i sile naprezanja kod raspona 300 m

| Naziv vodiča                       | ACCC 237-GLASGOW | ACCR 238- HAWK | ACSR 242-PELICAN |
|------------------------------------|------------------|----------------|------------------|
| Temperatura termičkog koljena [°C] | 54               | 81             | 223              |
| Provjes [m]                        | 4.76             | 8.18           | 13.12            |
| Sile naprezanja [kN]               | 17.0             | 10.7           | 6.5              |

|                        | ACCC 237-GLASGOW  | ACCC 237-GLASGOW     | ACCR 238-HAWK     | ACCR 238-HAWK        | ACSR 242-PELICAN | ACSR 242-PELICAN     |
|------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|------------------|----------------------|
|                        | Provjes [m]       | Sile naprezanja [kN] | Provjes [m]       | Sile naprezanja [kN] | Provjes [m]      | Sile naprezanja [kN] |
| I=maks (T=20°C)        | 4.86              | 16.6                 | 8.44              | 10.4                 | 10.02            | 8.5                  |
| I=maks (T=40°C)        | 4.9               | 16.5                 | 8.67              | 10.1                 | 10.78            | 7.9                  |
| Radna temperatura      | 4.97<br>(T=180°C) | 16.2                 | 9.42<br>(T=210°C) | 9.3                  | 8.62<br>(T=75°C) | 9.9                  |
| Maksimalna temperatura | 5.01<br>(T=200°C) | 16.1                 | 9.7<br>(T=240°C)  | 9.0                  | 9.5<br>(T=100°C) | 8.9                  |
| -5° s ledom            | 6.2               | 28.8                 | 7.1               | 27.0                 | 7.49             | 24.9                 |

### Napomena:

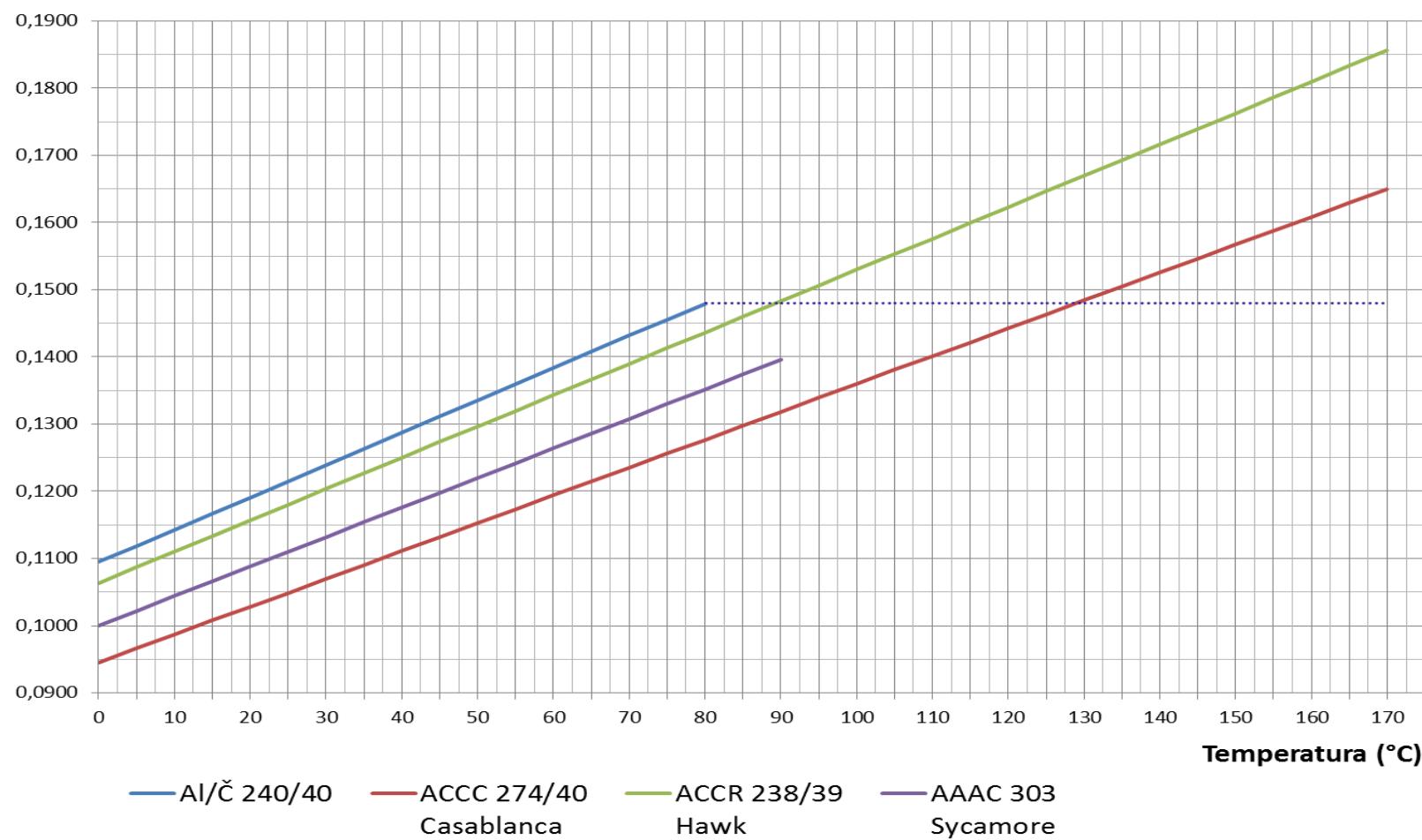
Temp. termičkog koljena ACSR vodiča (223 °C) je znatno iznad dozvoljene

### Legenda:

*Radna temp.* – trajno dozvoljena temp. u pogonu

*Maksimalna temp.* – temperatura za koju je dimenzioniran vodič

### Ovisnost električnog otpora vodiča o temperaturi



## Vodiči nove generacije

| Oznaka tipa                   |                    | Al/Č       | ACCC                              | ACCR                      | AAAC              |
|-------------------------------|--------------------|------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Kodno ime ili nazivni presjek |                    | 240/40     | Casablanca<br>274/40              | Hawk<br>238/39            | Sycamore<br>303   |
| Konstrukcija                  | br. žica<br>pl/jez | 26/7       | 16/1                              | 26/7                      |                   |
| Materijal                     |                    |            |                                   |                           |                   |
| - jezgra                      |                    | poc. čelik | Ugљična i<br>staklena vlakna      | Aluminij-matrix<br>vlakna | Al legura<br>6201 |
| - plašť                       |                    | Al 1350    | Al 1350-0<br>- potpuno<br>odžaren | Al-Zn legura<br>1350-H19  | Al legura<br>6201 |
| Promjer                       |                    |            |                                   |                           |                   |
| - ukupno jezgre               | mm                 |            | 7,11                              | 8,0                       | -                 |
| - ukupno vodiča               | mm                 | 21,9       | 20,5                              | 21,64                     | 22,61             |
| Računski presjek              |                    |            |                                   |                           |                   |
| - Al plašta                   | mm <sup>2</sup>    | 243        | 276,7                             | 238,7                     | 303,3             |
| - jezgre                      | mm <sup>2</sup>    | 39,5       | 39,7                              | 39                        | -                 |
| - ukupni                      | mm <sup>2</sup>    | 282,5      | 316,4                             | 277,7                     | 303,3             |

## Vodiči nove generacije

| Oznaka tipa                                                                     |                      | Al/Č     | ACCC        | ACCR        | AAAC     |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|-------------|-------------|----------|
| Nazivna masa                                                                    |                      |          |             |             |          |
| - jezgre                                                                        | kg/km                |          | 76          | 134         | -        |
| - Al plašta                                                                     | kg/km                |          | 767         | 659         | -        |
| - ukupna                                                                        | kg/km                | 987      | 843         | 793         | 835      |
| Prekidna sila                                                                   | kN                   | 86,5     | 101,3       | 85,4        | 79,2     |
| Koef. topl. istez.                                                              |                      |          |             |             |          |
| - kompl. užeta                                                                  | 10 <sup>-6</sup> /°C | 18,9     | **          | 17,5        | 23       |
| - ispod termičkog koljena                                                       | 10 <sup>-6</sup> /°C |          | 18,3        | 17,5        | -        |
| - iznad termičkog koljena                                                       | 10 <sup>-6</sup> /°C |          | 1,61        | 6,3         | -        |
| El. otpor                                                                       |                      |          |             |             |          |
| - DC pri 20°C                                                                   | Ω/km                 | 0,1188   | 0,1024      | 0,1153      | 0,1081   |
| - AC pri 25°C                                                                   | Ω/km                 | 0,1215   | 0,1049      | 0,1180      | 0,1110   |
| - AC pri 75°C                                                                   | Ω/km                 | 0,1460   | 0,1255      | 0,1414      | 0,1327   |
| Temp. koef. otpora (20°C)                                                       | 10 <sup>-3</sup> /°C | 4,04     | 4,03        | 4,03        | 4,04     |
| Maks. strujna opteretivost/temp                                                 |                      |          |             |             |          |
| kod T <sub>ok</sub> =40 °C i v <sub>vj</sub> =0,6 m/sek; 895 W/m <sup>2</sup> , | A / °C               | 594 / 75 | 799 / 100   | 765 / 100   | 629 / 75 |
|                                                                                 | A / °C               | 631 / 80 | 1 120 / 175 | 1 185 / 210 | 668 / 80 |

Prof. dr. sc. Ivica Pavić  
Izv. prof. dr. sc. Viktor Milardić

# Nadzemni vodovi i kabeli

---

Zavod za visoki napon i energetiku

Ak. god.: 2014/2015

## Kompaktirani dalekovodi

Osnovna razlika u odnosu na klasične DV:

- Pokretne konzole s kompozitnim materijalima
- Promijenjen izgled glave stupa
- Bolja amortizacija sila koje djeluju na DV
- Manji koridori
- Manji razmaci između faza
- Promijenjene mahaničke i električne karakteristike

## Potencijalne prednosti

- Bolja iskoristivost prostora (uže trase, niži stupovi)
- Korištenje postojećih koridora uz povećanje naponske razine i prijenosne moći dalekovoda
- Rasterećenje stupova
- Smanjenje EM utjecaja

## Potencijalni nedostaci

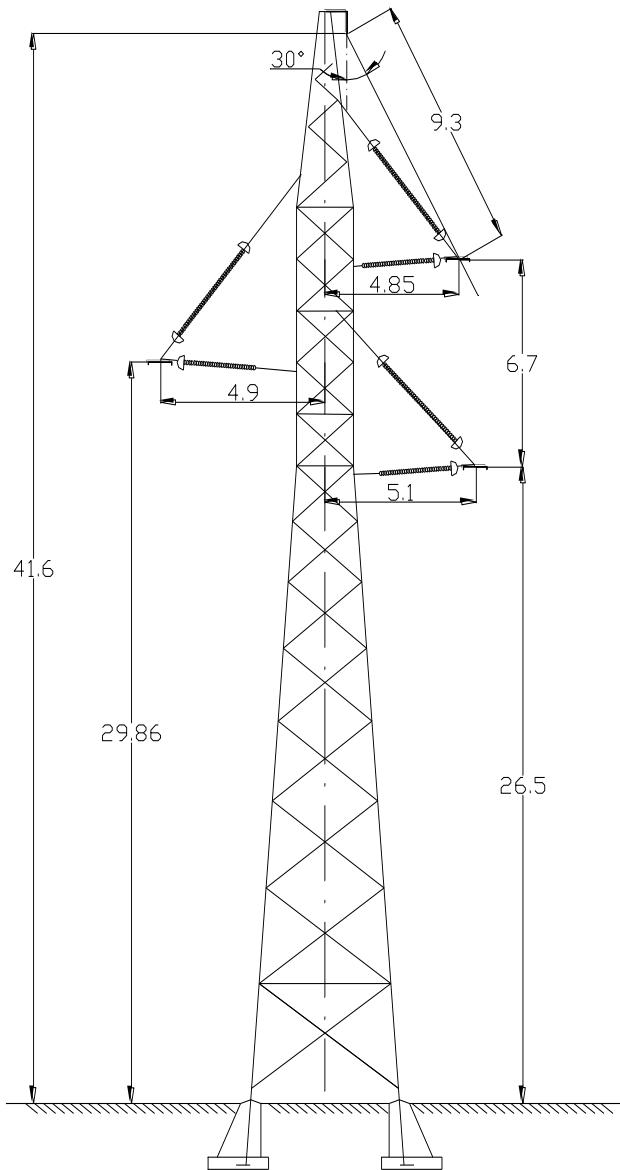
- Nedovoljno pogonsko iskustvo i nedostatni projektantski alati
- Povećani provjesi u slučaju nesimetričnih sila
- Mogućnost pojave eolskih vibracija pri povećanim zateznim silama
- Dodatna prenaponska zaštita (zbog manjih razmaka i veće mogućnosti preskok)

## Kompaktirani dalekovodi u pogonu

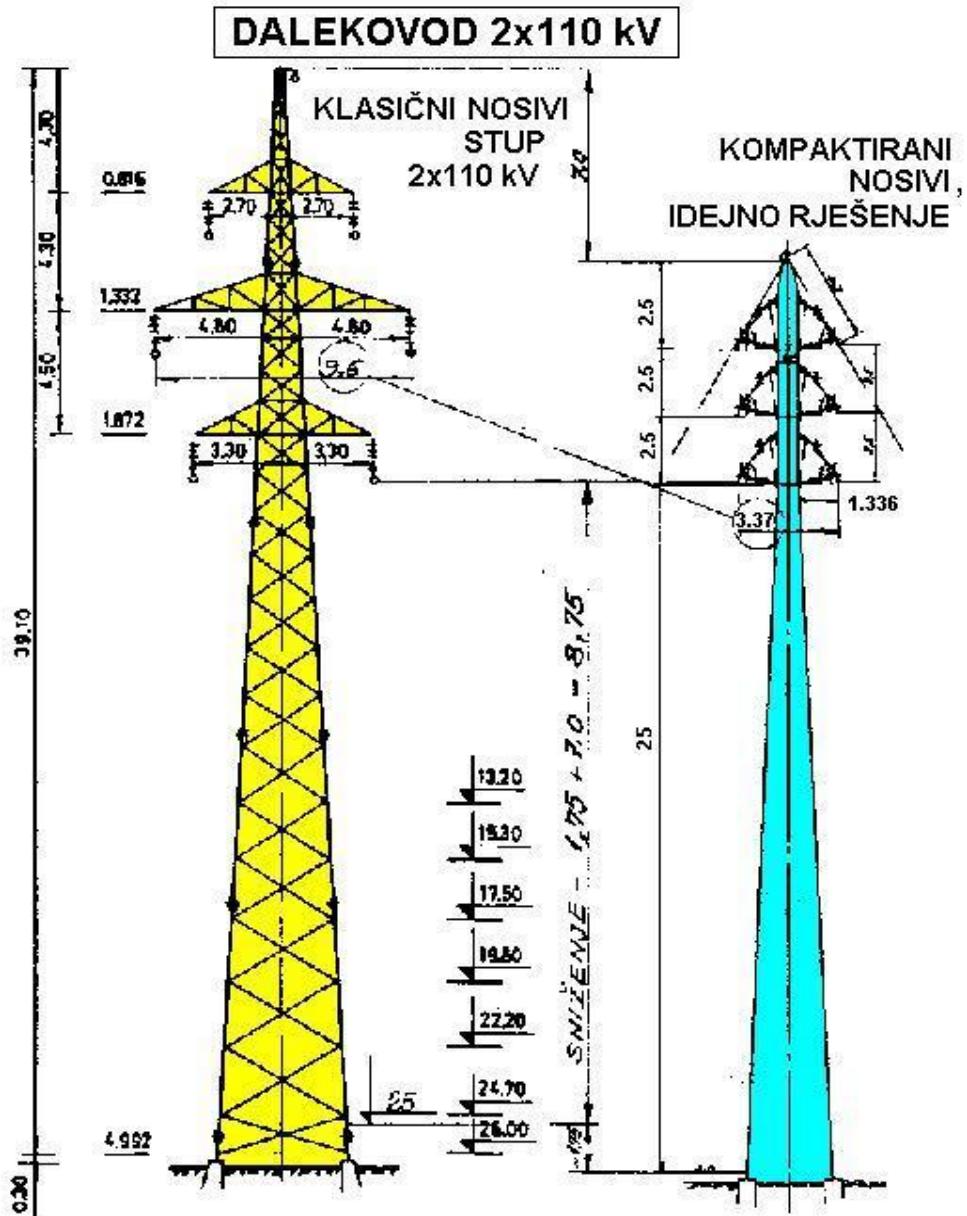
- manja reaktancija → veća granična snaga prijenosa (poboljšanje stabilnosti sustava)

$$P = \frac{V_1 \cdot V_2}{X}$$

- manji otpor → manji gubici djelatne snage
- manja impedancija → manji pad napona
- manja impedancija → veće struje kratkog spoja

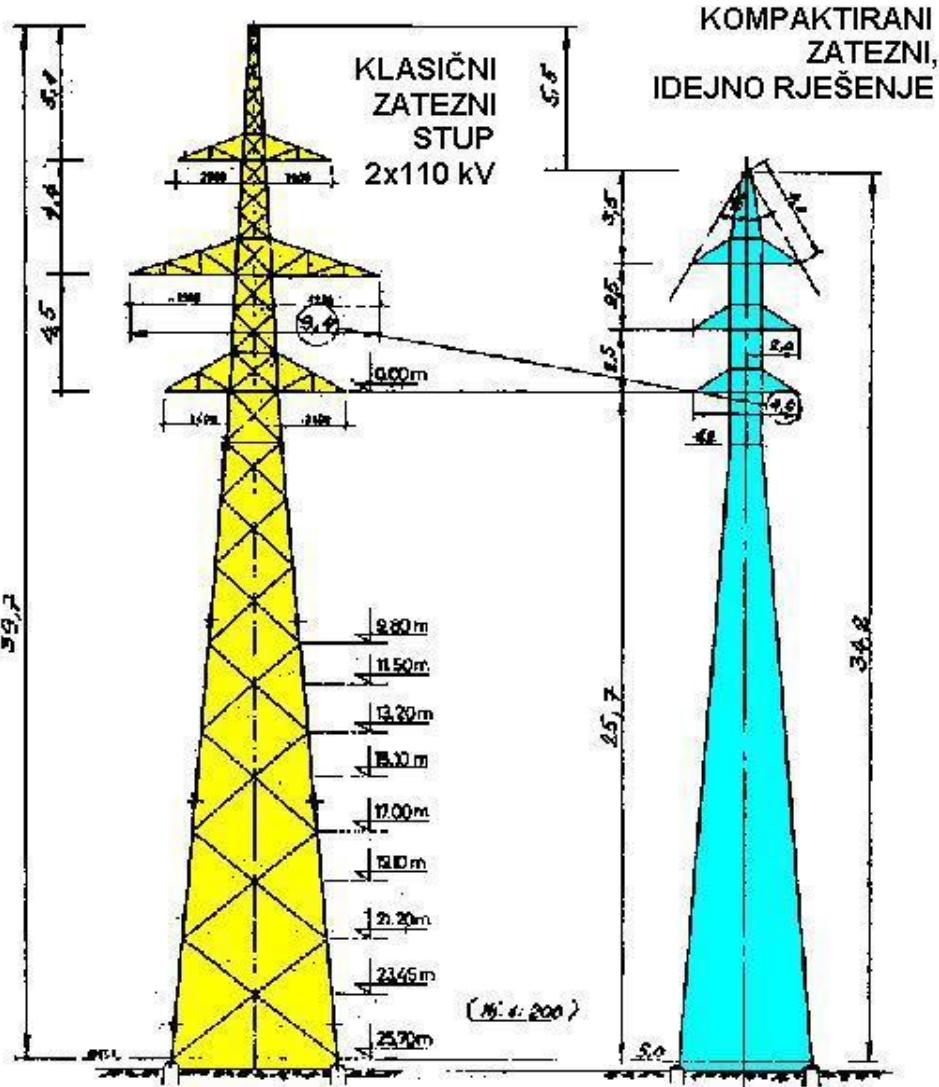


## Glava kompaktiranog stupa tipa "jela" s pokretnim konzolama



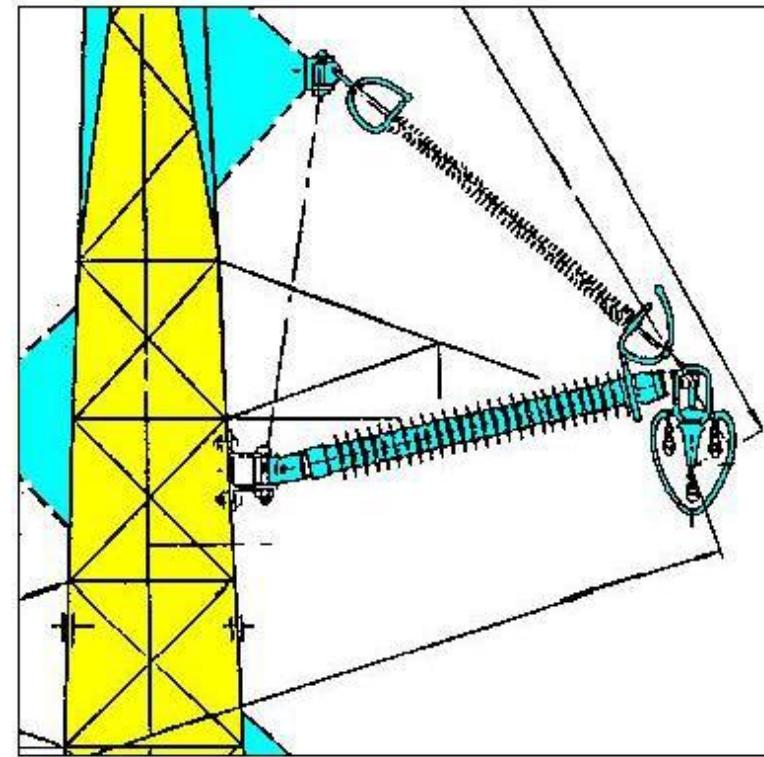
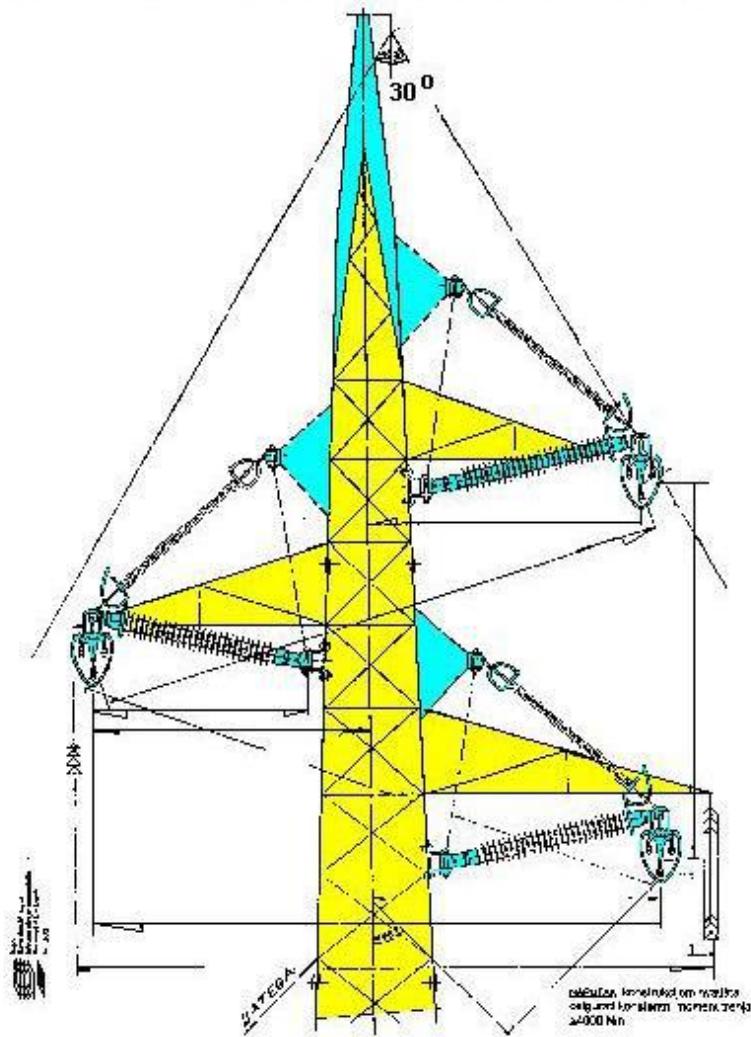
**Usporedba  
klasičnog i  
kompaktiranog  
nosivog stupa**

**DALEKOVOD 2x110 kV**

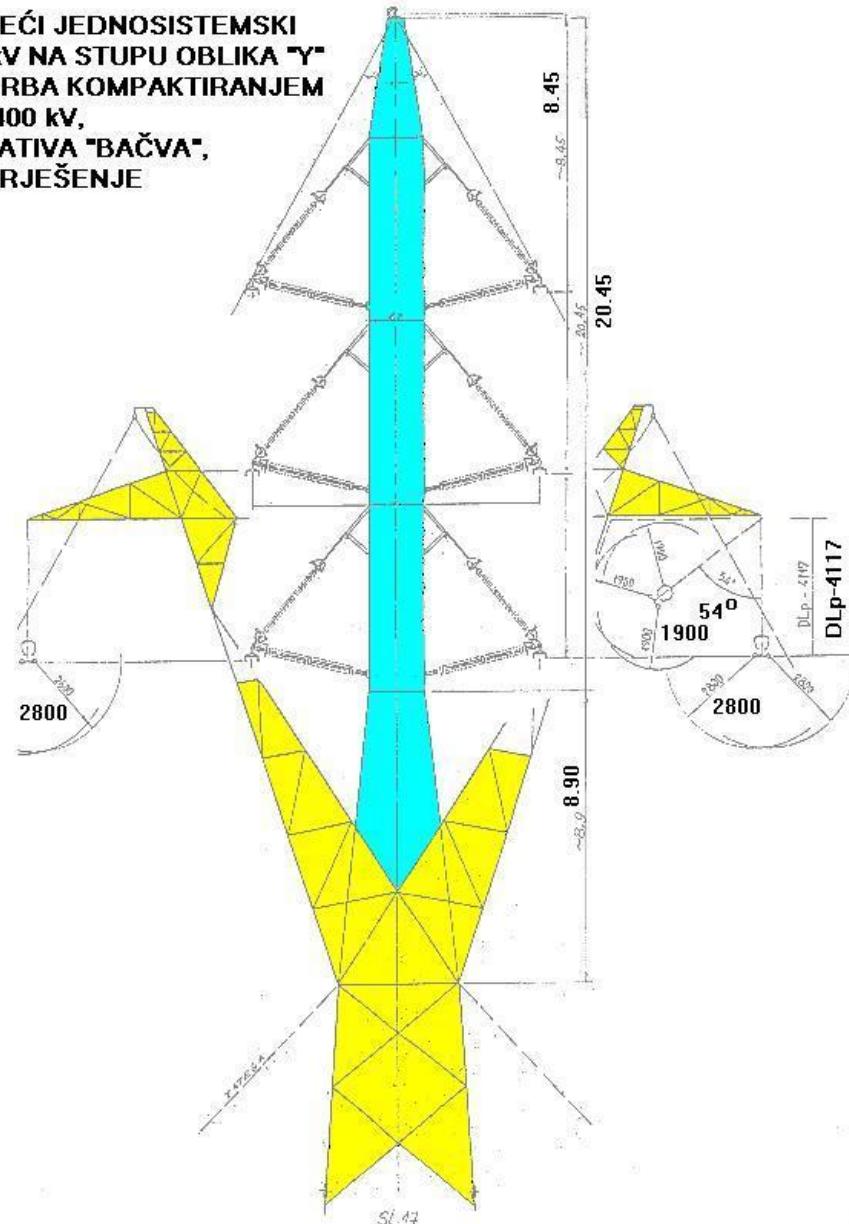


**Usporedba  
klasičnog i  
kompaktiranog  
zateznog stupa**

# Moguća pretvorba 220 kV u 400 kV dalekovod



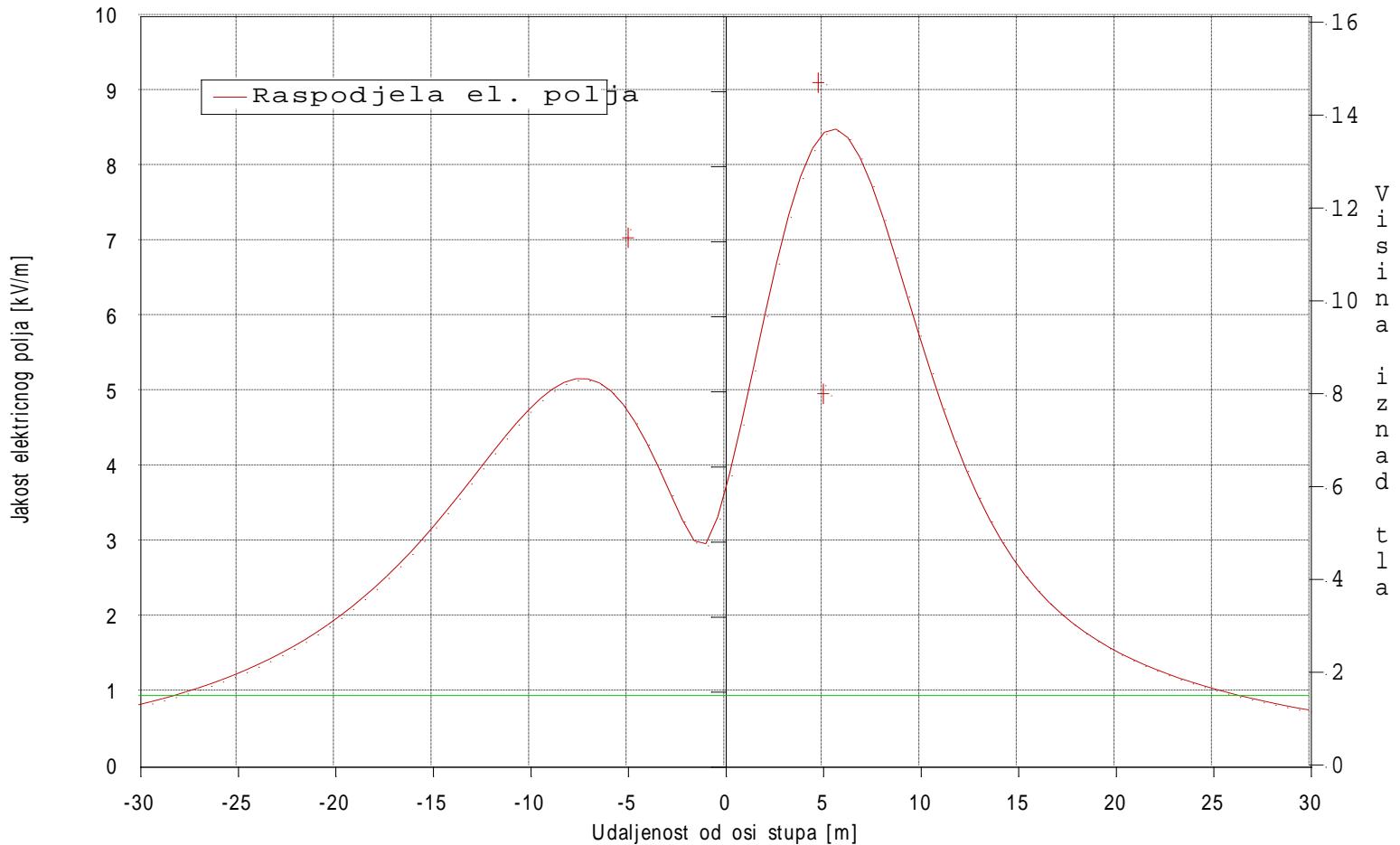
POSTOJEĆI JEDNOSISTEMSKI  
DV 400 KV NA STUPU OBЛИKA "Y"  
PRETVORBA KOMPАKTIRANJEM  
U DV 2x400 KV,  
ALTERNATIVA "BAČVA",  
IDEJNO RJEŠENJE



## Proračun električnih karakteristika

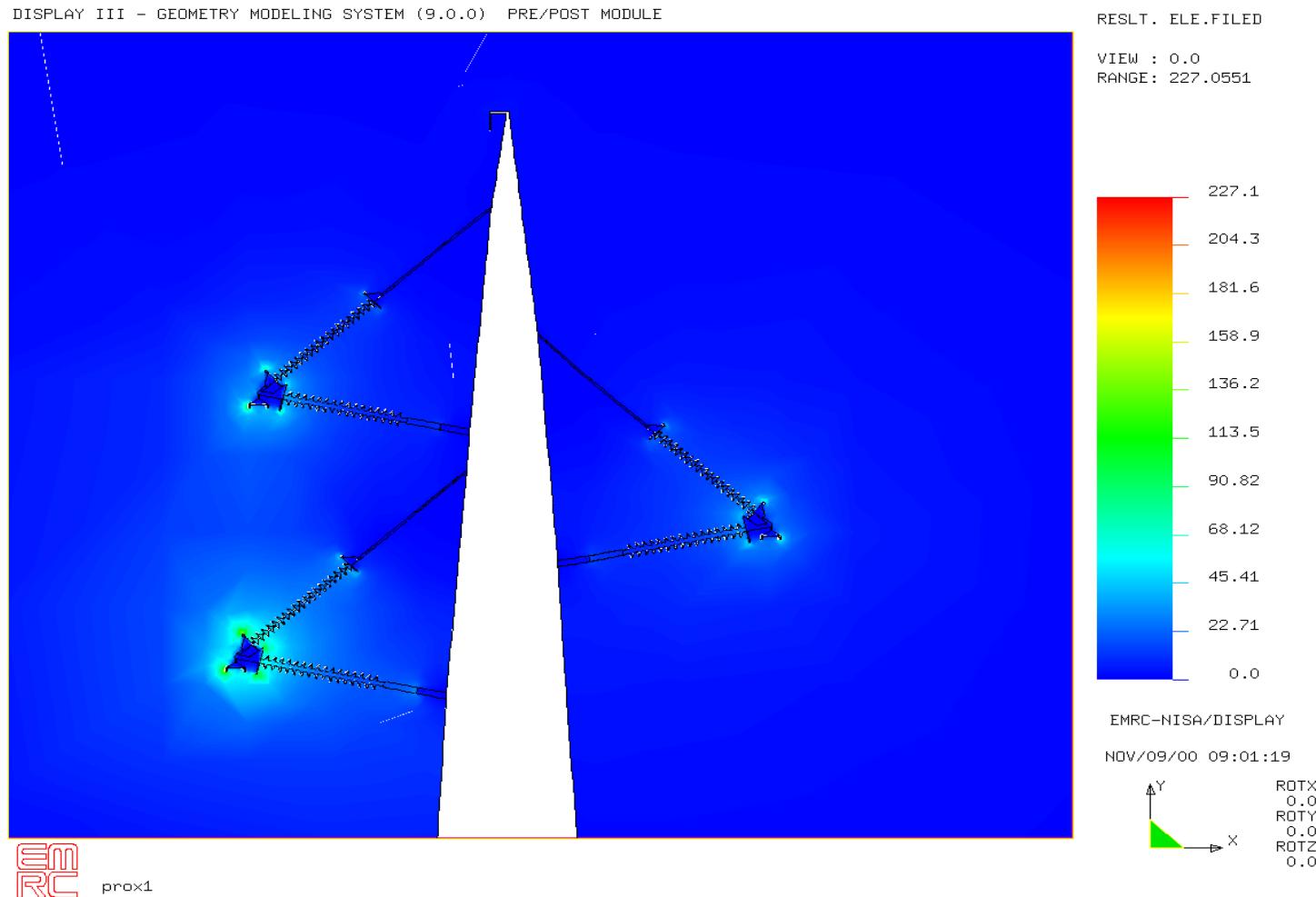
- Analiza stacionarnih i tranzijentnih pogonskih prilika
- Utjecaj električnog i magnetskog polja u neposrednoj blizini dalekovoda
- Utjecaj električnog polja na radio/TV smetnje
- Provjera dielektričnih svojstava  
(izolacijski razmak između vodiča, između vodiča i uzemljenog stupa, vodiča i zemlje)
- Primjena međunarodnih standarda za koordinaciju izolacije  
IEC 71-1 (*Definitions, principles and rules*, 1993.)  
IEC 71-2 (*Aplication Guide*, 1996.)

## Jakost električnog polja DV-a na 1,5 m iznad zemlje

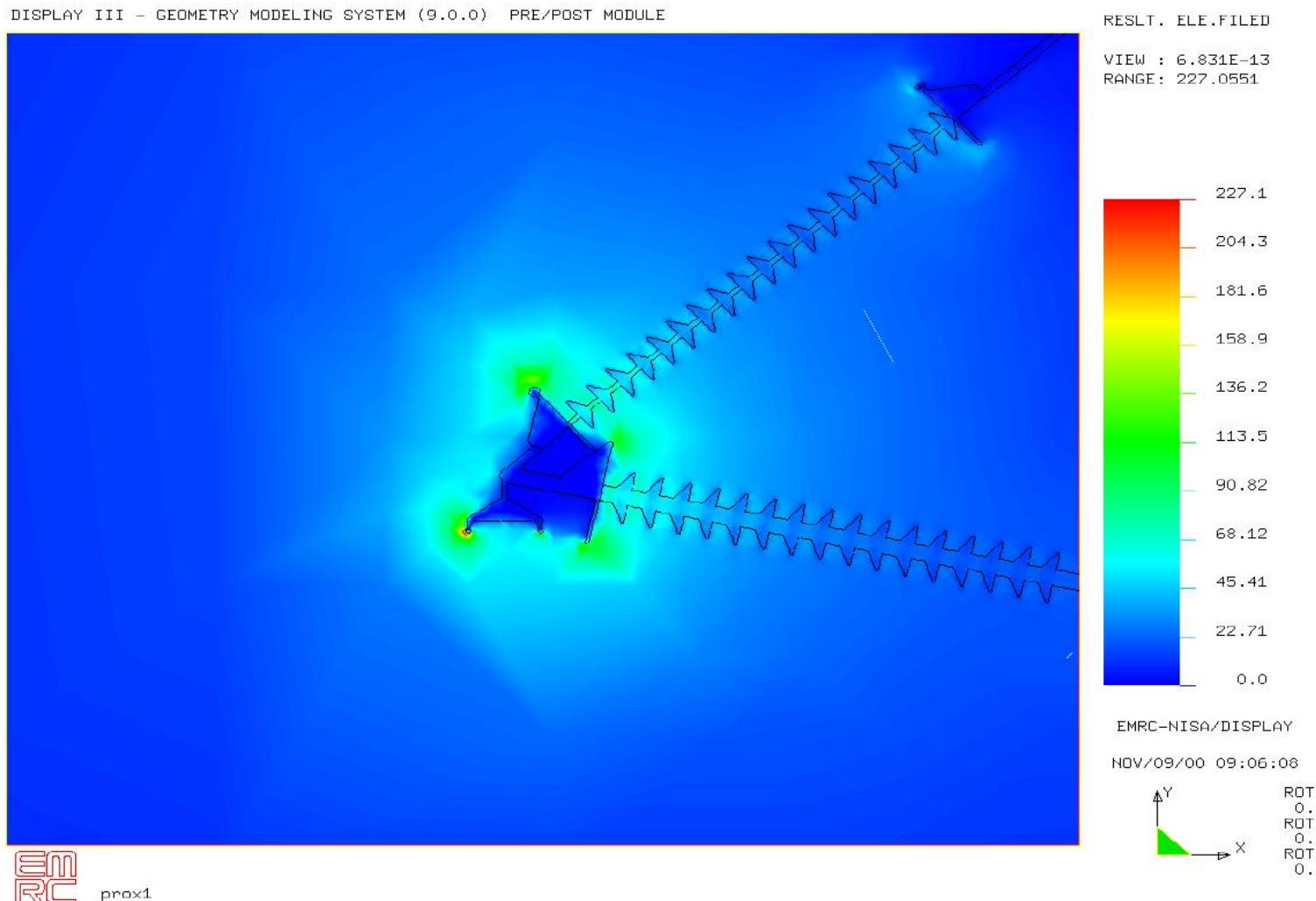


QLINEM FER V1W 14:25:31, 18/09/00

# Raspodjela električnog polja

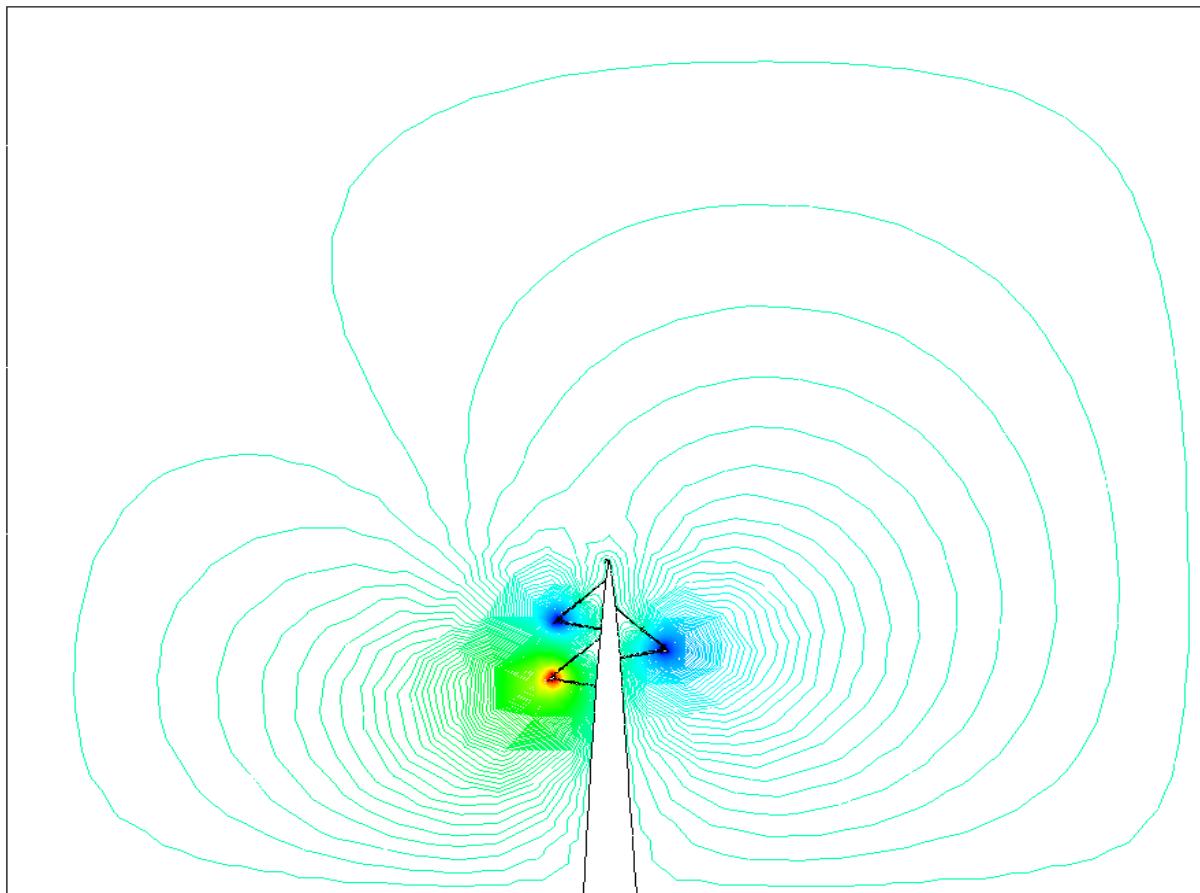


## Raspodjela električnog polja



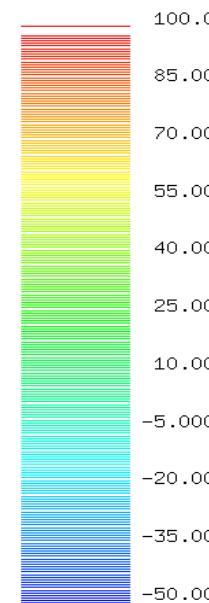
# Raspodjela potencijala

DISPLAY III – GEOMETRY MODELING SYSTEM (9.0.0) PRE/POST MODULE



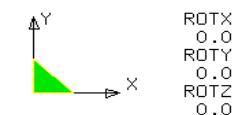
VOLTAGE

VIEW : -50.0  
RANGE: 100.0



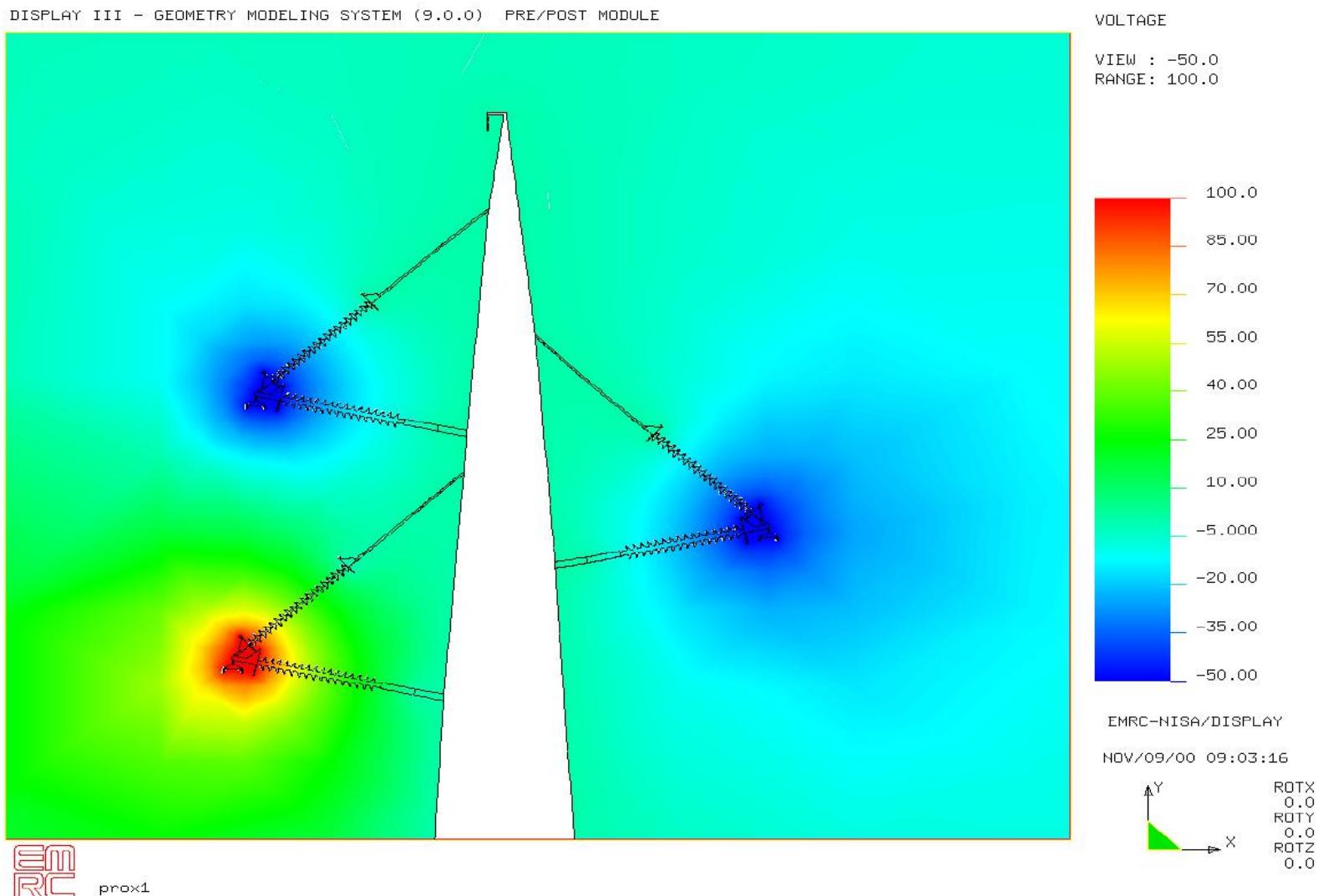
EMRC-NISA/DISPLAY

NOV/09/00 09:04:59

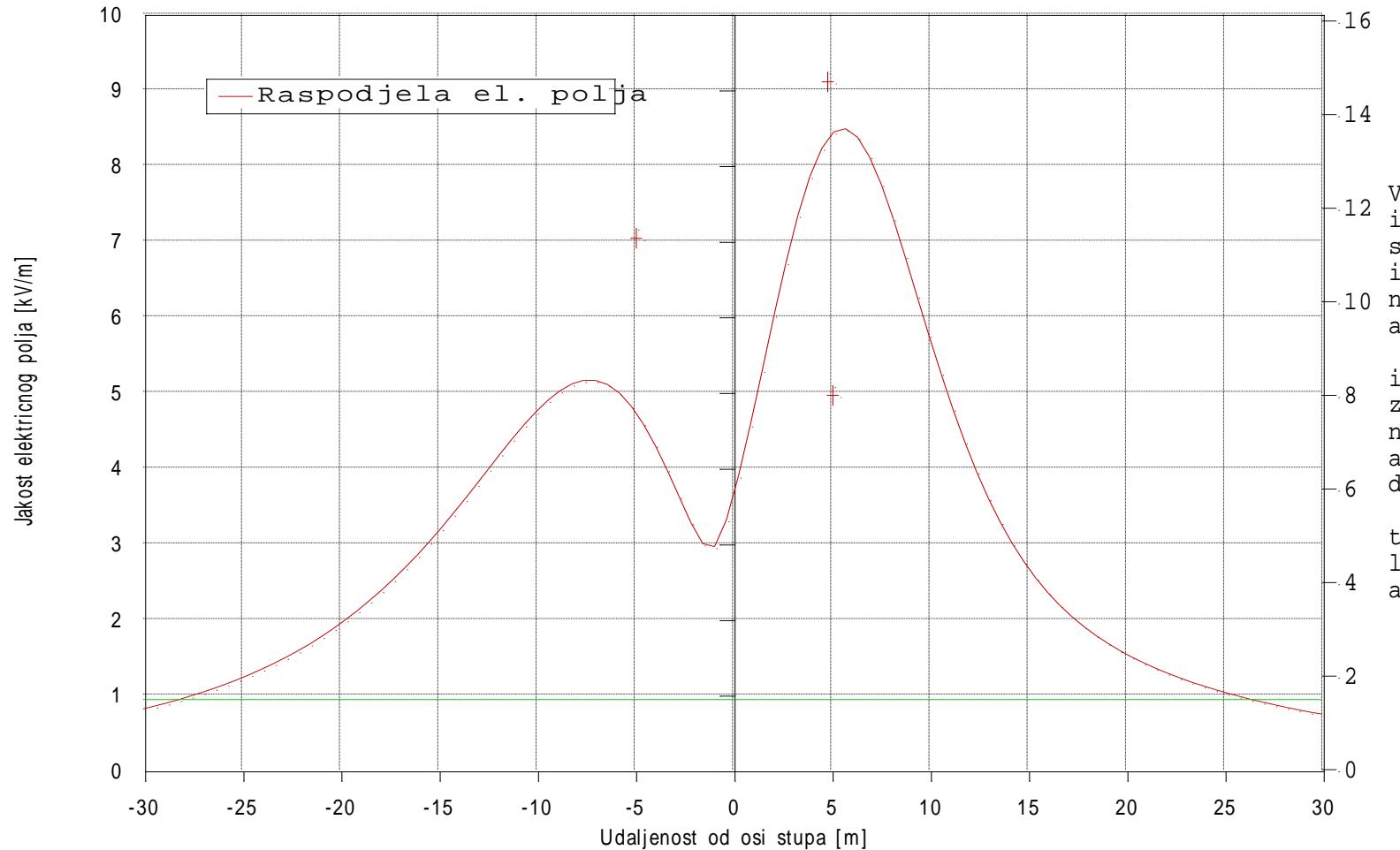


prox1

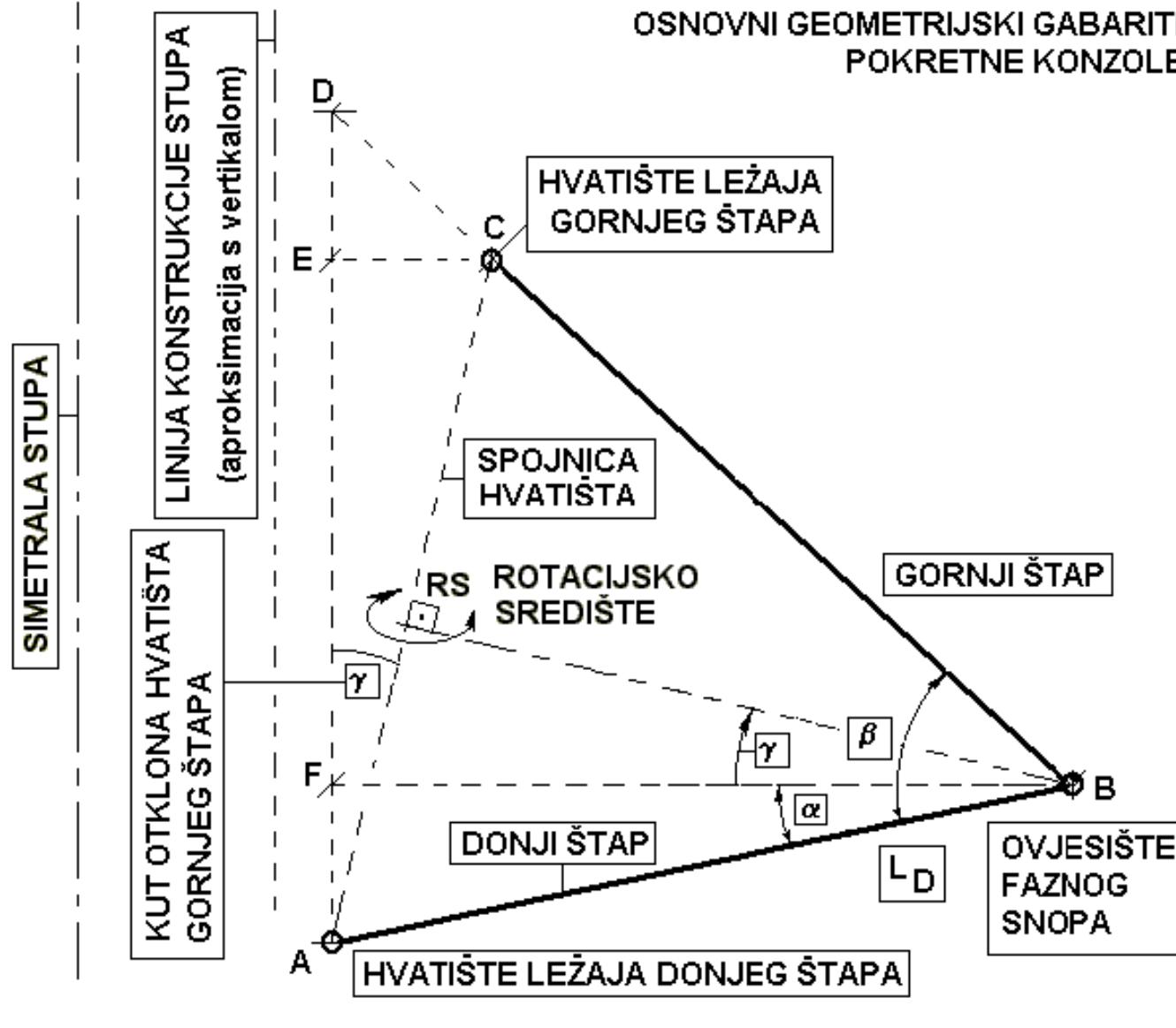
# Raspodjela potencijala



## Jakost magnetskog polja DV-a na 1,5 m iznad zemlje



OSNOVNI GEOMETRIJSKI GABARITI  
POKRETNE KONZOLE



Prof. dr. sc. Ivica Pavić  
Izv. prof. dr. sc. Viktor Milardić

# Nadzemni vodovi i kabeli

---

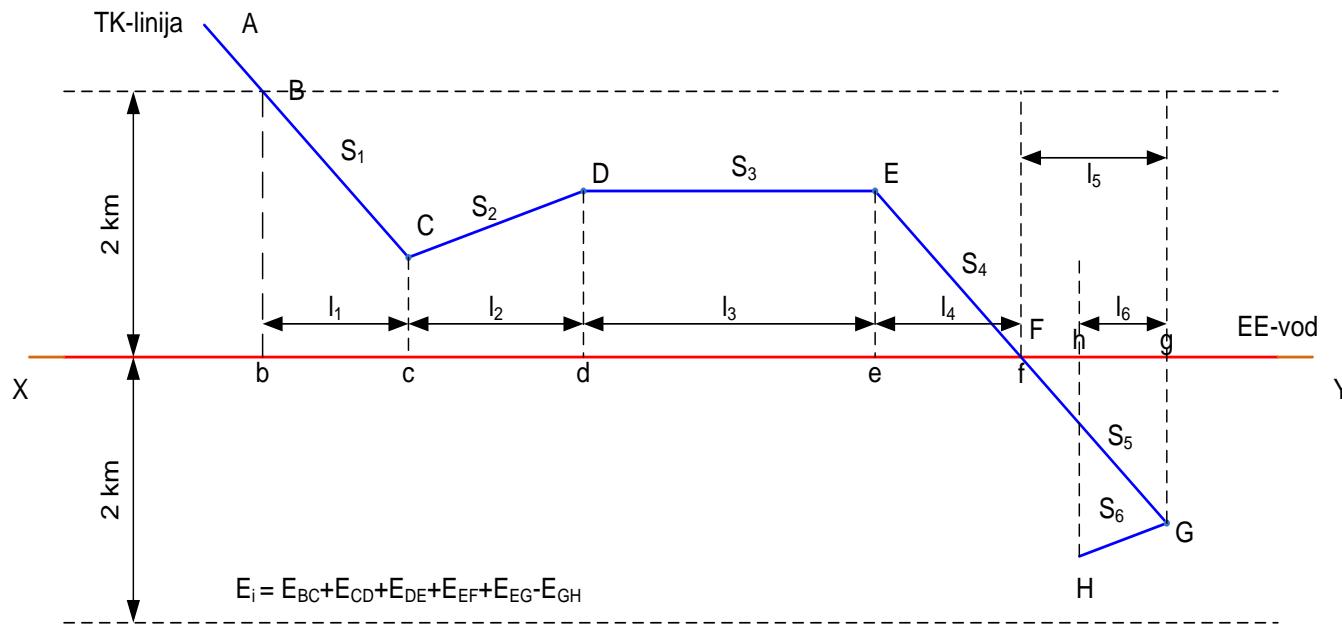
Zavod za visoki napon i energetiku

Ak. god.: 2014/2015

## Utjecaj nadzemnih vodova na okolne objekte

- Kvaliteta napona u EES-u
- Utjecaj na telekomunikacijske mreže
- Radio i TV smetnje
- Utjecaj na ostale energetske mreže i postrojenja (naftovodi, plinovodi, vodovodi i sl.)
- Ostali utjecaji (ekologija, prostorni i urbanistički planovi, ...)

# Utjecaj nadzemnih vodova na telekomunikacijske mreže



$$E_i = \omega \cdot M \cdot I \cdot l \cdot r \cdot 10^{-3}$$

faktor redukcije EE-voda

faktor redukcije TK-voda

faktor redukcije susjednih vodiča

faktor redukcije nul voda

M ovisi o:  
razmaku između EE-voda i TK-voda,  
frekvenciji i specifičnom otporu tla

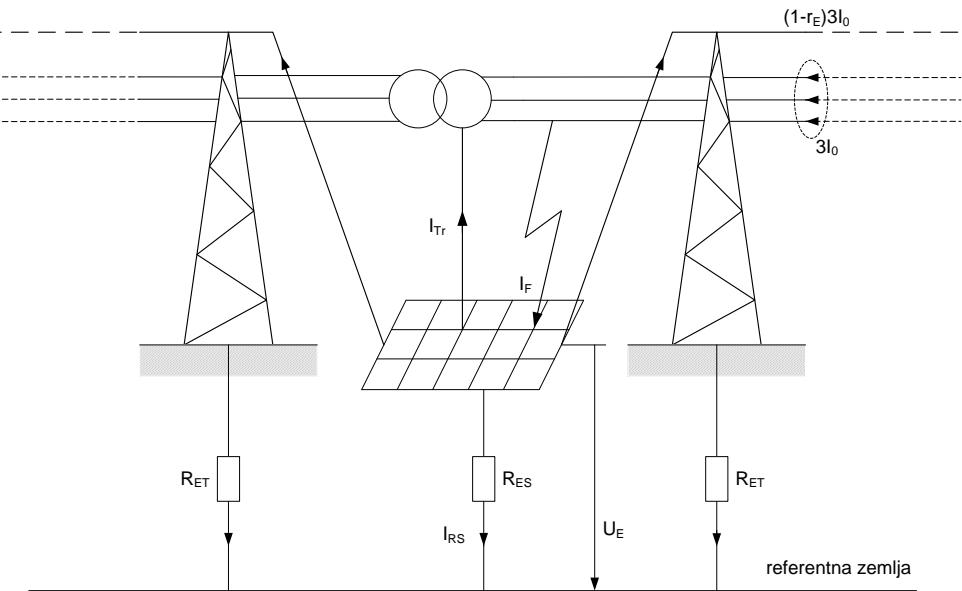
## Redukcijski faktori

| Elektroenergetski vodovi                                                                                | Telekomunikacijske linije                                                   | Efektivne vrijednosti graničnih napona [V] |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1. Elektroenergetski vodovi<br>nazivnog napona iznad 1 kV,<br>osim vodova visoke<br>pogonske sigurnosti | a) nadzemne linije                                                          | 430                                        |
|                                                                                                         | b) podzemne kablovske linije                                                | 430                                        |
|                                                                                                         | c) podzemne kablovske linije koje završavaju sa razdvojnim transformatorima | 1200                                       |
| 2. Elektroenergetski vodovi<br>visoke pogonske sigurnosti                                               | a) nadzemne linije                                                          | 650                                        |
|                                                                                                         | b) podzemne kablovske linije                                                | 430                                        |
|                                                                                                         | c) podzemne kablovske linije koje završavaju sa razdvojnim transformatorima | 1200                                       |

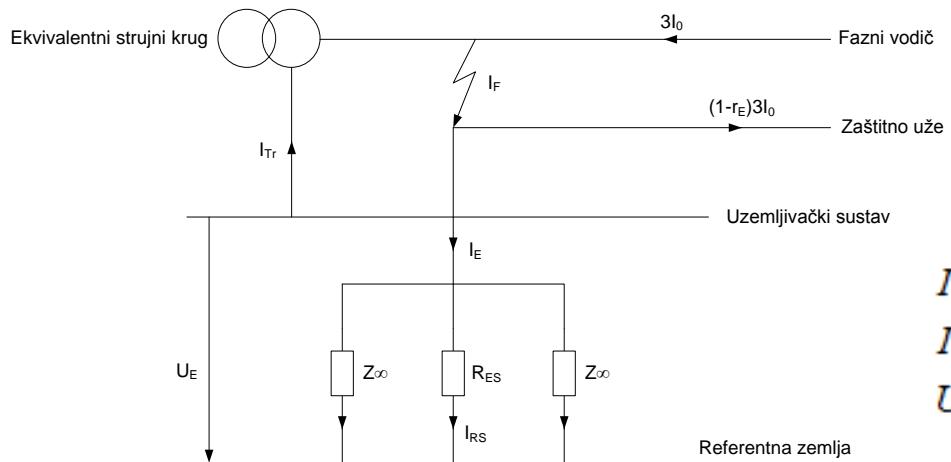
| Otpornost zaštitnog užeta za istosmjernu struju [ $\Omega/km$ ] | Redukcijski faktor za 50 Hz $r_z$ |              |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------|
|                                                                 | za jedno uže                      | za dva užeta |
| do 0.1                                                          | 0.55 do 0.7                       | 0.4 do 0.5   |
| do 0.5                                                          | 0.65 do 0.75                      | 0.65 do 0.75 |
| do 1                                                            | 0.8 do 0.9                        | 0.8 do 0.9   |

| EE-kablovi                         | Redukcijski faktor $r_E$ |                    |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------|
|                                    | olovni omotač            | aluminijski omotač |
| 30 do 70 kV; 240 mm <sup>2</sup>   | 0.2 do 0.4               | 0.1 do 0.2         |
| 110 do 150 kV; 240 mm <sup>2</sup> | 0.15 do 0.3              | 0.075 do 0.15      |
| 275 kV; 600 mm <sup>2</sup>        | 0.1 do 0.25              | 0.04 do 0.1        |
| 400 kV; 1000 mm <sup>2</sup>       | manji od 0.2             | 0.05               |

| Broj kolosjeka             | Redukcijski faktor, $r_S$ |                       |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------|
|                            | neelektrificirane pruge   | elektrificirane pruge |
| jedan ili dva              | oko 0.8                   | 0.5                   |
| tri ili više               | oko 0.7                   | 0.35                  |
| velike željezničke stanice | oko 0.6                   | 0.5                   |



**Raspodjela struje  
jednopolnog kratkog  
spoja na zaštitno uže  
i uzemljivački sustav**



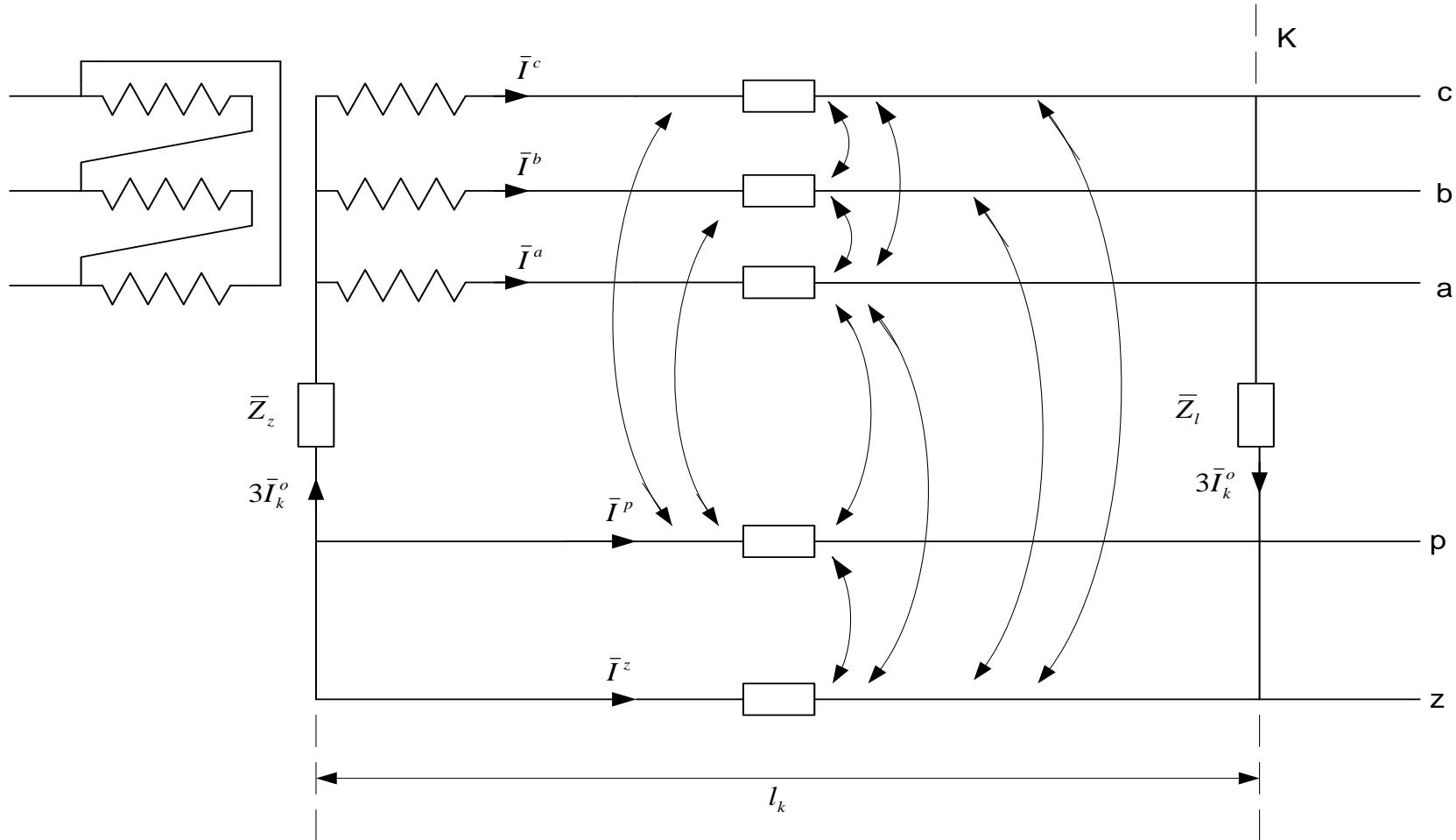
$$I_F = 3I_0 + I_{Tr}$$

$$I_E = r_E \cdot (I_F - I_{Tr})$$

$$U_E = I_E \cdot Z_E$$

$$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + n \cdot \frac{1}{Z_\infty}}$$

## Model nadzemnog voda za proračun kratkog spoja



## Polazne jednadžbe za proračun raspodjele struja kratkog spoja

$$\bar{Z}^{aa}\bar{I}^a + \bar{Z}^{ab}\bar{I}^b + \bar{Z}^{ac}\bar{I}^c + \bar{Z}^{ap}\bar{I}^p = \Delta\bar{V}^a$$

$$\bar{Z}^{ba}\bar{I}^a + \bar{Z}^{bb}\bar{I}^b + \bar{Z}^{bc}\bar{I}^c + \bar{Z}^{bp}\bar{I}^p = \Delta\bar{V}^b$$

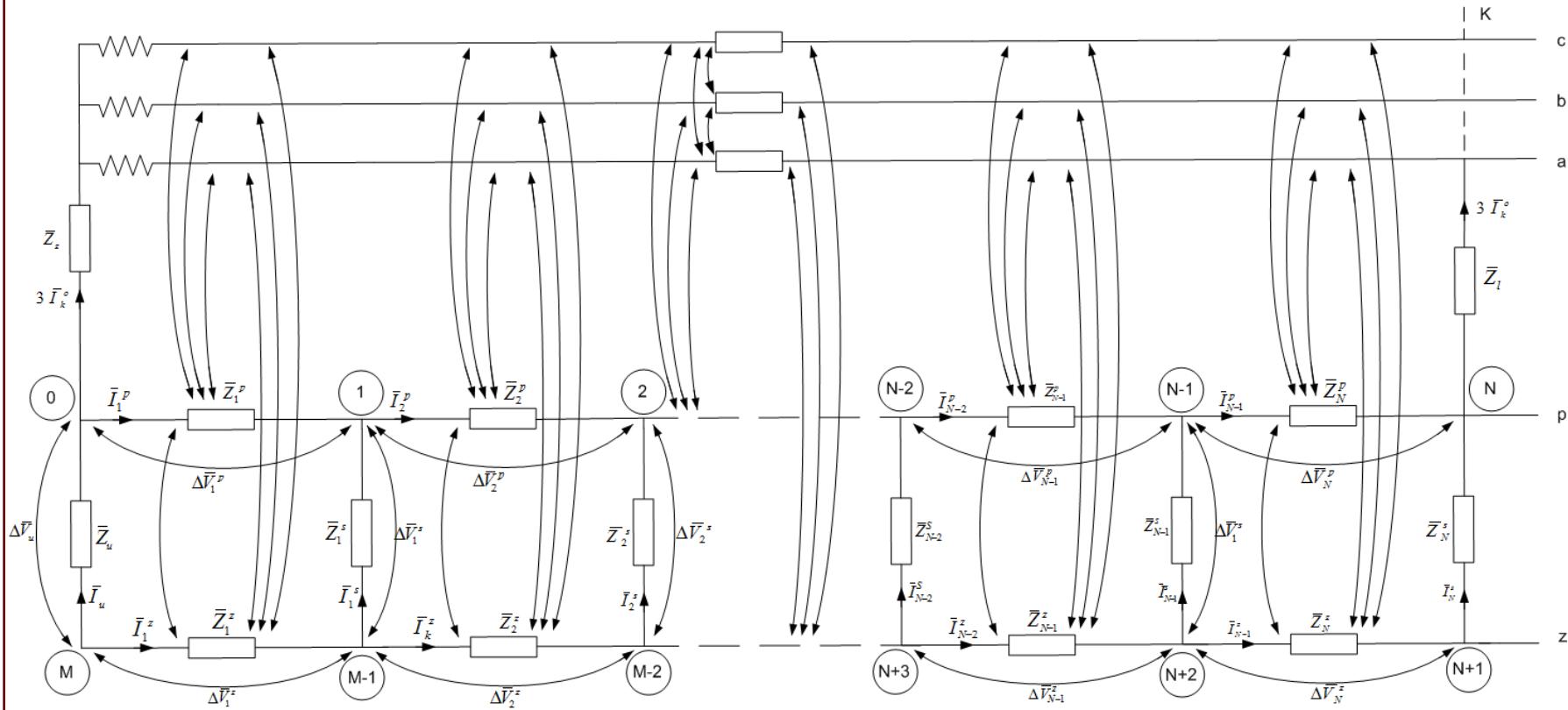
$$\bar{Z}^{ca}\bar{I}^a + \bar{Z}^{cb}\bar{I}^b + \bar{Z}^{cc}\bar{I}^c + \bar{Z}^{cp}\bar{I}^p = \Delta\bar{V}^c$$

$$\bar{Z}^{pa}\bar{I}^a + \bar{Z}^{pb}\bar{I}^b + \bar{Z}^{pc}\bar{I}^c + \bar{Z}^{pp}\bar{I}^p = 0$$

$$\bar{I}^p = -\frac{\bar{Z}^{pa}\bar{I}^a + \bar{Z}^{pb}\bar{I}^b + \bar{Z}^{pc}\bar{I}^c}{\bar{Z}^{pp}}$$

$$\bar{I}^z = -(\bar{I}^a + \bar{I}^b + \bar{I}^c + \bar{I}^p)$$

## Točan model nadzemnog voda za proračun raspodjele struja kratkog spoja



## Proračun raspodjele struja kratkog spoja

Za prvu dionicu:

$$\Delta \bar{V}_1^p + \Delta \bar{V}_u - \Delta \bar{V}_1^z - \Delta \bar{V}_1^s = 0$$

Za n-tu dionicu:

$$\Delta \bar{V}_n^p + \Delta \bar{V}_{n-1}^s - \Delta \bar{V}_n^z - \Delta \bar{V}_n^s = 0$$

$$n = 2, \dots, N-1$$

Za N-tu dionicu:

$$\Delta \bar{V}_N^p + \Delta \bar{V}_{N-1}^s - \Delta \bar{V}_N^z - \Delta \bar{V}_N^s = 0$$

Kod pisanja Carsonovih izraza:

$$\Delta \bar{V}_u = \Delta \bar{V}_1^s = 0$$

$$\Delta \bar{V}_1^p - \Delta \bar{V}_1^z = 0$$

$$\Delta \bar{V}_{n-1}^s = \Delta \bar{V}_n^s = 0$$

Napiše se N jednadžbi za petlje i 2N+1 jednadžbi za čvorišta i rješava se sustav od 2N+1 jednadžbi

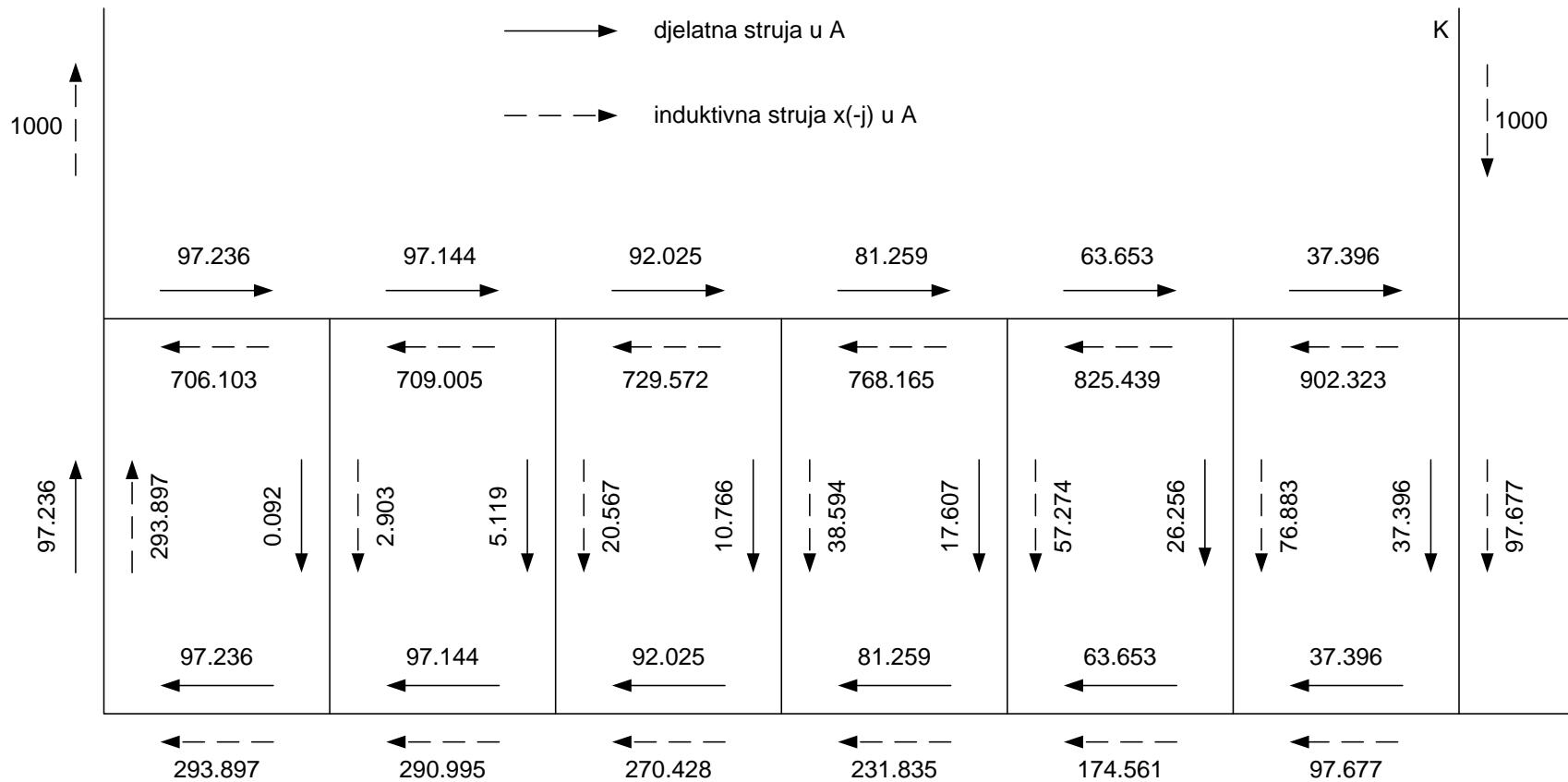
## Utjecaj nadzemnih vodova na okolne objekte

Primjer: kratki spoj na 6. stupu,  $3I_k^0 = 1000 \text{ A}$

duljina dionica:  $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5 = I_6 = 300 \text{ m}$ ,

otpor uzemljenja stupova:  $Z_1^s = Z_2^s = Z_3^s = Z_4^s = Z_5^s = Z_6^s = 10 \Omega$ ,

otpor uzemljenja stanice:  $Z_u = 0.5 \Omega$



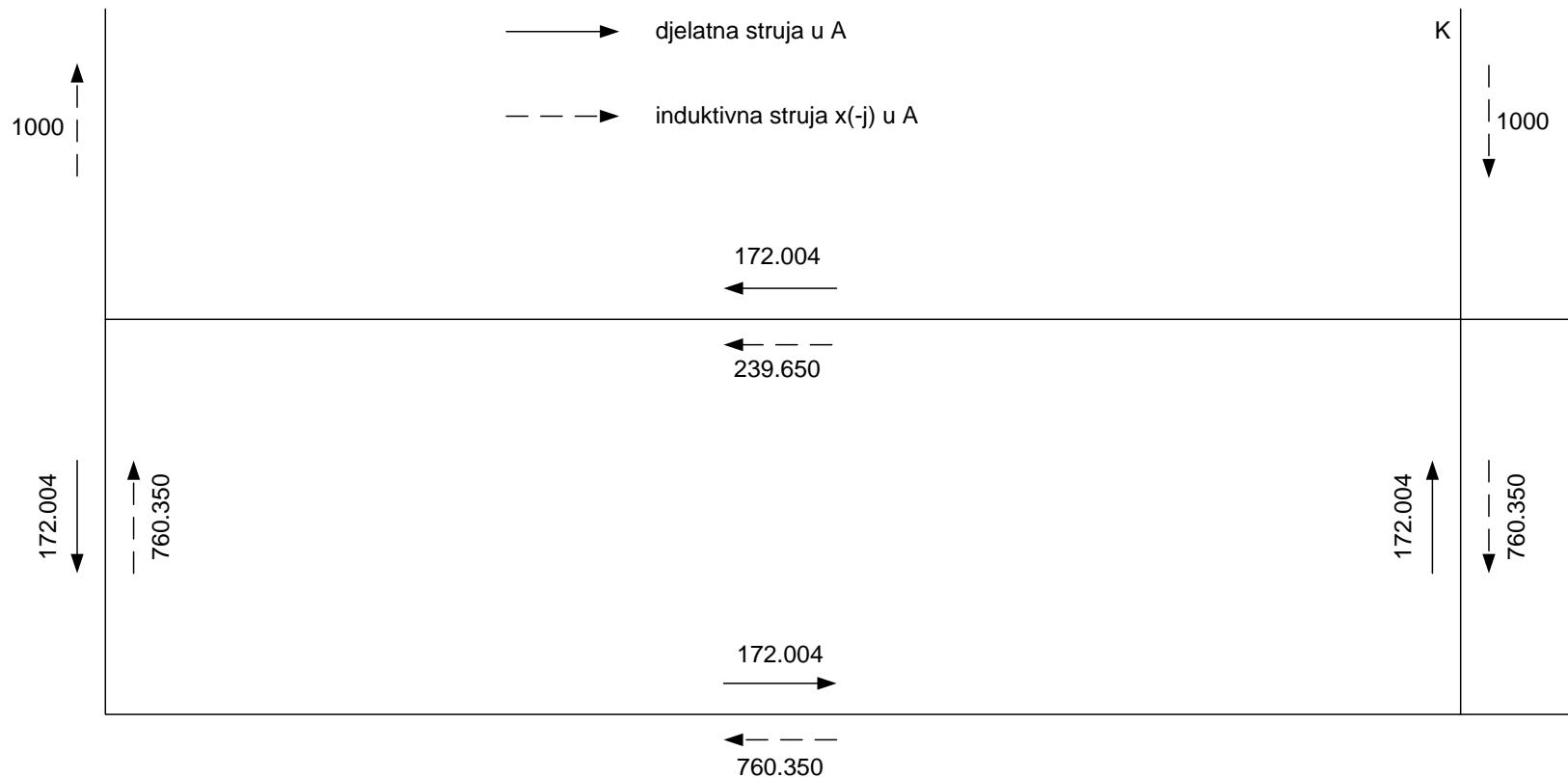
## Utjecaj nadzemnih vodova na okolne objekte

Primjer: kratki spoj na 6. stupu,  $3I_k^0 = 1000 \text{ A}$

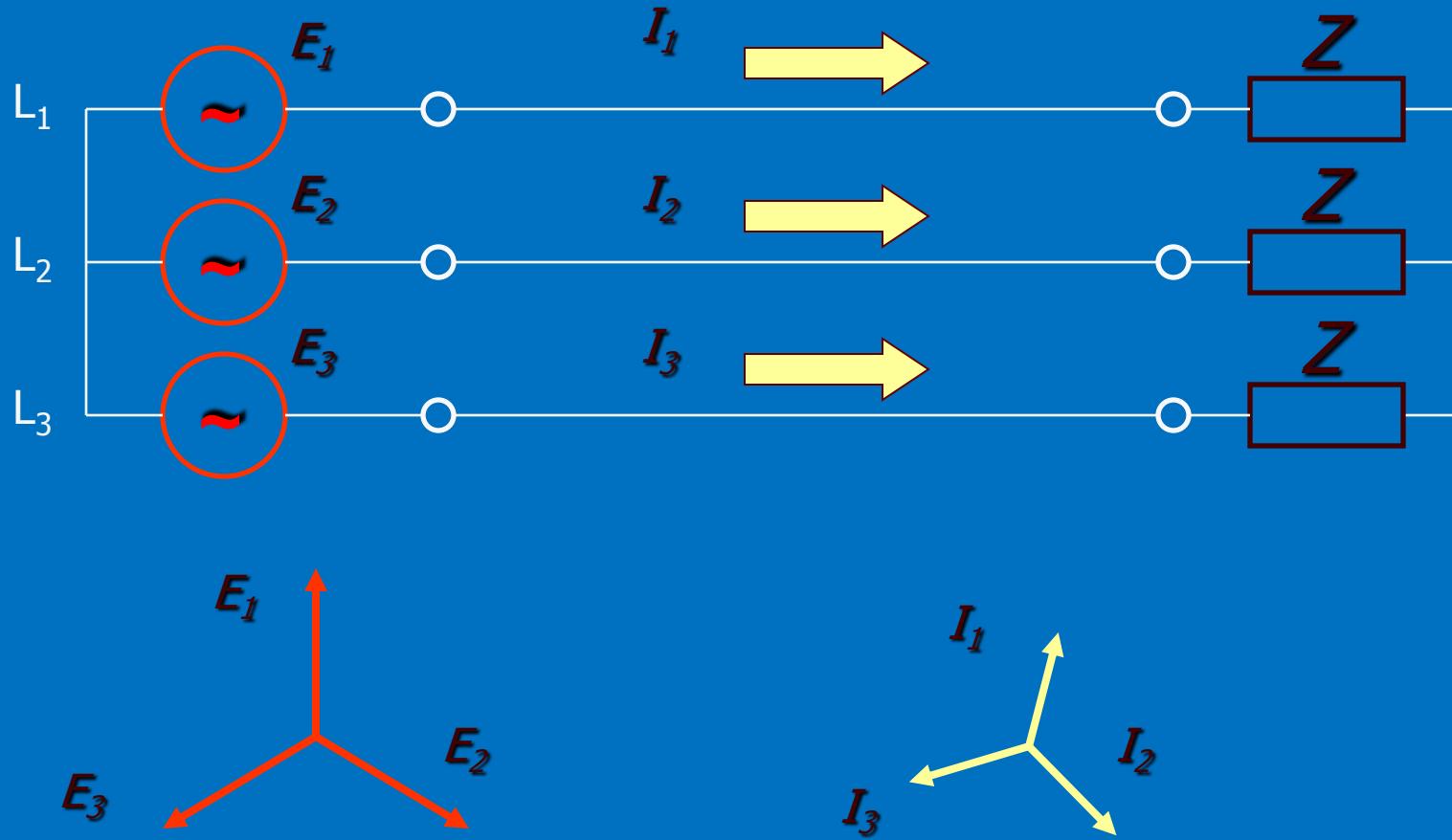
duljina dionica:  $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5 = I_6 = 300 \text{ m}$ ,

otpor uzemljenja stupova:  $Z_1^s = Z_2^s = Z_3^s = Z_4^s = Z_5^s = Z_6^s = 0 \Omega$ ,

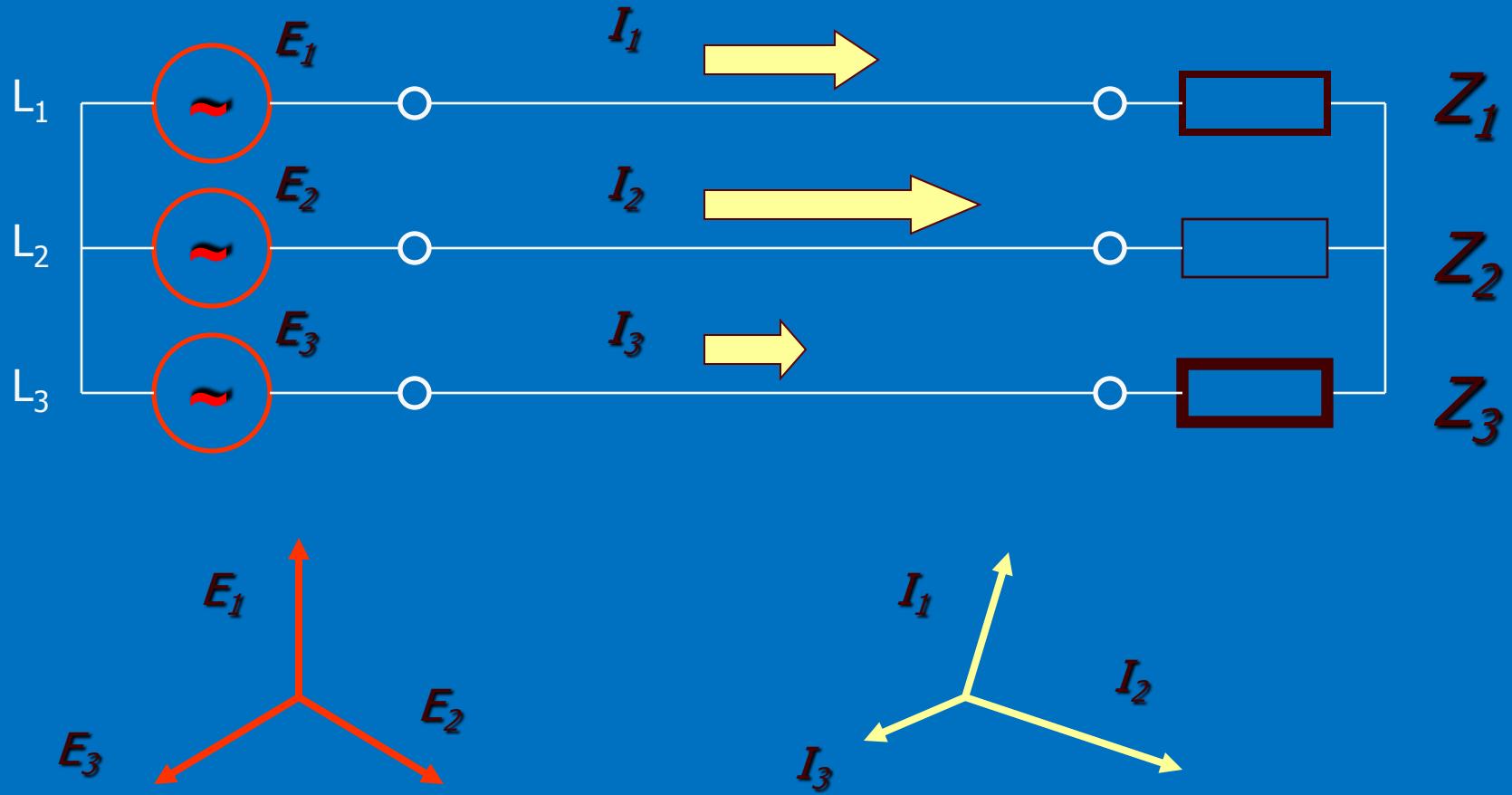
otpor uzemljenja stanice:  $Z_u = 0 \Omega$



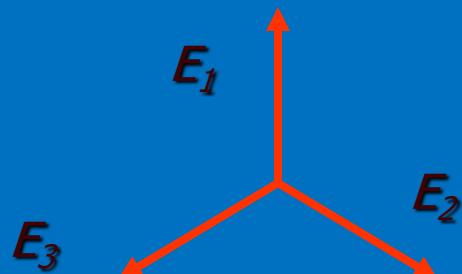
## Simetrično opterećenje EES-a



## Nesimetrično opterećenje EES-a



## Simetrično opterećenje preko nesimetričnog voda



Nesimetrije  $U$  i  $I$ :

- inverzni sistem
- nulti sistem

# Model nesimetričnog trofaznog voda

Što sve treba uzeti u obzir ?

- Vlastite i međusobne induktivitete faznih i dozemnih vodiča
- Vlastite i međusobne kapacitete faznih i dozemnih vodiča
- Utjecaj zemlje (Carsonovove formule)
- Međusobni induktivni i kapacitivni utjecaj jedne trojke na drugu (za dvostrukе vodove)

## Faktori nesimetrije:

- omjer inverzne i direktne komponente napona (EN)
- omjer inverzne komponente i nazivnog napona

## Faktori nesimetrije:

$$\varepsilon_i \% = \frac{|V_i|}{|V_d|} \cdot 100\% = \frac{|V_a + a^2 V_b + a V_c|}{|V_a + a V_b + a^2 V_c|} \cdot 100\%$$
$$\varepsilon_0 \% = \frac{|V_0|}{|V_d|} \cdot 100\% = \frac{|V_a + V_b + V_c|}{|V_a + a V_b + a^2 V_c|} \cdot 100\%$$

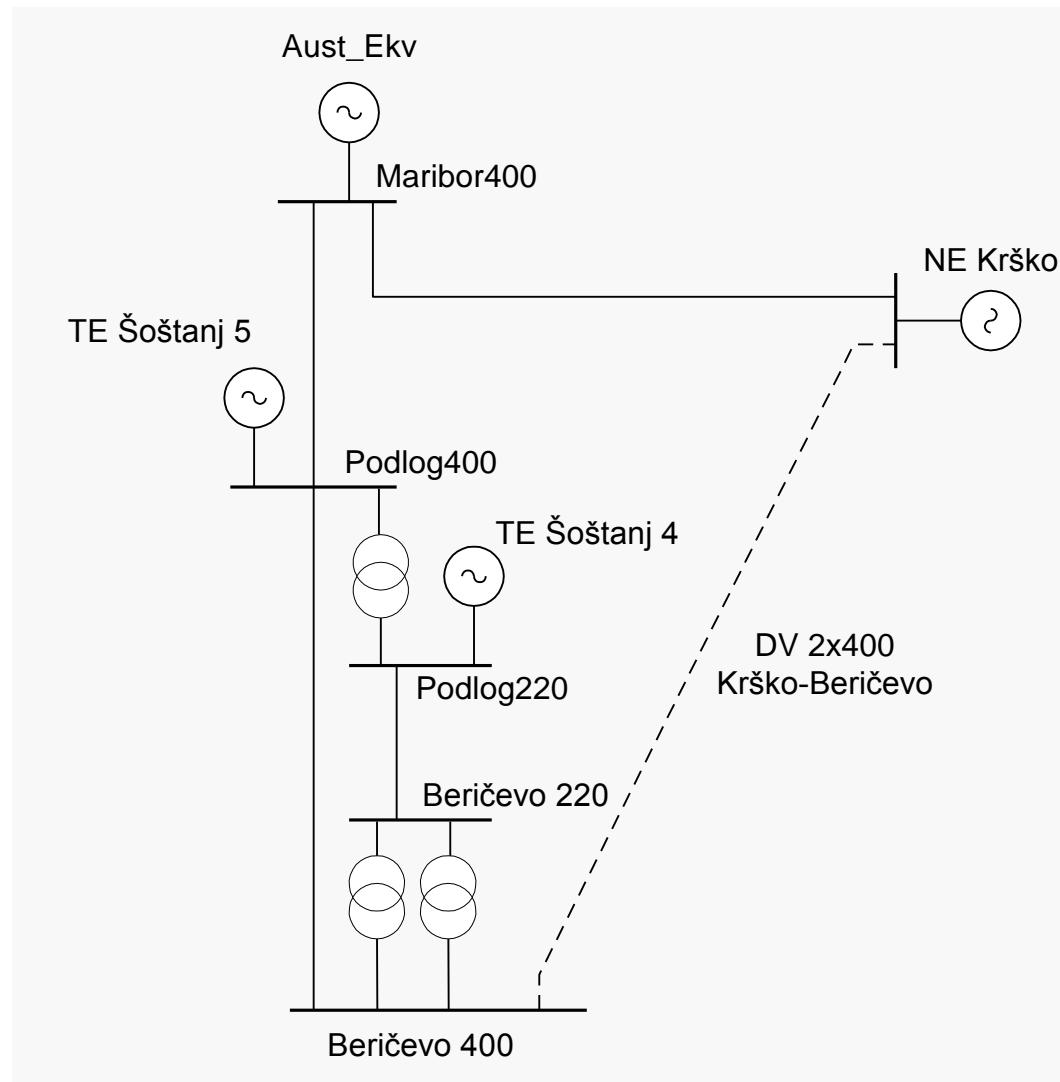
EN 50160 (do 150 kV):  $\varepsilon_i \% \leq 2\%$  (u nekim područjima 3%)

Za VN (prema preporukama CIGRE):  $\varepsilon_i \% \leq 1,5\%$

Strujna nesimetrija (inverzna komponenta)

- definirana od strane proizvođača gen. (8-12%)

## Primjer – Izgradnja DV 2x400 kV NE Krško - Beričevo



## Razmatrane varijante pogona 400 kV voda Krško-Beričovo

**Varijanta A:** Dalekovod je bez preleta faza. Jedan sistem je pod naponom i na kraju isključen. Drugi sistem je isključen i uzemljen s obje strane.

**Varijanta B:** Isto kao varijanta A, s tim što je prvi sistem opterećen prirodnom snagom dalekovoda.

**Varijanta C:** Dalekovod je bez preleta faza. Oba sistema su pod naponom (paralelno) i ukupno su opterećena prirodnom snagom dalekovoda.

**Varijanta D:** Dalekovod je s prepletom faza (djelomični preplet na trećinama trase). Ostalo je isto kao u varijanti C.

**Varijanta E:** Isto kao varijanta C, s tim što je ukupna opterećenost voda 300 MW.

# Izračunate naponske i strujne nesimetrije

Vrijednosti u [%]

Varijanta C

Bez prepleta

Varijanta D

S prepletom

Napon

|          | $V_{inv}$ | $V_{nul}$ | $V_{inv}$ | $V_{nul}$ |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Krško    | 0,10      | 0,04      | 0,07      | 0,00      |
| Beričevo | 0,19      | 0,08      | 0,14      | 0,00      |

Struja

|          | $I_{inv}$ | $I_{nul}$ | $I_{inv}$ | $I_{nul}$ |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Krško    | 1,28      | 0,72      | 0,73      | 0,19      |
| Beričevo | 1,30      | 0,67      | 0,94      | 0,26      |

Strujna nesimetrija na generatoru NE Krško: max.  $I_{inv} = 0.69\%$  (Varijanta B)

Prof. dr. sc. Ivica Pavić  
Izv. prof. dr. sc. Viktor Milardić

# Nadzemni vodovi i kabeli

---

Zavod za visoki napon i energetiku

Ak. god.: 2014/2015

- (1) Kabel se može definirati kao vod sastavljen od jednog ili više vodiča koji su po cijeloj svojoj dužini pokriveni slojem izolacionog materijala, a zatim svi zajedno obuhvaćeni jednim ili više zaštitnih slojeva.
- (2) Izolirani vodovi u kojima su vodiči (Al ili Cu) zasebno izolirani i smješteni u zajednički omotač koji ih štiti od vanjskih mehaničkih i kemijskih utjecaja.

Podjela kabela prema osobinama električne energije koju provode:

- energetski (provodenje električne energije);

Najveće struje koje kabeli najvećih presjeka ( $2500\text{ mm}^2$ ) mogu trajno provoditi iznose preko 2000 A.

- telekomunikacijski (provodenje telefonskih, TV i drugih analognih i digitalnih signala).

Žila je izolirani vodič i predstavlja element kabela.

Prema građi odnosno konstrukciji (broju žila) energetski kabeli se razlikuju prema:

1. Građi vodiča:

- 1.1. Jednožilni (SN i VN kabeli)
- 1.2. Trožilni (SN i podmorski VN kabeli)
- 1.3. Četverožilni i višežilni (NN kabeli)

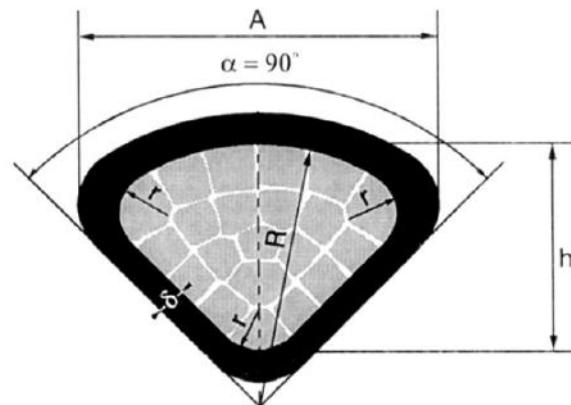
Za izradu vodiča mogu se koristiti različiti materijali, presjek vodiča može biti različitog oblika, broj žica u vodiču također može varirati.

Od materijala dolaze u obzir, u praktičnoj primjeni samo bakar i aluminij te iznimno aldrey (legura AlMgSi) i AlMg-1.

Oblik vodiča može biti okrugli, sektorski ili cijevni (šuplji)

### SEKTORSKI VODIČI

- $h$  = visina sektora  
 $A$  = širina sektora  
 $r$  = polumjer zaobljenja  
 $\delta$  = debljina izolacije  
 $\alpha$  = kut sektora  
 $R$  = polumjer sektora



### 2. Građi glavne izolacije:

2.1 Umreženi polietilen – XLPE;

2.2. Papir impregniran uljem – stari tip

### 3. Građi zaštitnih slojeva:

Zaštita vodiča i njegove izolacije postiže se izradom jednog ili više zaštitnih slojeva oko izolacije.

Kabeli su namijenjeni za razne uvjete smještaja odnosno polaganja pa zbog toga postoji i više konstrukcionih rješenja zaštitnih slojeva.

U zaštitne slojeve ubrajamo:

- metalni plašt
  - unutarnji zaštitni sloj (ili posteljicu)
  - armaturu
  - vanjski plašt.
- 
- Armatura služi kao zaštita od mehaničkih oštećenja kabela a izrađuje se od dvije čelične trake ili čeličnih pociňčanih okruglih žica (NN kabeli).
  - Plašte se brizga preko izolacije kod jednožilnih kabela ili iznad ispune, odnosno armature, u višežilnim kabelima.

## Osnovne značajke Cu i Al vodiča i legure AlMg-1 nul-vodiča

| Značajke / Features                                                                                               | Jedinica / Unit   | Cu                     | Al                     | AlMg-1                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Gustoča / Density                                                                                                 | kg/m <sup>3</sup> | 8,9                    | 2,7                    | 2,7                    |
| Prekidna čvrstoća prije použenja<br><i>Tensile strength before stranding</i>                                      | Mpa               | 200-280                | 127-206                | 252                    |
| Linearni termički koeficijent istezanja<br><i>Linear thermic coefficient of elongation</i>                        | K <sup>-1</sup>   | 1,7 · 10 <sup>-5</sup> | 2,3 · 10 <sup>-5</sup> | 2,3 · 10 <sup>-5</sup> |
| Modul elastičnosti / elasticity module                                                                            | GPa               | 125                    | 69                     | 68,2                   |
| Specifična električna vodljivost kod 20° C<br><i>Specific electrical conductivity at 20° C</i>                    | MS/m              | 58,0                   | 35,38                  | 31,03                  |
| Temperaturni koeficijent električnog otpora<br><i>Temperature coefficient of electrical resistance</i>            | K <sup>-1</sup>   | 0,00393                | 0,00403                | 0,00353                |
| Najmanja prekidna vlačna sila gotovog nul-vodiča<br><i>Minimal tensile strength of finished neutral conductor</i> | kN                | -                      | -                      | 15,2                   |

## Osnovne konstrukcijske značajke vodiča za NN kabele

| Nazivni presjek<br><i>Nominal Cross-Section</i> | Oblik vodiča<br><i>Shape of Conductor</i> | Nazivne dimenzije vodiča<br><i>Nominal Conductor Sizes</i> |             | Otpor vodiča na 20° C (najviše)<br><i>Conductor Resistance at 20°C (max.)</i> |       |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------|
|                                                 |                                           | Promjer / Diameter                                         | A x h       | Cu                                                                            | Al    |
| mm <sup>2</sup>                                 |                                           | mm                                                         | mm          | Ω/km                                                                          | Ω/km  |
| 1,5                                             | Žica / Wire                               | 1,4                                                        | -           | 12,1                                                                          | 18,1  |
| 2,5                                             | Žica / Wire                               | 1,8                                                        | -           | 7,41                                                                          | 12,4  |
| 4                                               | Žica / Wire                               | 2,26                                                       | -           | 4,61                                                                          | 7,41  |
| 6                                               | Žica / Wire                               | 2,74                                                       | -           | 3,08                                                                          | 4,61  |
| 10                                              | Žica / Wire                               | 3,5                                                        | -           | 1,83                                                                          | 3,08  |
| 16                                              | Uže, okruglo / Rope, round shaped         | 4,9                                                        | -           | 1,15                                                                          | 1,91  |
| 25                                              | Uže, okruglo / Rope, round shaped         | 6,1                                                        | -           | 0,727                                                                         | 1,20  |
| 35                                              | Uže, okruglo / Rope, round shaped         | 7,2                                                        | -           | 0,524                                                                         | 0,868 |
| 50                                              | Uže, sektorsko / Rope, sector-shaped      | 8,3*                                                       | 11,8 x 8,2  | 0,387                                                                         | 0,641 |
| 70                                              | Uže, sektorsko / Rope, sector-shaped      | 10,3*                                                      | 13,2 x 10,0 | 0,268                                                                         | 0,433 |
| 95                                              | Uže, sektorsko / Rope, sector-shaped      | 11,6*                                                      | 15,2 x 11,5 | 0,193                                                                         | 0,320 |
| 120                                             | Uže, sektorsko / Rope, sector-shaped      | 13,2*                                                      | 17,6 x 12,5 | 0,153                                                                         | 0,253 |
| 150                                             | Uže, sektorsko / Rope, sector-shaped      | 14,5*                                                      | 19,8 x 14,0 | 0,1240                                                                        | 0,206 |
| 185                                             | Uže, sektorsko / Rope, sector-shaped      | 16,2*                                                      | 22,3 x 15,6 | 0,0991                                                                        | 0,164 |
| 240                                             | Uže, sektorsko / Rope, sector-shaped      | 18,9*                                                      | 25,4 x 17,5 | 0,0754                                                                        | 0,125 |
| 300                                             | Uže, sektorsko / Rope, sector-shaped      | 20,7*                                                      | 28,5 x 19,2 | 0,0601                                                                        | 0,100 |

\*Navedeni podaci odnose se samo na jednožilne kabele

\* The stated data refer to single-core cables only

Izolacija NN kabela se sastoji od sloja PVC ili XLPE mase (umreženi polietilen).

Kvaliteta može biti standardna ili teško goriva izvedba.

## Osnovne značajke PVC i XLPE izolacije

| Značajke / Features                                                                               | Jedinica / Unit | PVC              | XLPE             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Radna temperatura vodiča, (najviše) / Operating temperature of the conductor, (max.)              | °C              | 70               | 90               |
| Temperatura kratkotrajnog preopterećenja <sup>1)</sup> / Short overload temperature <sup>1)</sup> | °C              | 85               | 130              |
| Temperatura u kratkom spoju, (najviše) / Short circuit temperature, (max.)                        | °C              | 160              | 250              |
| Specifični izolacioni otpor pri 20°C, (najmanje) / Specific insulation resistance at 20°C, (min.) | Ω·m             | 10 <sup>11</sup> | 10 <sup>13</sup> |
| Dielektrična konstanta, $\epsilon_r$ / Dielectric constant, $\epsilon_r$                          |                 | 4-5              | 2,3-2,7          |
| Dielektrična čvrstoća, (najmanje) / Dielectric strength, (min.)                                   | kV/mm           | 12               | 18               |

<sup>1)</sup> Rad pri temperaturi kratkotrajnog preopterećenja ne smije trajati više od 100 sati unutar 12 uzastopnih mjeseci ni više od 500 sati ukupnog korištenja kabela.

<sup>1)</sup> Operation at the short overload temperature should not last longer than 100 hours within 12 subsequent months nor more than 500 hours of the total cable usage.

### Označavanje NN kabela (stare oznake)

|          |                                                                                                         |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P        | - oznaka za izolaciju ili plašt od PVC                                                                  |
| X        | - oznaka za izolaciju od XLPE                                                                           |
| O        | - oznaka za plašt od teško gorivog bezhalogenog poliolefina                                             |
| TG       | - oznaka za teško gorivu izvedbu kabela                                                                 |
| HFTG     | - oznaka za teško gorivu bezhalogenu izvedbu kabela                                                     |
| A        | - oznaka za aluminijski vodič                                                                           |
| Y        | - oznaka za kabel sa zaštitnim vodičem (zeleno/žutazila)                                                |
| 00       | - oznaka za kabel bez posebne mehaničke zaštite                                                         |
| 41       | - oznaka za kabel s armaturom od dvije čelične trake                                                    |
| 44       | - oznaka za kabel s armaturom od čeličnih pocijančanih okruglih žica                                    |
| /0       | - oznaka samonosivog kabelskog snopa sa nosivim elementom                                               |
| n x q    | - oznaka konstrukcije kabela gdje je:<br>n - broj žila u kabelu<br>q - presjek vodiča u mm <sup>2</sup> |
| 0,6/1 kV | - oznaka naponskog nivoa kabela                                                                         |

#### Primjeri označavanja:

a) Četverožilni energetski kabel s izolacijom i plaštom od PVC, s bakrenim vodičima presjeka 35 mm<sup>2</sup>, konstrukcije bez posebne mehaničke zaštite, za nazivni napon 0,6/1 kV, označava se:  
**PP 00 4 x 35 mm<sup>2</sup> 0,6/1 kV**

b) Signalni kabel s 19 žila s izolacijom i plaštom od PVC, s bakrenim vodičima presjeka 1,5 mm<sup>2</sup> i zaštitnim vodičem istog presjeka, s armaturom od dvije čelične trake, za nazivni napon 0,6/1 kV, označava se:  
**PP 41-Y 19 x 1,5 mm<sup>2</sup> 0,6/1 kV**

c) Četverožilni energetski kabel s izolacijom od XLPE, s aluminijskim faznim vodičima presjeka 120 mm<sup>2</sup> i zaštitnim vodičem istog presjeka, s armaturom od čeličnih pocijančanih okruglih žica i plaštom od PVC, za nazivni napon 0,6/1 kV, označava se:

**XP 44-YA 4 x 120 mm<sup>2</sup> 0,6/1kV**

d) Četverožilni energetski teško gorivi kabel s izolacijom i plaštom od teško gorivog PVC, s bakrenim vodičima presjeka 10 mm<sup>2</sup> i zaštitnim vodičem istog presjeka, konstrukcije bez posebne mehaničke zaštite, za nazivni napon 0,6/1kV, označava se:  
**PP 00-YTG 4 x 10 mm<sup>2</sup> 0,6/1 kV**

e) Trožilni energetski bezhalogeni teško gorivi kabel s teško gorivom XLPE izolacijom, s aluminijskim vodičima presjeka 25 mm<sup>2</sup>, teško gorivim poliolefinskim bezhalogenim plaštom, konstrukcije bez posebne mehaničke zaštite, za nazivni napon 0,6/1 kV, označava se:  
**XO 00-AHFTG 3 x 25 mm<sup>2</sup> 0,6/1 kV**

f) Samonosivi kabelski snop bez posebnog nosivog vodiča, s dva aluminijска vodiča presjeka 16 mm<sup>2</sup>, s izolacijom od XLPE, za nazivni napon 0,6/1kV, označava se:  
**X 00-A 2 x 16 mm<sup>2</sup> 0,6/1 kV**

g) Samonosivi kabelski snop s nosivim vodičem od aluminijskih legura, presjeka 71,5 mm<sup>2</sup> s 3 fazna aluminijiska vodiča 70 mm<sup>2</sup> i dva aluminijiska vodiča presjeka 25 mm<sup>2</sup> za potrebe javne rasvjete, s izolacijom od XLPE, za nazivni napon 0,6/1 kV, označava se:  
**X 00/0-A 3 x 70 + 71,5+2 x 25 mm<sup>2</sup> 0,6/1 kV**

# Energetski i signalni NN kabeli s izolacijom i plaštem od PVC-a

### NYY, NAYY

Energetski signalni kabeli s izolacijom i plaštem od PVC-a

HRN HD 603 S1 tip 3G2

IEC 60 502-1 (Cu/PVC/PVC, Al/PVC/PVC)

DIN VDE 0276 T 603

BS 6346 (Cu/PVC/PVC, Al/PVC/PVC)

stara oznaka: PP 00, PP 00-A

### Struktura kabela

**1-vodič:** Cu uže/žica (NYY), Al uže (NAYY)

**2-izolacija:** PVC

**3-ispuna:** brizgana elastomerna ili plastomerna mješavina ili omotane termoplastične vrpce

**4-plaš:** PVC masa

### Područje uporabe

U zemlju, kanale, na konzole, u suhim i vlažnim prostorijama i sl. gdje se ne očekuju mehanička oštećenja, a kabeli nisu izloženi mehaničkom vlačnom istezanju.

U gradskim mrežama, industrijskim pogonima, elektranama i drugim električnim postrojenjima te za povezivanje signalnih uređaja u industriji i prometu.

Za potrebe MTK sistema upravljanja u distribucijskim mrežama, kod četverožilnih kabela većih presjeka ugrađuje se u sredinu između žila kabela dodatni izolirani vodič  $2,5 \text{ mm}^2$

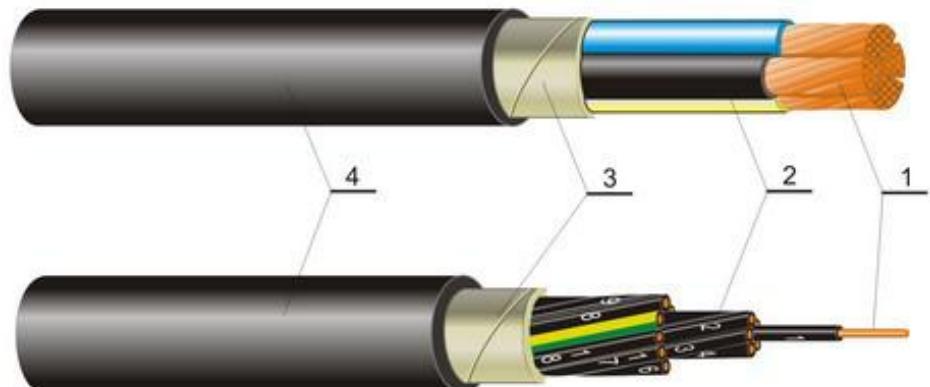
### Tehnički podaci

**nazivni napon:** 1 KV

**ispitni napon:** 4 KV

**standardi:** HRN HD 603 S1 tip 3G2, DIN VDE 0276 T 603, BS 6346

**Energetski kabeli / Power cable**



**Signalni kabeli / Control cable**



## Kabeli općenito – NN kabeli

# Energetski i signalni NN kabeli s izolacijom i plaštom od PVC-a, armiran s dvije čelične trake

PP 41, PP 41-A

Energetski signalni kabeli s PVC izolacijom i plaštom, amirani sa 2 čelične trake

HRN HD 603 S1 tip 4C (VAV, LVAV)

IEC 60 502-1 (Cu/PVC/STA/PVC, Al/PVC/STA/PVC)

### Struktura kabela

1-vodič: Cu uže/žica (PP 44), Al uže (PP 44-A)

2-izolacija: PVC masa

3-ispuna: brizgana elastomerma ili plastomerma mješavina ili omotane termoplastične vrpce

4-armatura: 2 čelične trake

5-plašt: PVC masa

### Područje uporabe

U zemlju, kanale, na konzole, u suhim i vlažnim prostorijama i sl. gdje se ne očekuju mehanička oštećenja, a kabeli nisu izloženi mehaničkom vlačnom istezanju.

U gradskim mrežama, industrijskim pogonima, elektranama i drugim električnim postrojenjima te za povezivanje signalnih uređaja u industriji i prometu.

Za potrebe MTK sistema upravljanja u distribucijskim mrežama, kod četverožilnih kabela većih presjeka ugrađuje se u sredinu između žila kabela dodatni izolirani vodič  $2,5 \text{ mm}^2$

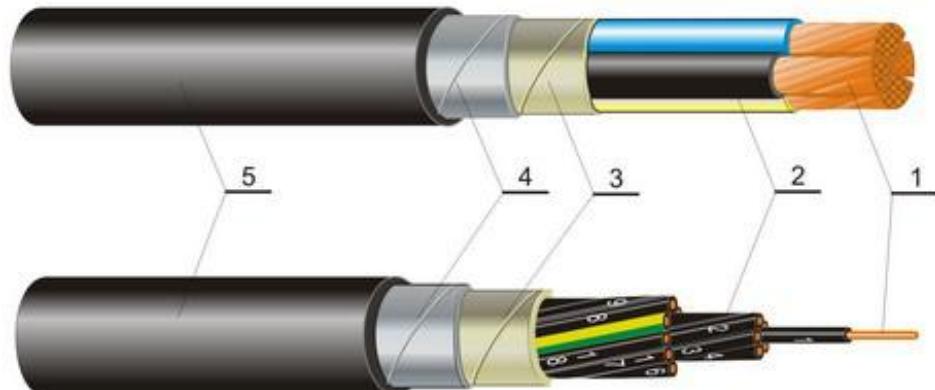
### Tehnički podaci

nazivni napon: 1 kV

ispitni napon: 3,5 kV

standardi: HRN HD 603 S1 tip 4C, IEC 60 502-1

Energetski kabeli / Power cable



Signalni kabeli / Control cable



## Kabeli općenito – NN kabeli

# Energetski i signalni NN kabeli s izolacijom i plaštom od PVC-a, armiran s okruglim čeličnim žicama

PP 44, PP 44-A

Energetski signalni kabeli sa PVC izolacijom i PVC plaštom, armirani sa okruglim čeličnim žicama

IEC 60 502-1 (Cu/PVC/SWA/PVC, Al/PVC/SWA/PVC)

BS 6346

### Struktura kabela

**1-vodič:** Cu uže/žica (PP 44), Al uže (PP 44-A)

**2-izolacija:** PVC masa

**3-ispuna:** brizgana elastomerna ili plastomerna mješavina ili omotane termoplastične vrpce

**4-armatura:** čelične pomicane okrugle žice i , u suprotnom smjeru, obavijene pomicanom čeličnom trakom

**5-plašt:** PVC masa

### Područje uporabe

U zemlju, kanale, na konzole, u suhim i vlažnim prostorijama i sl. gdje se ne očekuju mehanička oštećenja, a kabeli nisu izloženi mehaničkom vlačnom istezanju.

U gradskim mrežama, industrijskim pogonima, elektranama i drugim električnim postrojenjima te za povezivanje signalnih uređaja u industriji i prometu.

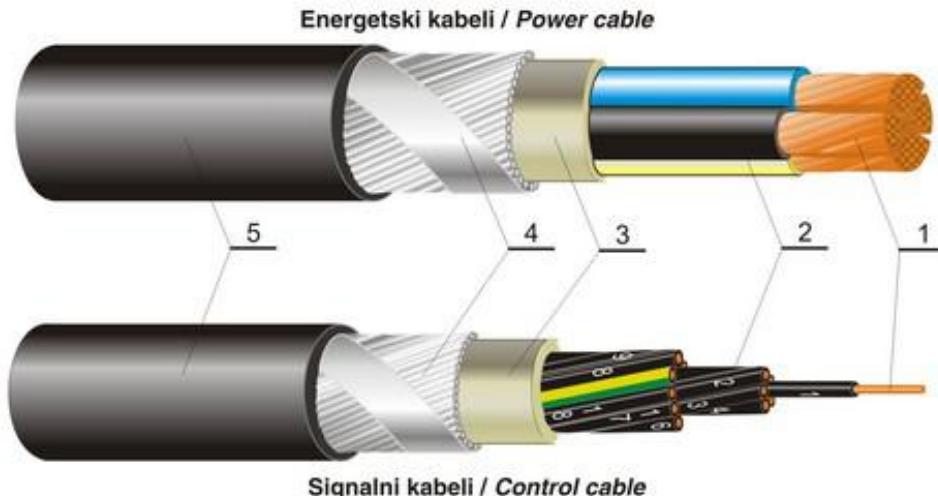
Za potrebe MTK sistema upravljanja u distribucijskim mrežama, kod četverožilnih kabela većih presjeka ugrađuje se u sredinu između žila kabela dodatni izolirani vodič  $2,5 \text{ mm}^2$

### Tehnički podaci

**nazivni napon:** 1 kV

**ispitni napon:** 3,5 kV

**standardi:** IEC 60 502-1, BS 6346



## Kabeli općenito – NN kabeli

# Energetski i signalni NN kabeli sa izolacijom i PVC plaštem, s koncentričnim nultim odnosno zaštitnim vodičem

### NYCY

Energetski signalni kabeli sa izolacijom i PVC plaštem, s koncentričnim nultim odnosno zaštitnim vodičem

HRN HD 603 S1 tip 3G1

IEC 60 502-1 (Cu/PVC/CC/PVC)

DIN VDE 0276 T 603

\*stara oznaka: PP 40

### Struktura kabela

1-vodič: Cu uže/žica

2-izolacija: PVC masa

3-ispluna: brizgana elastomerna ili plastomerna mješavina ili omotane termoplastične vrpce

4-koncentrični vodič: Cu žice

5-plašt: PVC masa

### Područje uporabe

Polaganje u zemlju gradskih i mjesnih mreža, na konzole, u suhim i vlažnim prostorijama i sl.

Koncentrični vodič predstavlja sigurnosnu mjeru od napona dodira u slučaju grubog oštećenja metalnim oštrim predmetom.

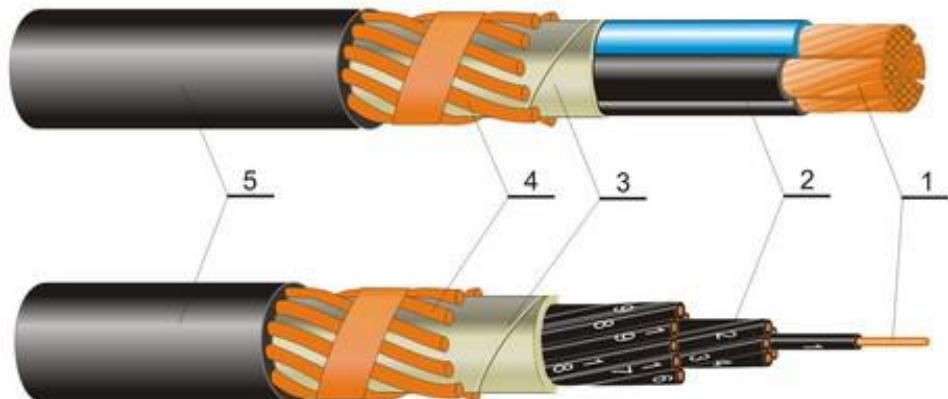
### Tehnički podaci

nazivni napon: 1 kV

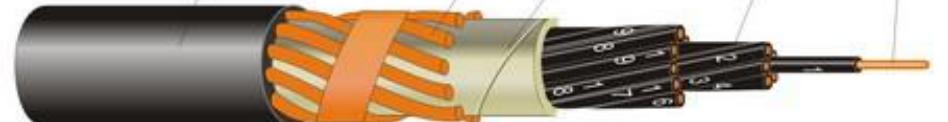
ispitni napon: 4 kV

standardi: HRN HD 603 S1 tip 3G1, DIN VDE 0276 T 603, IEC 60 502-1

Energetski kabeli / Power cable



Signalni kabeli / Control cable



# Samonosivi kabelski snop sa XLPE izolacijom

FR-N1XD4-AR, FR-N1XD9-AR, FR-NFA2X

Samonosivi kabelski snop sa XLPE izolacijom

HRN HD 626 S1 tip: 4E, 6E, 4F

\*komercijalna oznaka: ELKALEX-1

\*stara oznaka: X 00-A, X 00/0-A

### Struktura kabela

**1-fazni vodič:** kompaktirano Al okruglo uže presjeka 16, 25, 35, 50 i 70mm<sup>2</sup>

**2-nulti vodič:** kompaktirano okruglo uže, izrađeno od Al legure AlMgSi nazivnog presjeka 70mm<sup>2</sup> ili 54,6mm<sup>2</sup> ili Al legure AlMg 1 (1% Mg) nazivnog presjeka 71,5 mm<sup>2</sup>

**3-izolacija:** XLPE masa crne boje

### Područje uporabe

Za distributivne niskonaponske nadzemne mreže u gradskim, prigradskim i seoskim područjima.

Za napajanje udaljenih objekata i naselja privremenog i trajnog karaktera.

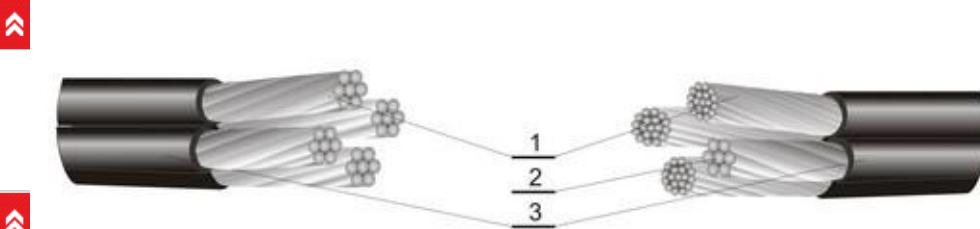
Za nadzemne kućne priključke.

### Tehnički podaci

**nazivni napon:** 1 kV

**ispitni napon:** 4 kV

**standardi:** HRN HD 603 S1 tip: 4E, 6E, 4F



# Energetski NN kabeli s XLPE izolacijom i PVC plaštem

### N2XY, NA2XY

Energetski kabeli s XLPE izolacijom i PVC plaštem

HRN HD 603 S1 tip 5G

IEC 60 502-1 (Cu/XLPE/PVC, Al/XLPE/PVC)

DIN VDE 0276 T 603

\*stara oznaka: XP 00, XP 00-A

### Struktura kabela

**1-vodič:** Cu uže (N2XY), Al uže (NA2XY)

**2-izolacija:** XLPE masa

**3-ispuna:** brizgana elastomerna ili plastomerna mješavina ili omotane termoplastične vrpce

**4-plašt:** PVC masa

### Područje uporabe

U zemlju, kanale, na konzole, u suhim i vlažnim prostorijama i sl. gdje se ne očekuju mehanička oštećenja, a kabeli nisu izloženi mehaničkom vlačnom istezanju.

U gradskim mrežama, industrijskim pogonima, elektranama i drugim električnim postrojenjima te za povezivanje signalnih uređaja u industriji i prometu.

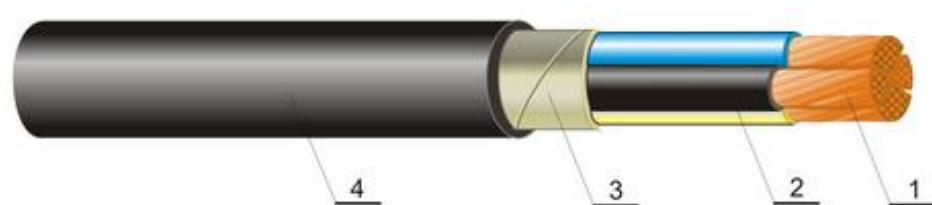
Za potrebe MTK sistema upravljanja u distribucijskim mrežama, kod četverožilnih kabela većih presjeka ugrađuje se u sredinu između žila kabela dodatni izolirani vodič  $2,5 \text{ mm}^2$

### Tehnički podaci

**nazivni napon:** 1 kV

**ispitni napon:** 4 kV

**standardi:** HRN HD 603 S1 tip 5G, DIN VDE 0276 T 603, IEC 60 502-1



# Energetski NN kabeli s XLPE izolacijom i PE plaštem (polietilen)

N2X2Y, NA2X2Y

Energetski kabeli s XLPE izolacijom i PE plaštem

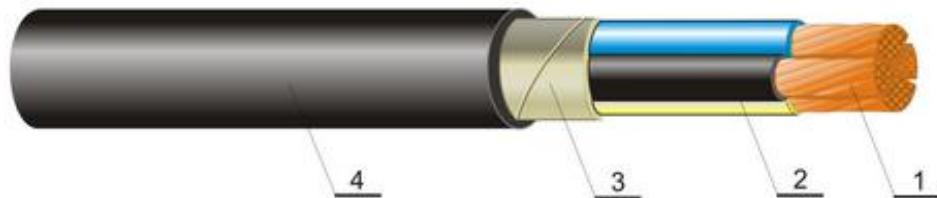
HRN HD 603 S1 tip 5G

IEC 60 502-1 (Cu/XLPE/PE, Al/XLPE/PE)

DIN VDE 0276 T 603

\*stara oznaka: XE 00, XE 00-A

| Struktura kabela                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1-vodič:</b> Cu uže (N2X2Y), Al uže (NA2X2Y)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>2-isolacija:</b> XLPE masa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>3-ispuna:</b> brizgana elastomerna ili plastomerna mješavina ili omotane termoplastične vrpce                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>4-plašt:</b> PE masa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Područje uporabe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| U zemlju, kanale, na konzole, u suhim i vlažnim prostorijama i sl. gdje se ne očekuju mehanička oštećenja, a kabeli nisu izloženi mehaničkom vlačnom istezanju.<br>U gradskim mrežama, industrijskim pogonima, elektranama i drugim električnim postrojenjima za povišena strujna i termička opterećenja. (radna temp vodiča do 90°C<br>Za potrebe MTK sistema upravljanja u distribucijskim mrežama, kod četverožilnih kabela većih presjeka ugrađuje se u sredinu između žila kabela dodatni izolirani vodič 2,5 mm <sup>2</sup> |
| Tehnički podaci                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>nazivni napon:</b> 1 kV<br><b>ispitni napon:</b> 4 kV<br><b>standardi:</b> HRN HD 603 S1 tip 5G, DIN VDE 0276 T 603, IEC 60 502-1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |



## Kabeli općenito – NN kabeli

# Energetski teško gorivi NN kabeli s teško gorivom XLPE izolacijom i teško gorivim poliolefinskim plaštem, bezhalogeni

N2XH

Energetski teško gorivi kabeli s teško gorivom XLPE izolacijom i teško gorivim poliolefinskim plaštem, bezhalogeni

IEC 60 502-1 (Cu/XLPE/PO-HFRR)

DIN VDE 0266

\*stara oznaka: XO 00-HFTG

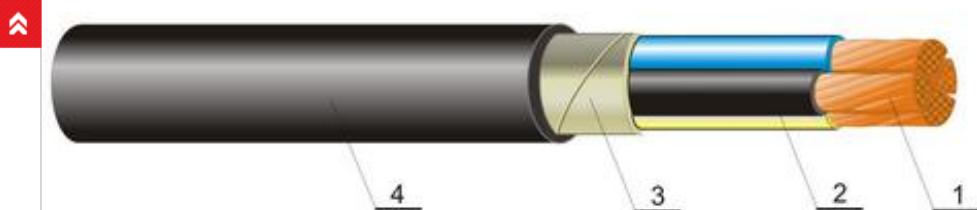
### Struktura kabela

**1-vodič:** Cu uže

**2-izolacija:** bezhalogena teško goriva XLPE masa

**3-ispuna:** brizgana teško goriva elastomerna ili plastomerna mješavina ili omotane termoplastične vrpce

**4-plašt:** teško gorivi bezhalogeni poliolefin



### Područje uporabe

U zemlju, kanale, na konzole, u suhim i vlažnim prostorijama i sl. gdje se ne očekuju mehanička oštećenja, a kabeli nisu izloženi mehaničkom vlačnom istezanju.

Za razvod energije i signala u industrijskim pogonima, objektima javne namjene i drugim objektima gdje se zahtijevaju veće sigurnosne mjere od požara, za povišena strujna i termička opterećenja (radna temperatura vodiča do 90°C).

### Tehnički podaci

**nazivni napon:** 1 kV

**ispitni napon:** 4 kV

**standardi:** DIN VDE 0266, IEC 60 502-1

**ispitivanje zapaljivosti kabela prema:** IEC 332-3, kat. A

**ispitivanje plinova pri gorenju kabela prema :** IEC 360754-2

## Kabeli općenito – NN kabeli

# Energetski NN kabeli sa XLPE izolacijom i PVC plaštom, armirani sa okruglim čeličnim žicama

XP 44, XP 44-A

Energetski kabeli sa XLPE izolacijom i PVC plaštom, armirani sa okruglim čeličnim žicama

IEC 60 502-1 (Cu/XLPE/SWA/PVC, Al/XLPE/SWA/PVC)

BS 5467

### Struktura kabela



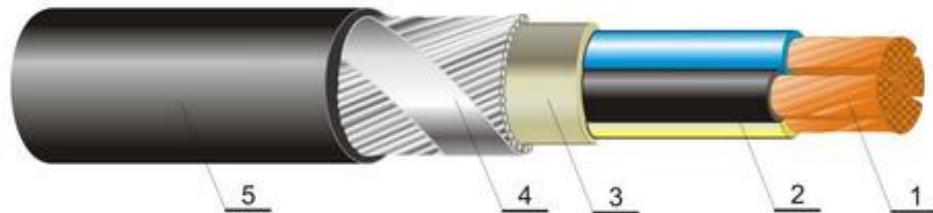
**1-vodič:** Cu uže (XP 44), Al uže (XP 44-A)

**2-isolacija:** XLPE masa

**3-ispuna:** brizgana elastomerna ili plastomerna mješavina ili omotane termoplastične vrpce

**4-armatura:** čelične pociňcane okrugle žice i , u suprotnom smjeru, obavijene pociňcanom čeličnom trakom

**5-plašt:** PVC masa



### Područje uporabe



U zemlju, kanale, na konzole, u suhim i vlažnim prostorijama i sl. gdje se očekuju mehanička oštećenja, a kabeli nisu izloženi jačem mehaničkom vlačnom istezanju kod kosog ili vertikalnog polaganja.

U gradskim mrežama, industrijskim pogonima, elektranama i drugim električnim postrojenjima za povиšena strujna i termička opterećenja (radna temperatura vodiča do 90°C).

Za potrebe MTK sistema upravljanja u distribucijskim mrežama, kod četverožilnih kabela većih presjeka ugrađuje se u sredinu između žila kabela dodatni izolirani vodič 2,5 mm<sup>2</sup>

### Tehnički podaci



**nazivni napon:** 1 kV

**ispitni napon:** 3,5 kV

**standardi:** IEC 60 502-1, BS 5467

# Energetski i signalni NN kabeli s XLPE izolacijom i PVC plaštom, armirani sa 2 čelične trake

XP 41, XP 41-A

Energetski signalni kabeli s XLPE izolacijom i PVC plaštom, armirani sa 2 čelične trake

IEC 60 502-1 (Cu/XLPE/STA/PVC, Al/XLPE/STA/PVC)

### Struktura kabela

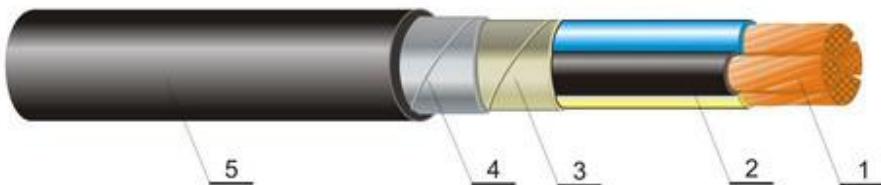
1-vodič: Cu uže (XP 41), Al uže (XP 41-A)

2-izolacija: XLPE masa

3-ispuna: brizgana elastomerna ili plastomerma mješavina ili omotane termoplastične vrpce

4-armatura: dvije (2) čelične trake

5-plašt: PVC masa



### Područje uporabe

U zemlju, kanale, na konzole, u suhim i vlažnim prostorijama i sl. gdje se očekuju mehanička oštećenja, a kabeli nisu izloženi jačem mehaničkom vlačnom.

U gradskim mrežama, industrijskim pogonima, elektranama i drugim električnim postrojenjima za povišena strujna i termička opterećenja (radna temperatura vodiča do 90°C).

Za potrebe MTK sistema upravljanja u distribucijskim mrežama, kod četverožilnih kabela većih presjeka ugrađuje se u sredinu između žila kabela dodatni izolirani vodič 2,5 mm<sup>2</sup>

### Tehnički podaci

**nazivni napon:** 1 kV

**ispitni napon:** 3,5 kV

**standardi:** IEC 60 502-1

## Označavanje SN kabela (stare oznake)

### 3.1. Vrste materijala

- A - aluminij
- Ay - aldrey (legura AlMgSi)
- X - umreženi polietilen
- P - polivinilklorid-PVC
- E - polietilen
- O - poliolefin
- H - poluvodljivi slojevi oko izolacije
- h - poluvodljivi plastični materijali

### 3.2. Svojstva konstrukcije značajne za primjenu

- /O - samonosiv
- HF - bez halogenih materijala
- TG - otporni na širenje plamena
- $U_0/U/U_m$  - oznaka naponskog nivoa kabela

### 3.3. Svojstva konstrukcije značajna za izvedbu

- 23 - armatura od čeličnih pocijančanih okruglih žica
- 36 - armatura od specijalnih aluminijskih okruglih žica
- 48 - električna zaštita/ekran oko svake žile pojedinačno
- 49 - električna zaštita/ekran oko svake žile pojedinačno i uždužna vodonepropustnost kabela
- 84 - električna zaštita oko svake žile pojedinačno, armatura od pocijančanih čeličnih okruglih žila i zavojnica od pocijančane čelične vrpce
- 94 - vodonepropustna električna zaštita oko svake žile pojedinačno, armatura od čeličnih pocijančanih okruglih žica i zavojnica od pocijančane čelične vrpce.

### 3.4. Primjeri označivanja

#### a) XHP 48 3x95/16 mm<sup>2</sup> 6/10/12 kV

Kabel s izolacijom od umreženog polietilena s poluvodljivim slojem ispod i iznad izolacije, trožilni, s faznim vodičima od bakra presjeka 95mm<sup>2</sup>, s električnom zaštitom od bakra presjeka 16mm<sup>2</sup> raspodjeljene oko svake žile posebno, s PVC plastičnom mrežom U<sub>m</sub>=12kV, za nazivni napon U<sub>0</sub>/U=6/10 kV i najviši napon mreže U<sub>m</sub>=12kV.

#### b) XHE 49-A 1x185/25 mm<sup>2</sup> 12/20/24 kV

Kabel s izolacijom od umreženog polietilena, s poluvodljivim slojem ispod i iznad izolacije, jednožilni, s faznim vodičem od aluminija presjeka 185 mm<sup>2</sup>, s električnom zaštitom od bakra presjeka 25 mm<sup>2</sup>, vodonepropustnom izvedbom električne zaštite, s PE plastičnom mrežom U<sub>0</sub>/U=12/20 kV i najviši napon mreže U<sub>m</sub>=24kV.

#### c) XHO 49-HFTG 1x150/25 mm<sup>2</sup> 18/30/38kV

Kabel s izolacijom od umreženog polietilena, s poluvodljivim slojem ispod i iznad izolacije, jednožilni, s faznim vodičem od bakra presjeka 150 mm<sup>2</sup>, s električnom zaštitom od bakra presjeka 25 mm<sup>2</sup>, s vodonepropusnom izvedbom električne zaštite, s poliolefinskim plastičnim mrežom U<sub>0</sub>/U=18/30 kV i najviši napon mreže U<sub>m</sub>=38kV, bez halogenih materijala, teško goriv.

#### d) XHP 48/36-A 1x400/35 mm<sup>2</sup> 20/35/42 kV

Kabel s izolacijom od umreženog polietilena, s poluvodljivim slojem ispod i iznad izolacije trožilni, s faznim vodičima od aluminija presjeka 400 mm<sup>2</sup>, s električnom zaštitom od bakra presjeka 35 mm<sup>2</sup>, s unutarnjim plastičnim mrežom od PVC, s armaturom od aluminijskih legura, s PVC plastičnom mrežom U<sub>0</sub>/U=20/35 kV i najviši napon mreže U<sub>m</sub>=42kV.

#### e) XHE 49/23 3x120/16 mm<sup>2</sup> 6/10/12kV

Kabel s izolacijom od umreženog polietilena, s poluvodljivim slojem ispod i iznad izolacije, trožilni, s faznim vodičima od bakra presjeka 120 mm<sup>2</sup>, s električnom zaštitom od bakra presjeka 16 mm<sup>2</sup> raspodjeljene oko svake žile posebno, s vodonepropustnom izvedbom električne zaštite, s unutarnjim plastičnim mrežom od PE, s armaturom od pocijančanih čeličnih okruglih žica i vanjskim PE plastičnim mrežom U<sub>0</sub>/U=6/10kV i najviši napon mreže U<sub>m</sub>=12kV.

## Kabeli općenito – SN kabeli

### Energetski podmorski SN kabeli sa XLPE izolacijom:

- jednožilni sa armaturom alu legure AlMgSi, vodonepropusne izvedbe
- trožilni sa armaturom od čeličnih žica, vodonepropusne izvedbe

XHE 46/29, XHE 49/24

Energetski podmorski kabeli sa XLPE izolacijom:

- jednožilni sa armaturom alu legure AlMgSi, vodonepropusne izvedbe
- trožilni sa armaturom od čeličnih žica, vodonepropusne izvedbe

HRN HD 620 S1

IEC 60 502-2

HEP – bilten broj 100

#### Struktura kabela

1-vodič: Cu uže, zbijeno, vodonepropusno

2-ekran vodiča: poluvodljivi sloj na vodiču

3-izolacija: XLPE

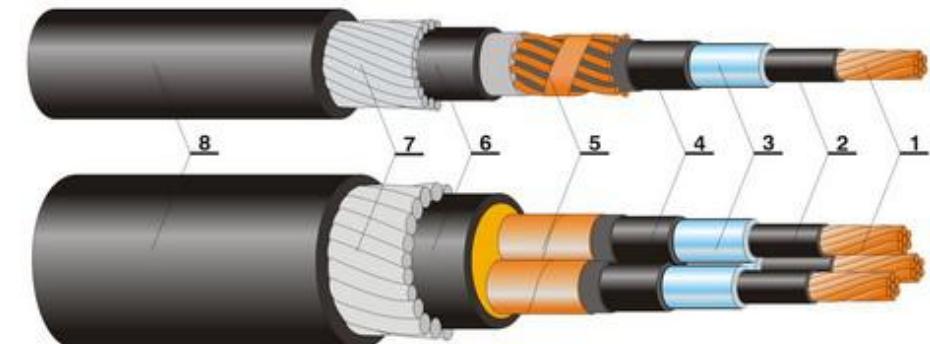
4-ekran izolacije: poluvodljivi sloj na izolaciji

5-električna zaštita/ekran: od Cu žica (jednožilni) ili Cu trake (trožilni), uzdužno vodonepropusni (XHE 49/...) ili uzdužno i poprečno vodonepropusni (XHE 46/...)

6-unutarnji plašt: PE-HD

7-armatura: spec. Al okrugla (XHE 46/29) ili čelična okrugla žica (XHE

8-vanjski plašt: PE-HD



#### Područje uporabe

Kao podmorski distributivni ili spojni kabel.

# Energetski SN kabeli sa XLPE izolacijom, dodatnom električnom zaštitom i vanjskim poluvodljivim plaštem

XHEh 91, XHEh 91-A

Energetski kabeli sa XLPE izolacijom, dodatnom električnom zaštitom i vanjskim poluvodljivim plaštem

HRN HD 620 S1

IEC 60 502-2

### Struktura kabela

- 1-vodič:** Al ili Cu uže, zbijeno
- 2-ekran vodiča:** poluvodljivi sloj na vodiču
- 3-izolacija:** XLPE
- 4-ekran izolacije:** poluvodljivi sloj na izolaciji
- 5-električna zaštita/ekran:** od Cu žica, vodonepropusna izvedba
- 6-plašt:** poluvodljivi PE
- 7-dodatna el. zaštita:** od pokositrenih Cu žica (1 ili 2 sloja)

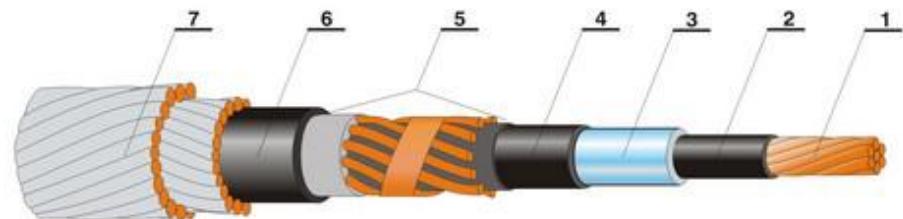
### Područje uporabe

U zemlju, kanale, na konzole, gdje se ne očekuju mehanička oštećenja. Konstruiran za umjerena mehanička vlačna naprezanja.  
Kao podzemni distributivni ili spojni kabel u područjima s vrlo lošom vodljivošću zemljišta, za zaštitu elektroenergetskih postrojenja od prenapona izazvanih udarima groma ili drugim kvarovima na visokonaponskoj prijenosnoj mreži.

### Tehnički podaci

- nazivni napon:** 6/10, 12/20, 20,8/36 kV
- najviši napon:** 12, 24, 42 kV
- ispitni napon:** 15, 30, 52 kV
- standardi:** HRN HD 620 S1, IEC 60 502-2

\*dodata električna zaštita dimenzionira se ovisno o zahtjevima naručitelja, svi ostali podaci kao za kable XHE 49 i XHE 49-A



# Izolirani srednjenačonski nadzemni energetski kabeli

XLPE-Ay Tip-23, XLPE-Ay Tip-27

Izolirani srednjenačonski nadzemni energetski kabeli

SFS 5791

| Struktura kabela                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1-vodič:</b> uže iz aluminijске legure, AlMgSi<br><b>2-ekran vodiča:</b> XLPE, otporan na atmosferilije                                                                                                                                                                                                                    |
| Područje uporabe                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Za izvedbu nadzemnih izoliranih distribucijskih mreža nazivnih napona 6/10 kV i 12/20 kV najvišeg napona mreže 24 kV. Osobito prihvatljivo rješenje izvedbe zračne mreže kroz šumovita područja radi umanjene širine prosjeka šume i nižih troškova izgradnje i održavanja nadzemne mreže u odnosu na mrežu sa golim vodičima |
| Tehnički podaci                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>nazivni napon:</b> 12/20 kV                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>najviši napon:</b> 24 kV                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>ispitni napon:</b> 24 kV                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>standardi:</b> SFS 5791                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |



## Kabeli općenito – SN kabeli

# Energetski SN kabeli sa XLPE izolacijom i PE plaštem sa uzdužnom i poprečnom vodonepropusnom izvedbom el. zaštite

N2XS(F)2Y, NA2XS(F)2Y

Energetski kabeli sa XLPE izolacijom i PE plaštem sa uzdužnom i poprečnom vodonepropusnom izvedbom el. zaštite

HRN HD 620 S2 part 10C

IEC 60 502-2

DIN VDE 0276T 620

### Struktura kabela

1-vodič: Al ili Cu uže, zbijeno

2-ekran vodiča: poluvodljivi sloj na vodiču

3-izolacija: XLPE

4-ekran izolacije: poluvodljivi sloj na izolaciji

5-separator: bubriva vrpca, poluvodljiva

6-električna zaštita/ekran: od Cu žica i trake

7-separator: bubriva vrpca

8-laminirani plašt: Al traka sa kopolimerom

9-vanjski plašt: PE-HD

### Područje uporabe

U zemlju, vlažne terene, kanale, na konzole, gdje se ne očekuju mehanička oštećenja ni mehanička vlačna naprezanja. Kao distributivni kabel u gradskim i ruralnim mrežama.

### Tehnički podaci

stara oznaka:XH(A)E 49, XH(A)E 49-A

tipska oznaka po HRN HD:N2XS(F)2Y, NA2XS(F)2Y, EXeCeWB, EAExCeWB

tipska oznaka po DIN VDE:N2XS(F)2Y, NA2XS(F)2Y

nazivni napon: 12/20, 18/30, 20.8/36 KV

najviši napon: 24, 36, 42 KV

ispitni napon: 30, 45, 52 KV

standardi: IEC 60 502-2; HRN HD 620 S2 Part 10C; DIN VDE 0276T 620



## Kabeli općenito – SN kabeli

# Energetski SN kabeli sa XLPE izolacijom i PE plaštem sa uzdužnom vodonepropusnom izvedbom el. zaštite

N2XS(F)2Y, NA2XS(F)2Y

Energetski kabeli sa XLPE izolacijom i PE plaštem sa uzdužnom vodonepropusnom izvedbom el. zaštite

HRN HD 620 S2 part 10C

IEC 60 502-2

DIN VDE 0276T 620

### Struktura kabela

- 1-vodič: Al ili Cu uže, zbijeno
- 2-ekran vodiča: poluvodljivi sloj na vodiču
- 3-izolacija: XLPE
- 4-ekran izolacije: poluvodljivi sloj na izolaciji
- 5-separator: bubriva vrpca, poluvodljiva
- 6-električna zaštita/ekran: od Cu žica i trake
- 7-separator: bubriva vrpca
- 8-vanjski plašt: PE-HD

### Područje uporabe

U zemlju, vlažne terene, kanale, na konzole, gdje se ne očekuju mehanička oštećenja ni mehanička vlačna naprezanja. Kao distributivni kabel u gradskim i ruralnim mrežama.

### Tehnički podaci

stara oznaka:XHE 49, XHE 49-A

tipska oznaka po HRN HD:N2XS(F)2Y, NA2XS(F)2Y, EXeCWB, EAExCWB

tipska oznaka po DIN VDE:N2XS(F)2Y, NA2XS(F)2Y

nazivni napon: 6/10, 12/20, 18/30, 20.8/36 kV

najviši napon: 12, 24, 36, 42 kV

ispitni napon: 21, 42, 63, 83 kV

standardi: IEC 60 502-2; HRN HD 620 S2 Part 10C; DIN VDE 0276T 620



# Energetski SN kabeli sa XLPE izolacijom i PVC plaštem, armirani s okruglim čeličnim žicama

N2XSEYRY, NA2XSEYRY

Energetski kabeli sa XLPE izolacijom i PVC plaštem, armirani s okruglim čeličnim žicama

HRN HD 620 S1 Part 6 A-2

IEC 60 502-2

### Struktura kabela

1-vodič: Al ili Cu uže, zbijeno

2-ekran vodiča: poluvodljivi sloj na vodiču

3-izolacija: XLPE

4-ekran izolacije: poluvodljivi sloj na izolaciji

5-električna zaštita/ekran: od Cu trake

6-unutarnji plašt: PVC

7-armatura: čelične pocićane okrugle žice i zavojnica od pocićane čelične trake

8-vanjski plašt: PVC

### Područje uporabe

U zemlju, kanale, na konzole, gdje se ne očekuju mehanička oštećenja ni mehanička vlačna naprezanja. Kao distributivni kabel u gradskim i ruralnim mrežama. Kao spojni kabel za industrijske pogone.

### Tehnički podaci

stara oznaka:XHP 84, XHP 84-A

tipska oznaka po HRN HD:E-2XHCEYRY, E-A2XHCEYRY

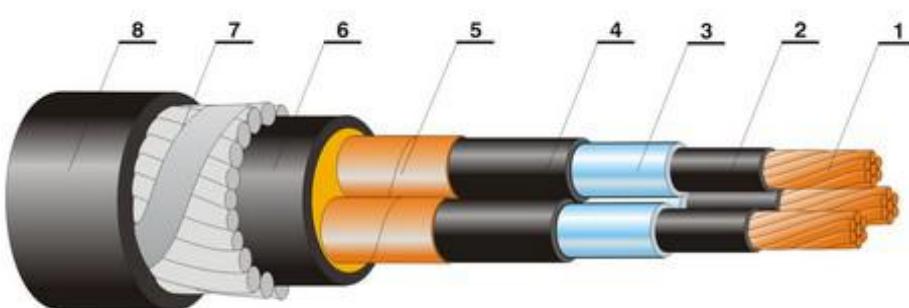
tipska oznaka po DIN VDE:N2XSEYRY, NA2XSEYRY

nazivni napon: 6/10/12 kV

najviši napon: 12kV

ispitni napon: 21 kV

standardi: IEC 60 502-2; HRN HD 620 S1 Part 6A-2



# Energetski SN kabeli sa XLPE izolacijom i PVC plaštem

N2XSY, NA2XSY

Energetski kabeli sa XLPE izolacijom i PVC plaštem

HRN HD 620 S2 Part 10C

IEC 60 502-2

DIN VDE 0276T 620

### Struktura kabela

**1-vodič:** Al ili Cu uže, zbijeno

**2-ekran vodiča:** poluvodljivi sloj na vodiču

**3-izolacija:** XLPE

**4-ekran izolacije:** poluvodljivi sloj na izolaciji

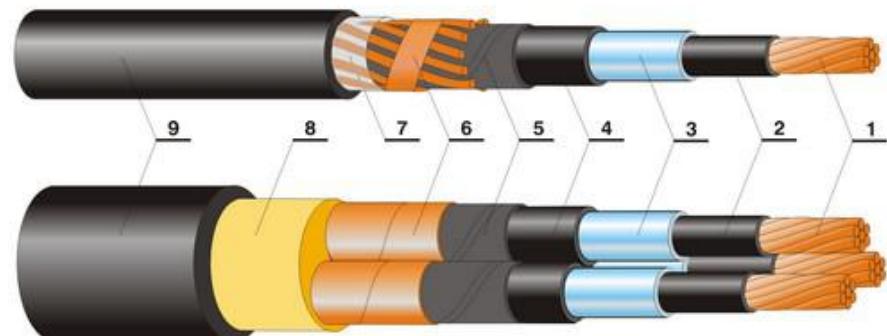
**5-separator:** poluvodljiva vrpca

**6-električna zaštita/ekran:** od Cu žice (jednožilni), od Cu trake (trožilni)

**7-separator:** poliesterska vrpca

**8-ispuna:** PVC

**9-vanjski plašt:** PVC



### Područje uporabe

U zemlju, kanale, na konzole, gdje se ne očekuju mehanička oštećenja ni mehanička vlačna naprezanja. Kao distributivni kabel u gradskim i ruralnim mrežama. Kao spojni kabel za industrijske pogone.

### Tehnički podaci

**stara oznaka:** XHP 48, XHP 48-A

**nazivni napon:** 6/10/12 KV, 12/20/24 KV

**najviši napon:** 12KV, 24KV

**ispitni napon:** 21 KV, 35 KV

**standardi:** IEC 60 502-2; HRN HD 620 S2 Part 10C; DIN VDE 0276T 620

# Energetski samonosivi SN višenamjenski kabeli

XHE 48/0, XHE 48/0-Ay

Energetski samonosivi srednjenaponski višenamjenski kabeli

IEC 60 502-2

### Struktura kabela

**1-vodič:** Al ili Cu uže, zbijeno

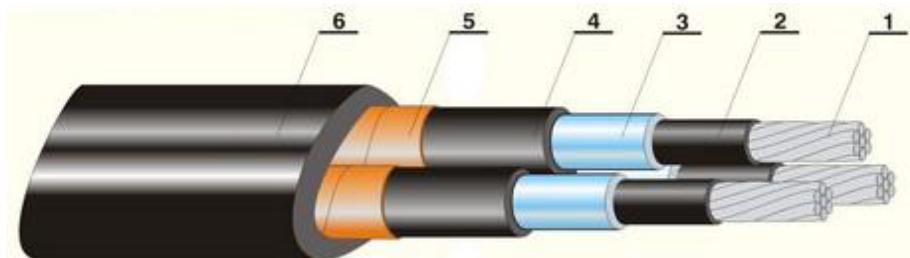
**2-ekran vodiča:** poluvodljivi sloj na vodiču

**3-izolacija:** XLPE

**4-ekran izolacije:** poluvodljivi sloj na izolaciji

**5-električna zaštita/ekran:** od Cu traka

**6-vanjski pлаšt:** PE-HD



### Područje uporabe

Na stupove zračne mreže. Djelomično u zemlju, kanale ili na konzole kod prijelaza sa ili na zračnu mrežu. Kao distribucijski kabel u ruralnim mrežama. Kao spojni kabel za industrijske pogone.

### Tehnički podaci

**nazivni napon:** 12/20kV

**najviši napon:** 24kV

**ispitni napon:** 42kV

**standardi:** IEC 60 502-2

**tipska oznaka po HRN HD** XHE 48/0, XHE 48/0-Ay

# Energetski samonosivi SN kabelski snopovi s XLPE izolacijom

XHP 48/0-A, XHE48/0-A

Energetski samonosivi kabelski snopovi s XLPE izolacijom

HRN HD 620 S2 part 10C

IEC 60 502-2

### Struktura kabela

**1-vodič:** Al uže, zbijeno

**2-ekran vodiča:** poluvodljivi sloj na vodiču

**3-izolacija:** XLPE

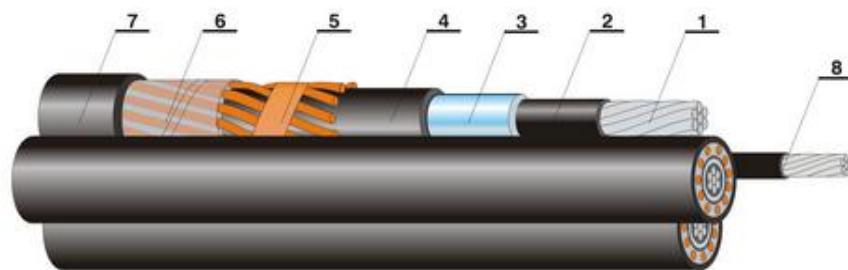
**4-ekran izolacije:** poluvodljivi sloj na izolaciji

**5-električna zaštita/ekran:** od Cu žica

**6-separator:** toplinska izolacija, poliesterska žica

**7-vanjski plašt:** PE-HD ili PVC

**8-nosivo uže:** čelično pocijančano uže 50mm<sup>2</sup>, zaštićeno sa PE oblogom



### Područje uporabe

Na stupove zračne mreže. Djelomično u zemlju, kanale ili na konzole kod prijelaza sa ili na zračnu mrežu. Kao distribucijski kabel u ruralnim mrežama. Kao spojni kabel za industrijske pogone.

### Tehnički podaci

**nazivni napon:** 6/10kV, 12/20kV, 20,8/36kV

**najviši napon:** 12kV, 24kV, 42kV

**ispitni napon:** 15kV, 30kV, 52kV

**standardi:** IEC 60 502-2; HRN HD 620 S2 Part 10C

### NAPOMENA:

1. Nosivo čelično pocijančano uže je prekidne čvrstoće od najmanje 72,11 kN modula elastičnosti 1750 daN/mm<sup>2</sup>.

2. Kabeli mogu biti izrađeni sa vodonepropusnom izvedbom električne zaštite, a kabelski snop ima oznaku XHE 49/0-A(EB-AXCeWnp St).

# Energetski VN kabeli sa XLPE izolacijom i PE plaštom s uzdužnom i poprečnom vodonepropusnom izvedbom električne zaštite

2XS(FL)2Y, A2XS(FL)2Y

Energetski kabeli sa XLPE izolacijom i PE plaštom s uzdužnom i poprečnom vodonepropusnom izvedbom električne zaštite

HRN HD 632

IEC 60840

### Struktura kabela

**1-vodič:** Al ili Cu kompaktirano/segmentno uže klase 2

**2-ekran vodiča:** ekstrudirani poluvodljivi XLPE

**3-izolacija:** XLPE

**4-ekran izolacije:** ekstrudirani poluvodljivi XLPE

**5-separator:** bubriva poluvodljiva traka

**6-metalni ekran:** Cu žice + kontra-spirala od Cu trake

**7-separator:** bubriva poluvodljiva traka

**8-laminirani plašt:** Al ili Cu traka sa kopolimerom

**9-vanjski plašt:** crni HDPE

### Područje uporabe

Kabel je namijenjen za polaganje u zemlju, osobito vlažne terene, kanale, na konzole gdje se ne očekuju mehanička oštećenja i gdje kabel nije izložen vlačnim naprezanjima.

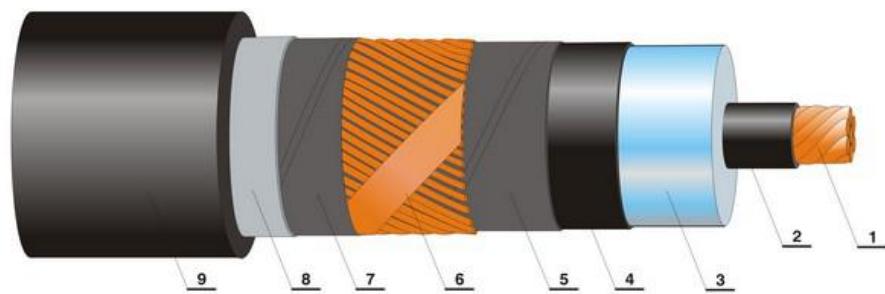
### Tehnički podaci

**nazivni napon:** 64/110 kV

**najviši napon:** 123 kV

**standardi:** IEC 60840; HRN HD 632

**stara oznaka:** XH(A)E 49, XH(A)E 49-A



# Energetski kabeli sa XLPE izolacijom i PE plaštom s uzdužnom vodonepropusnom izvedbom električne zaštite

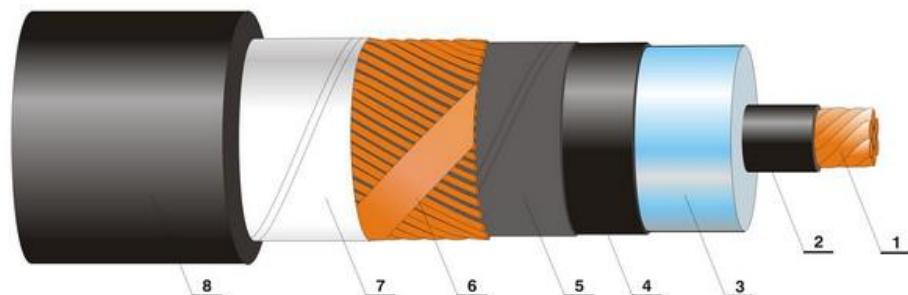
2XS(F)2Y, A2XS(F)2Y

Energetski kabeli sa XLPE izolacijom i PE plaštom s uzdužnom vodonepropusnom izvedbom električne zaštite

HRN HD 632

IEC 60840

| Struktura kabela                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1-vodič:</b> Al ili Cu kompaktirano/segmentno uže klase 2                                                                                                                |
| <b>2-ekran vodiča:</b> ekstrudirani poluvodljivi XLPE                                                                                                                       |
| <b>3-izolacija:</b> XLPE                                                                                                                                                    |
| <b>4-ekran izolacije:</b> ekstrudirani poluvodljivi XLPE                                                                                                                    |
| <b>5-separator:</b> bubriva poluvodljiva traka                                                                                                                              |
| <b>6-metalni ekran:</b> Cu žice + kontra-spirala od Cu trake                                                                                                                |
| <b>7-separator:</b> bubriva poluvodljiva traka                                                                                                                              |
| <b>8-vanjski plašt:</b> crni HDPE                                                                                                                                           |
| Područje uporabe                                                                                                                                                            |
| Kabel je namijenjen za polaganje u zemlju, osobito vlažne terene, kanale, na konzole gdje se ne očekuju mehanička oštećenja i gdje kabel nije izložen vlačnim naprezanjima. |
| Tehnički podaci                                                                                                                                                             |
| <b>nazivni napon:</b> 64/110 kV                                                                                                                                             |
| <b>najviši napon:</b> 123 kV                                                                                                                                                |
| <b>standardi:</b> IEC 60840; HRN HD 632                                                                                                                                     |
| <b>stara oznaka:</b> XHE 49, XHE 49-A                                                                                                                                       |



### Metallic screen

#### Copper wire screen, standard design

A polymeric sheath covers the copper wire screen.



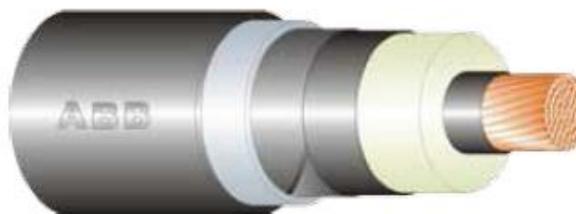
#### Copper wire screen, water tight design

Radial water sealing is achieved by using a metal-PE laminate. The metal is normally aluminium. Copper may also be used. The laminate is bonded to the polyethylene, which gives excellent mechanical properties. Longitudinal water sealing is achieved by using a water swelling material at the copper wires or swelling powder between the screen wires.



#### Lead sheath

Radial water sealing achieved by a corrosion resistant lead sheath. Longitudinal water sealing is achieved by using a water swelling material applied under the lead sheath.



#### Copper tape screen

Cross section defined by the geometrical cross section of the copper tapes.



Primjer konstrukcije jednožilnog VN kabela (do 500 kV)



Single-core cable with lead sheath and wire armour

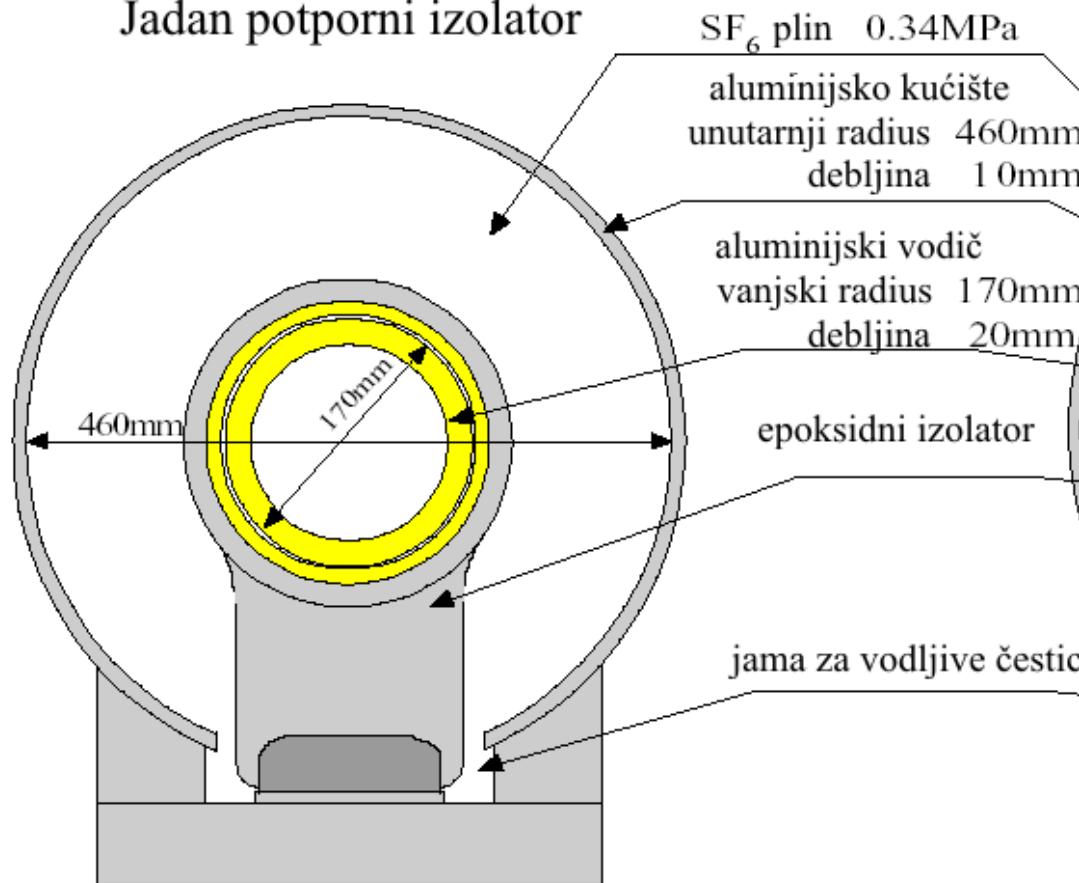


Three-core cable with optic fibers, lead sheath and wire armour

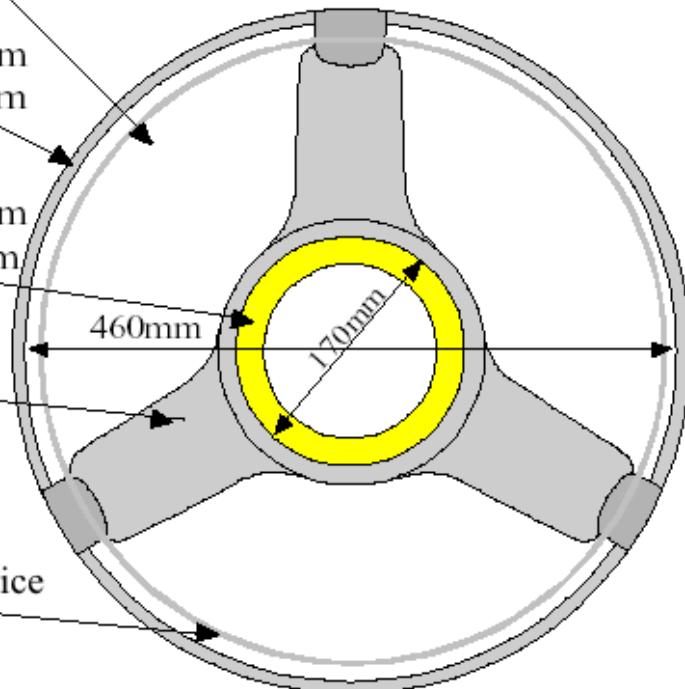
Primjer konstrukcije jednožilnog i trožilnog VN podmorskog kabela

## Plinom izolirani vodovi (GIL - Gas Insulated Line)

Jedan potporni izolator



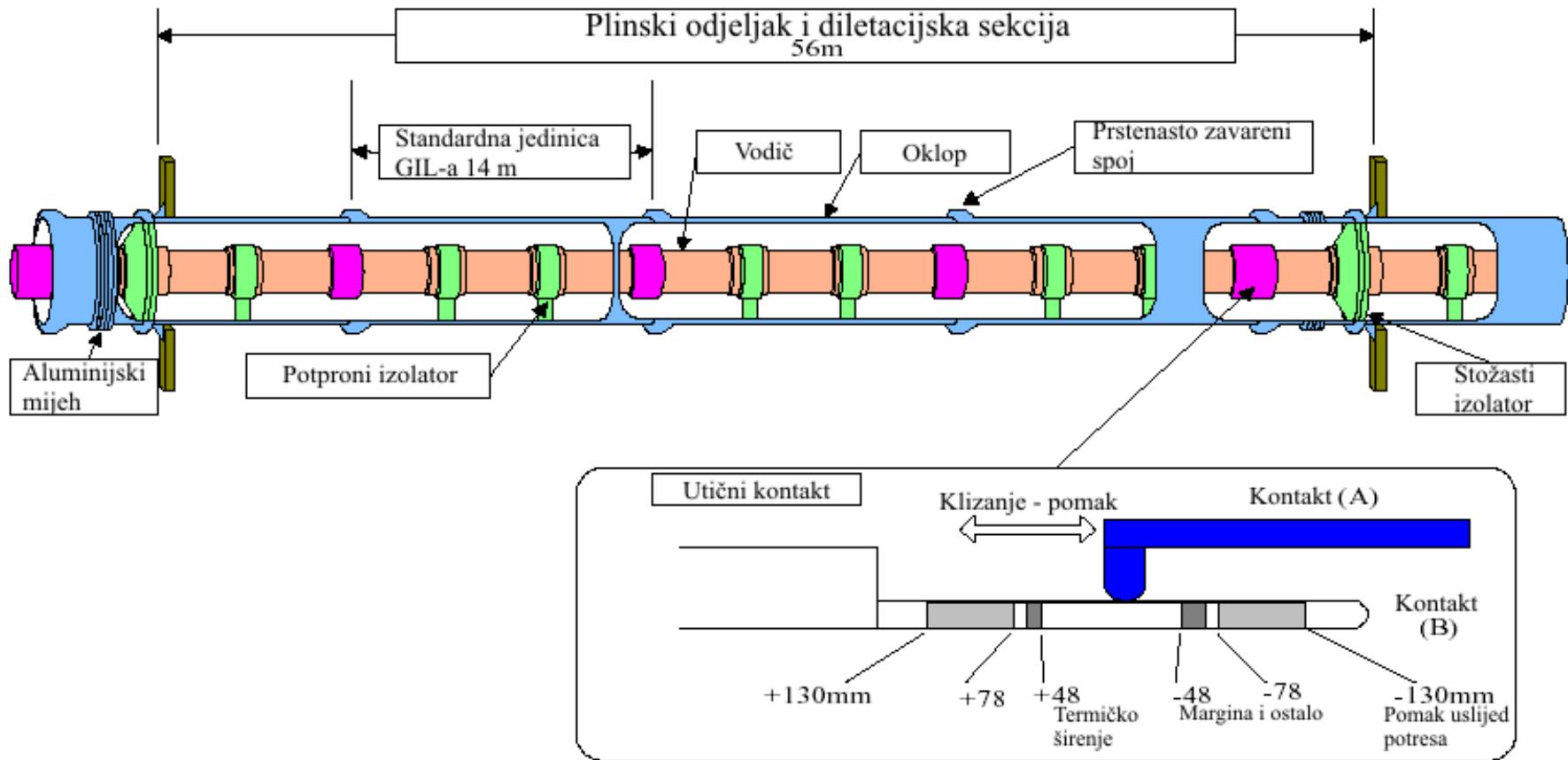
Tri potpora izolatora



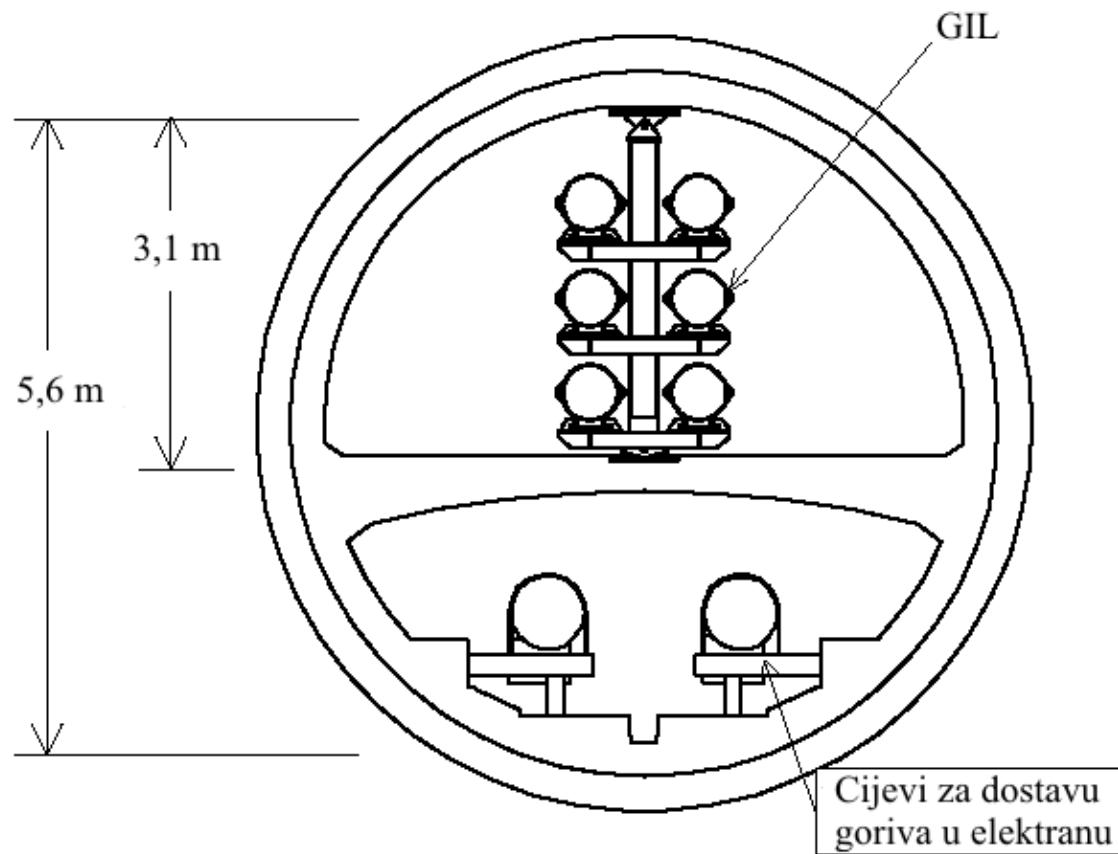
Presjek GIL-a

## Osnovne karakteristike (GIL - Gas Insulated Line)

| Karakteristika                           | Vrijednost       |
|------------------------------------------|------------------|
| Nazivni napon                            | 275 kV           |
| Maksimalni radni napon                   | 287,5 kV         |
| Podnosivi atmosferski udarni napon       | 1050 kV          |
| Podnosivi jednominutni napon 50 Hz       | 460 kV           |
| Nazivna struja                           | 6300 A           |
| Podnosiva struja kratkog spoja           | 50 kA, 2 sekunde |
| Nazivni pritisak SF <sub>6</sub> plina   | 0,34 MPa         |
| Minimalni pritisak SF <sub>6</sub> plina | 0,29 MPa         |
| Dozvoljena temperatura vodiča            | 105 °C           |



Plinska sekcija i utični kontakt s mogućnošću apsorpcije temperturnih diletacija i mogućih pomaka uslijed potresa



Presjek tunela za instalaciju GIL-a

### Karakteristike (svojstva) GIL-a:

Ne postoji vizualni i magnetski utjecaj na okoliš (ako se GIL izvodi u podzemnom tunelu);

Ne postoji opasnost od zapaljenja i oštećenja kao pri upotrebi kabela (visoka sigurnost);

#### Visoka pouzdanost:

relativno mala jakost električnog polja;

nema specijalnih spojnih mjesta (kritične točke kabela);

Ne postoji termičko ni električko starenje smjese  $SF_6/N_2$ ;

Simulacije: 50 godina životnog vijeka pod punim opterećenjem.

## Primjer iz Japan

Prijenos 2850 MW na udaljenost od cca. 3,3 km (od elektrane Shin-Nagoya do TS Tokai);

Nije postojala mogućnost izgradnje zračnog voda;

Kabelska trojka XLPE kabela nazivnog napona 275 kV, može prenositi najveću snagu 760 MW;

Samo jedna trojka GIL-a može prenijeti snagu od 2850 MW, (zbog pričuve potrebne 2 trojke);

Nije potrebna kompenzacijска prigušnica za GIL (kapacitet 2 trojka GIL samo oko 10% kapaciteta 5 XLPE kabelskih trojki).

Cijena samog GIL-a je oko 30% veća od cijene kabela;

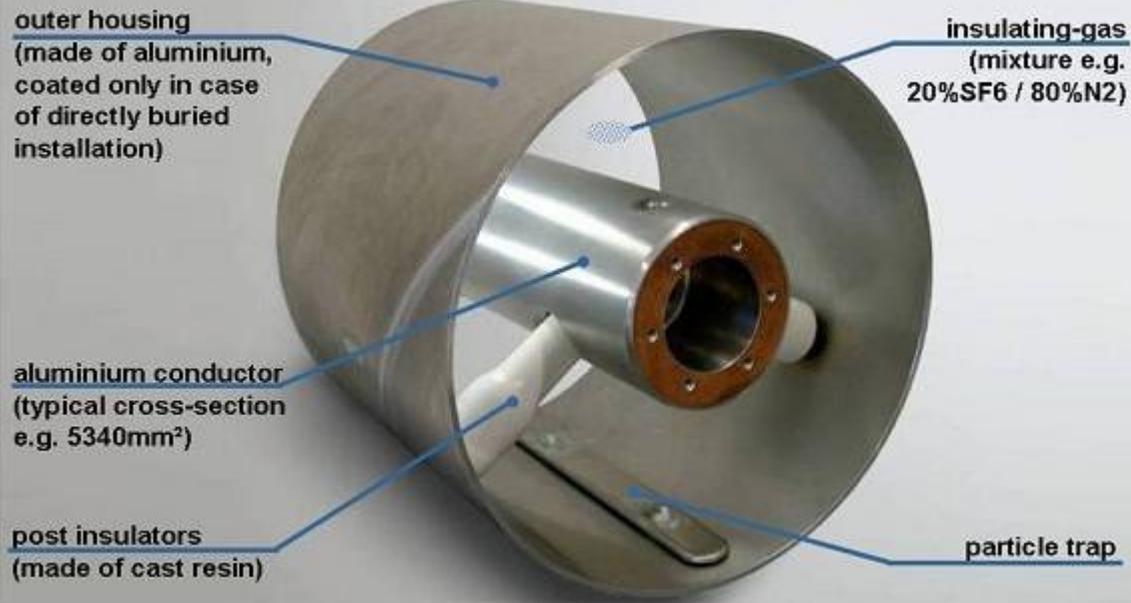
Za GIL treba manji broj prekidača i druge rasklopne opreme na oba kraja;

Prednost GIL-a je kada je potreban vrlo veliki prijenosni kapacitet između dvije točke mreže a udaljenost nije prevelika velika.

| Vrsta voda                            | Potreban broj trojki | Cijena uključujući troškove u priključenim stanicama |
|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------|
| XLPE kabel<br>(2500 mm <sup>2</sup> ) | 5                    | 100                                                  |
| GIL                                   | 2                    | 95                                                   |

Slijedi nekoliko fotografija

## Plinom izolirani vodovi



## Plinom izolirani vodovi



Prof. dr. sc. Ivica Pavić  
Izv. prof. dr. sc. Viktor Milardić

# Nadzemni vodovi i kabeli

---

Zavod za visoki napon i energetiku

Ak. god.: 2014/2015

Kabel kao i svaki drugi električni vodič, ima svoje osnovne parametre (konstante), tj. vodič pruža otpor prolazu električne energije, izolacija nije savršena pa postoji određeni odvod.

Javlja se relativno značajniji kapacitivni i slabiji induktivni otpor.

Parametrima ili konstantama određena su električna svojstva kabela i o njima ovise električne prilike u kabelu. Parametri kabela su:

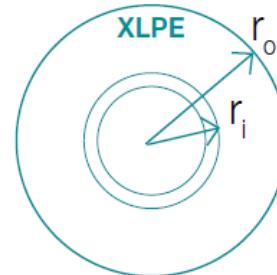
- Djelatni otpor kabela  $R_1$  ( $\Omega/\text{km}$ );
- Odvod kroz izolaciju kabela  $G_1$  ( $\text{S}/\text{km}$ );
- Induktivni otpor  $X_1$  ( $\Omega/\text{km}$ );
- Odvod kroz kapacitet kabela  $B_1$  ( $\text{S}/\text{km}$ );

Djelatni otpor i odvod kroz izolaciju kabela uzrokuju gubitke električne energije u kabelu, dok ostala dva ne izazivaju direktno te gubitke.

Djelatni i induktivni otpor kabela su poduzni parametri a odvod kroz izolaciju i kapacitet su poprečni parametri.

**Električno polje** u kabelu se može izračunati preko izraza za cilindrični kondenzator:

$$E = \frac{U_0}{r \cdot \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}$$



Gdje je:

$U_0$  – fazni napon (napon na izolaciji);

$r_i$  – radijus vodiča uključujući poluvodljivi sloj;

$r_o$  – radijus preko XLPE izolacije.

Primjer 1: Izračunati električno polje u 110 kV kabelu 1x150/95 mm<sup>2</sup> i 1x1000/95 mm<sup>2</sup>. Debljina XLPE izolaciju u prvom slučaju je 18 mm a u drugom 15 mm. Promjer preko izolacije u prvom slučaju je 54,5 mm a u drugom 72,8 mm. Napon je 110/ $\sqrt{3}$  kV.

Rješenje  $E = 6,35 \text{ kV/mm}$ ;  $E = 5,59 \text{ kV/mm}$ .

Dielektrična čvrstoća XLPE izolacije 18 kV/mm (najmanja) – tablica s prethodnog predavanja.

## Parametri kabela – električno polje u kabelu

Tablica 6: XHE 49; XH(A)E 49

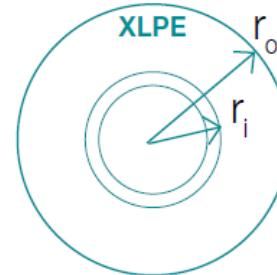
| Presjek vodiča i ekrana | Otpor vodiča |         | Otpor ekrana DC 20°C | Maks. iznos el. polja | Kapacitet | Induktivitet trokut / 2D | Maksimalna struja KS |       |
|-------------------------|--------------|---------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|----------------------|-------|
|                         | DC 20°C      | AC 80°C |                      |                       |           |                          | Vodič                | Ekran |
| mm <sup>2</sup>         | Ω/km         |         | Ω/km                 | kV/mm                 | μF/km     | mH/km                    | kA/1s                |       |
| 1x150/95                | 0,124        | 0,1586  | 0,215                | 6,4                   | 0,11      | 0,50/0,68                | 21,45                | 19,29 |
| 1x185/95                | 0,0991       | 0,1272  | 0,215                | 6,5                   | 0,12      | 0,48/0,67                | 26,5                 | 19,29 |
| 1x240/95                | 0,0754       | 0,0972  | 0,215                | 6,5                   | 0,14      | 0,47/0,65                | 34,3                 | 19,29 |
| 1x300/95                | 0,0601       | 0,078   | 0,215                | 6,5                   | 0,15      | 0,44/0,62                | 42,9                 | 19,29 |
| 1x400/95                | 0,047        | 0,0618  | 0,215                | 6,3                   | 0,17      | 0,42/0,61                | 57,2                 | 19,29 |
| 1x500/95                | 0,0366       | 0,0492  | 0,215                | 6,1                   | 0,18      | 0,40/0,58                | 71,5                 | 19,29 |
| 1x630/95                | 0,0283       | 0,0393  | 0,215                | 5,9                   | 0,2       | 0,39/0,57                | 90,1                 | 19,29 |
| 1x800/95                | 0,0221       | 0,0323  | 0,215                | 5,7                   | 0,22      | 0,38/0,56                | 114,5                | 19,29 |

Tablica 7: XHE 49-A; XH(A)E 49-A

| Presjek vodiča i ekrana | Otpor vodiča |         | Otpor ekrana DC 20°C | Maks. iznos el. polja | Kapacitet | Induktivitet trokut / 2D | Maksimalna struja KS |       |
|-------------------------|--------------|---------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|----------------------|-------|
|                         | DC 20°C      | AC 80°C |                      |                       |           |                          | Vodič                | Ekran |
| mm <sup>2</sup>         | Ω/km         |         | Ω/km                 | kV/mm                 | μF/km     | mH/km                    | kA/1s                |       |
| 1x150/95                | 0,206        | 0,2644  | 0,215                | 6,4                   | 0,11      | 0,50/0,68                | 14,2                 | 19,29 |
| 1x185/95                | 0,164        | 0,2105  | 0,215                | 6,5                   | 0,12      | 0,48/0,67                | 17,5                 | 19,29 |
| 1x240/95                | 0,125        | 0,1607  | 0,215                | 6,5                   | 0,14      | 0,47/0,65                | 22,7                 | 19,29 |
| 1x300/95                | 0,100        | 0,1289  | 0,215                | 6,5                   | 0,15      | 0,44/0,62                | 28,4                 | 19,29 |
| 1x400/95                | 0,0778       | 0,101   | 0,215                | 6,3                   | 0,17      | 0,42/0,61                | 37,8                 | 19,29 |
| 1x500/95                | 0,0605       | 0,0794  | 0,215                | 6,1                   | 0,18      | 0,40/0,58                | 47,3                 | 19,29 |
| 1x630/95                | 0,0469       | 0,0624  | 0,215                | 5,9                   | 0,2       | 0,39/0,57                | 59,5                 | 19,29 |
| 1x800/95                | 0,0367       | 0,0501  | 0,215                | 5,7                   | 0,21      | 0,38/0,56                | 75,6                 | 19,29 |
| 1x1000/95               | 0,0291       | 0,412   | 0,215                | 5,6                   | 0,23      | 0,36/0,55                | 94,5                 | 19,29 |
| 1x1200/95               | 0,0247       | 0,0362  | 0,215                | 5,4                   | 0,26      | 0,35/0,54                | 113,4                | 19,29 |

**Kapacitet kabela** se može izračunati preko izraza za cilindrični kondenzator:

$$C = \frac{\varepsilon_r}{18 \cdot \ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)} \left( = \frac{2 \cdot \pi \cdot l \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{\ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)} \right)$$



Gdje je:

$C$  – kapacitet [ $\mu\text{F}/\text{km}$ ];

$\varepsilon_r$  – 2,5 (XLPE)

$r_i$  – radijus vodiča uključujući poluvodljivi sloj;

$r_0$  – radijus preko XLPE izolacije.

Primjer 2: Izračunati kapacitet 110 kV kabelu 1x150/95 mm<sup>2</sup> i 1x1000/95 mm<sup>2</sup>. Debljina izolaciju u prvom slučaju je 18 mm a u drugom 15 mm. Promjer preko izolacije u prvom slučaju je 54,5 mm a u drugom 72,8 mm.

Rješenje  $C = 0,129 \mu\text{F}/\text{km}$ ;  $C = 0,261 \mu\text{F}/\text{km}$ .

Razlika u odnosu na tablice iz kataloga su zbog poluvodljivih slojeva na vodiču i na izolaciji.

## Parametri kabela - kapacitet

Tablica 6: XHE 49; XH(A)E 49

| Presjek vodiča i ekrana | Otpor vodiča |         | Otpor ekrana DC 20°C | Maks. iznos el. polja | Kapacitet | Induktivitet trokut / 2D | Maksimalna struja KS |       |
|-------------------------|--------------|---------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|----------------------|-------|
|                         | DC 20°C      | AC 80°C |                      |                       |           |                          | Vodič                | Ekran |
| mm <sup>2</sup>         | Ω/km         |         | Ω/km                 | kV/mm                 | μF/km     | mH/km                    | kA/1s                |       |
| 1x150/95                | 0,124        | 0,1586  | 0,215                | 6,4                   | 0,11      | 0,50/0,68                | 21,45                | 19,29 |
| 1x185/95                | 0,0991       | 0,1272  | 0,215                | 6,5                   | 0,12      | 0,48/0,67                | 26,5                 | 19,29 |
| 1x240/95                | 0,0754       | 0,0972  | 0,215                | 6,5                   | 0,14      | 0,47/0,65                | 34,3                 | 19,29 |
| 1x300/95                | 0,0601       | 0,078   | 0,215                | 6,5                   | 0,15      | 0,44/0,62                | 42,9                 | 19,29 |
| 1x400/95                | 0,047        | 0,0618  | 0,215                | 6,3                   | 0,17      | 0,42/0,61                | 57,2                 | 19,29 |
| 1x500/95                | 0,0366       | 0,0492  | 0,215                | 6,1                   | 0,18      | 0,40/0,58                | 71,5                 | 19,29 |
| 1x630/95                | 0,0283       | 0,0393  | 0,215                | 5,9                   | 0,2       | 0,39/0,57                | 90,1                 | 19,29 |
| 1x800/95                | 0,0221       | 0,0323  | 0,215                | 5,7                   | 0,22      | 0,38/0,56                | 114,5                | 19,29 |

Tablica 7: XHE 49-A; XH(A)E 49-A

| Presjek vodiča i ekrana | Otpor vodiča |         | Otpor ekrana DC 20°C | Maks. iznos el. polja | Kapacitet | Induktivitet trokut / 2D | Maksimalna struja KS |       |
|-------------------------|--------------|---------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|----------------------|-------|
|                         | DC 20°C      | AC 80°C |                      |                       |           |                          | Vodič                | Ekran |
| mm <sup>2</sup>         | Ω/km         |         | Ω/km                 | kV/mm                 | μF/km     | mH/km                    | kA/1s                |       |
| 1x150/95                | 0,206        | 0,2644  | 0,215                | 6,4                   | 0,11      | 0,50/0,68                | 14,2                 | 19,29 |
| 1x185/95                | 0,164        | 0,2105  | 0,215                | 6,5                   | 0,12      | 0,48/0,67                | 17,5                 | 19,29 |
| 1x240/95                | 0,125        | 0,1607  | 0,215                | 6,5                   | 0,14      | 0,47/0,65                | 22,7                 | 19,29 |
| 1x300/95                | 0,100        | 0,1289  | 0,215                | 6,5                   | 0,15      | 0,44/0,62                | 28,4                 | 19,29 |
| 1x400/95                | 0,0778       | 0,101   | 0,215                | 6,3                   | 0,17      | 0,42/0,61                | 37,8                 | 19,29 |
| 1x500/95                | 0,0605       | 0,0794  | 0,215                | 6,1                   | 0,18      | 0,40/0,58                | 47,3                 | 19,29 |
| 1x630/95                | 0,0469       | 0,0624  | 0,215                | 5,9                   | 0,2       | 0,39/0,57                | 59,5                 | 19,29 |
| 1x800/95                | 0,0367       | 0,0501  | 0,215                | 5,7                   | 0,21      | 0,38/0,56                | 75,6                 | 19,29 |
| 1x1000/95               | 0,0291       | 0,412   | 0,215                | 5,6                   | 0,23      | 0,36/0,55                | 94,5                 | 19,29 |
| 1x1200/95               | 0,0247       | 0,0362  | 0,215                | 5,4                   | 0,26      | 0,35/0,54                | 113,4                | 19,29 |

Primjer 3: Elka-in VN kabel XHE 49-A 1x1000/95 ima podužni kapacitet  $0,23 \mu\text{F}/\text{km}$ , podužni otpor  $0,0291 \Omega/\text{km}$ , podužni induktivitet  $0,55 \text{ mH}/\text{km}$ . Koliku struju uzima iz mreže ovaj kabel u praznom hodu pri nazivnom naponu ( $110/\sqrt{3} \text{ kV}$ ) i maksimalnom dozvoljenom naponu  $123/\sqrt{3} \text{ kV}$ . Dužina kabla je 1, 10, 20, 30, 40, 50 i 100 km.

R: (približan rezultat, zanemaren podužni otpor i induktivitet i Ferrantijev efekt):

| $I_1 (\text{A})$ | $I_2 (\text{A})$ | $l (\text{km})$ |
|------------------|------------------|-----------------|
| 4,59             | 5,13             | 1               |
| 45,89            | 51,31            | 10              |
| 91,78            | 102,62           | 20              |
| 137,67           | 153,94           | 30              |
| 183,56           | 205,25           | 40              |
| 229,45           | 256,56           | 50              |
| 458,89           | 513,12           | 100             |

R: (kabel ekvivalentiran  $\pi$  shemom):

| $I_1 (\text{A})$ | $I_2 (\text{A})$ | $l (\text{km})$ |
|------------------|------------------|-----------------|
| 4,59             | 5,13             | 1               |
| 45,90            | 51,33            | 10              |
| 91,89            | 102,75           | 20              |
| 138,06           | 154,37           | 30              |
| 184,48           | 206,28           | 40              |
| 231,26           | 258,59           | 50              |
| 474,14           | 530,18           | 100             |

**Dielektrični gubici** se mogu izračunati preko poznate formule:

$$W = \frac{U^2}{3} 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot \tan(\delta)$$

Gdje je:

$W$  – dielektrični gubici [W/km];

$U$  – linijski napon [kV];

$C$  – kapacitet [ $\mu\text{F}/\text{km}$ ];

$\tan(\delta)$  – kut dielektričnih gubitaka.

Primjer 4: Izračunati dielektrične gubitke u 110 kV kabelu kapaciteta 0,23  $\mu\text{F}/\text{km}$ . Linijski napon je 110 kV, frekvencija 50 Hz a  $\tan(\delta)=0,001$ .

Rješenje  $W = 291,4$  W/km.

**Djelatni otpor** kabela ovisi o više faktora.

Osim o materijalu, duljini i presjeku vodiča ovisi o konstrukciji kabela i uvjetima smještaja te o frekvenciji struje.

$$R = l \cdot R_1$$

$$R_1 = R_{01} + R_{s1}$$

$$R_{s1} = R_{f1} + R_{b1} + R_{m1}$$

Gdje je:

$l$  – duljina vodiča [km];

$R_1$  – ukupni djelatni otpor vodiča [ $\Omega/\text{km}$ ];

$R_{01}$  – otpor vodiča pri istosmjernoj struji [ $\Omega/\text{km}$ ];

$R_{s1}$  – povećanje otpor vodiča uslijed prolaza izmjenične struji [ $\Omega/\text{km}$ ];

$R_{f1}$  – povećanje otpor vodiča djelovanjem skin efekta [ $\Omega/\text{km}$ ];

$R_{b1}$  – povećanje otpor vodiča djelovanjem efekta bliskosti [ $\Omega/\text{km}$ ];

$R_{m1}$  – povećanje otpor vodiča zbog gubitaka u susjednim metalima

[ $\Omega/\text{km}$ ].

Otpor vodiča pri istosmjernoj struji (istosmjerno otpor) se može izračunati prema slijedećem izrazu ( $\Omega/\text{km}$ ):

$$R_{01} = \frac{1000 \cdot \rho_{20} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{n \cdot S_1}$$

Gdje je:

$\rho_{20}$  – specifični otpor materijala vodiča [ $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ] pri  $20^{\circ}\text{C}$ ;

$k_1$  – faktor povećanja otpora u ovisnosti od promjera žice i vrste materijala i prevlake;

$k_2$  – faktor povećanja otpora uslijed použavanja ili upredanja žica u vodiču;

$k_3$  – faktor povećanja otpora uslijed použavanja žila u kabelu;

$S_1$  – površina presjeka žice (računski presjek) [ $\text{mm}^2$ ];

$n$  – broj žica u vodiču.

Otpor vodiča zavisi od temperature vodiča.

Podaci za specifični otpor vodiča daju se najčešće za temperaturu 20 °C. Ako je temperatura vodiča različita od 20 °C (što u pogonu je) to treba uzeti u obzir:

$$R_{0T} = R_{020}(1 + \alpha_{20}\Delta T)$$

Gdje je:

$R_{0T}$  – istosmjerni otpor pri temperaturi  $T$  [°C];

$R_{020}$  – istosmjerni otpor pri temperaturi 20 °C;

$\alpha_{20}$  – temperaturni koeficijent električnog otpora [ $K^{-1}$ ] ;

$\Delta T$  – razlika između temperature  $T$  i 20 °C.

Primjer 5: Istosmjerni otpor vodiča od Al pri 20 °C je 0,202 [Ω/km]. Koliki je pri 80 °C? Temperaturni koeficijent električnog otpora Al je 0,00403 [ $K^{-1}$ ] (tablica s prethodnog predavanja)

Rješenje  $R_{0T} = 0,2508 \Omega/\text{km}$ .

Povećanje djelatnog otpora vodiča uslijed skin-efekta ( $R_{f1}$ ).

Zbog djelovanja skin-efekta gustoća struje nije jednaka po cijelom presjeku vodiča, nego se povećava od centra prema površini vodiča.

Takav raspored struje povećava djelatni otpor vodiča a time i gubitke energije.

Utjecaj skin-efekta na djelatni otpor ovisi o:

- presjeku vodiča;
- permeabilnosti materijala vodiča;
- specifičnom otporu materijala vodiča;
- frekvenciji izmjenične struje.

Faktor skin-efekta:

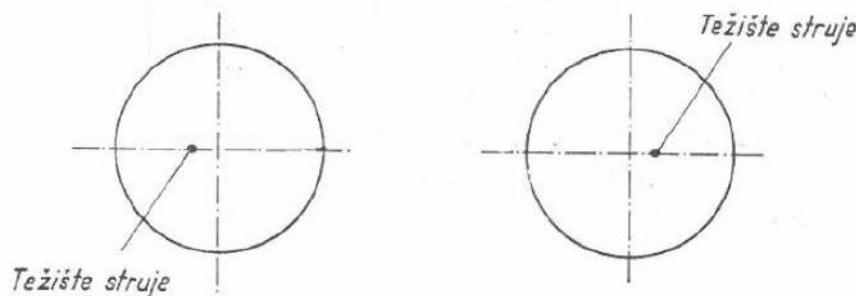
$$f_s = \frac{R_{01} + R_{f1}}{R_{01}} = 1 + \frac{\left(\frac{\omega\mu}{\rho} r^2\right)^2}{192} - \frac{\left(\frac{\omega\mu}{\rho} r^2\right)^4}{46080} + \dots$$

Iz gornjeg izraza je jasno da povećanje djelatnog otpora uslijed skin-efekta ovisi najviše o promjeru vodiča, zatim frekvenciji, specifičnom otporu vodiča i permeabilnosti.

Povećanje djelatnog otpora vodiča djelovanjem efekta bliskosti ( $R_{b1}$ ).

Struje koje teku u dva vodiča međusobno će utjecati jedna na drugu tako da će se poremetiti centralno simetrični raspored gustoće struje po presjeku vodiča.

Težište struje bit će udaljeno od težišta presjeka vodiča tim više što su vodiči međusobno bliži.



Efekt bliskosti (struje istog smjera)

Težišta struja u dva vodiča imat će tendenciju međusobnog udaljavanja u koliko u njima teku struje u istom smjeru, odnosno približavanja u koliko teku struje u suprotnim smjerovima.

Ovakav raspored struja u vodiču uzrokuje povećanje aktivnog otpora vodiča.

Faktor bliskosti:

$$f_b = \frac{R_{01} + R_{b1}}{R_{01}} = 1 + F(x_b) \left( \frac{D}{s} \right)^2 \left[ \frac{1,18}{F(x_b) + 0,27} + 0,312 \left( \frac{D}{s} \right)^2 \right]$$

Gdje je:

$D$  – vanjski promjer vodiča (cm);

$s$  – razmak između osi vodiča (cm);

$F(x_b)$  – veličina očitana iz tablice u stupcu za  $y_s$ ;

$$x_b = 0,159 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{k_b \cdot f \cdot 1000}{R_{01}}} \quad \text{uvršten u tablicu u stupac za } x_s.$$

$R_{01}$  – otpor pri istosmjernoj struji ( $\Omega/\text{km}$ );

$k_b$  – koeficijent iz tablice;

$f$  – frekvencija (Hz);

## Iznos faktora skin-efekta i efekta bliskosti

| $x_s$ | $y_s$  | $x_s$ | $y_s$  | $x_s$ | $y_s$  | $x_s$ | $y_s$  |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 0,3   | 0,0000 | 1,45  | 0,0226 | 2,70  | 0,2275 | 3,9   | 0,6405 |
| 0,35  | 0,0001 | 1,50  | 0,0258 | 2,75  | 0,2417 | 3,95  | 0,6592 |
| 0,4   | 0,0001 | 1,55  | 0,0293 | 2,80  | 0,2562 | 4,0   | 0,6779 |
| 0,45  | 0,0002 | 1,6   | 0,0332 | 2,85  | 0,2711 | 4,05  | 0,6965 |
| 0,5   | 0,0003 | 1,65  | 0,0375 | 2,90  | 0,2865 | 4,1   | 0,7152 |
| 0,55  | 0,0005 | 1,7   | 0,0421 | 2,95  | 0,3021 | 4,15  | 0,7338 |
| 0,6   | 0,0007 | 1,75  | 0,0470 | 3,0   | 0,3181 | 4,20  | 0,7523 |
| 0,65  | 0,0010 | 1,8   | 0,0524 | 3,05  | 0,3344 | 4,25  | 0,7708 |
| 0,7   | 0,0012 | 1,85  | 0,0582 | 3,1   | 0,3510 | 4,30  | 0,7893 |
| 0,75  | 0,0017 | 1,9   | 0,0644 | 3,15  | 0,3679 | 4,35  | 0,8078 |
| 0,8   | 0,0021 | 1,95  | 0,0711 | 3,20  | 0,3850 | 4,40  | 0,8261 |
| 0,85  | 0,0028 | 2,0   | 0,0782 | 3,25  | 0,4024 | 4,45  | 0,8445 |
| 0,90  | 0,0034 | 2,05  | 0,0857 | 3,3   | 0,4200 | 4,5   | 0,8628 |
|       |        | 2,1   | 0,0938 | 3,35  | 0,4378 | 4,55  | 0,8810 |
| 0,95  | 0,0043 | 2,15  | 0,1022 | 3,4   | 0,4557 | 4,60  | 0,8991 |
| 1,0   | 0,0052 | 2,2   | 0,1113 | 3,45  | 0,4738 | 4,65  | 0,9173 |
| 1,05  | 0,0063 | 2,25  | 0,1207 | 3,5   | 0,4920 | 4,70  | 0,9353 |
| 1,1   | 0,0076 | 2,3   | 0,1307 | 3,55  | 0,5104 | 4,75  | 0,9533 |
| 1,15  | 0,0090 | 2,35  | 0,1411 | 3,6   | 0,5288 | 4,8   | 0,9713 |
| 1,20  | 0,0107 | 2,40  | 0,1521 | 3,65  | 0,5473 | 4,85  | 0,9892 |
| 1,25  | 0,0126 | 2,45  | 0,1635 | 3,70  | 0,5659 | 4,9   | 1,0071 |
| 1,3   | 0,0147 | 2,50  | 0,1878 | 3,75  | 0,5845 | 4,95  | 1,0249 |
| 1,35  | 0,0171 | 2,6   | 0,2006 | 3,8   | 0,6031 | 5,0   | 1,0440 |
| 1,40  | 0,0197 | 2,65  | 0,2138 | 3,85  | 0,6218 |       |        |

Iznos koeficijenta  $k_b$ 

| Konstrukcija vodiča, presjeka   | Iznos koeficijenta                   |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Okrugli, mnogožičani            | 1                                    |
| Okrugli, puni                   | 0,6                                  |
| Okrugli, s 4 izolirana segmenta | 0,37                                 |
| Sektorski                       | 0,5 $k_b$ okrugle, iste konstrukcije |

U koliko se u izrazu za  $f_b$  zanemari drugi član koji je obično vrlo malen u odnosu na prvi može se zapisati:

$$f_b = 1 + 4 \cdot F(x_b) \cdot \left( \frac{D}{s} \right)^2 \left( \frac{0,295}{F(x_b) + 0,27} \right) = 1 + 4 \cdot \left( \frac{D}{s} \right)^2 \cdot F'(x_b)$$

$$F'(x_b) = F(x_b) \cdot \left( \frac{0,295}{F(x_b) + 0,27} \right) \quad R_{bl} = R_{01} \cdot 4 \cdot \left( \frac{D}{s} \right)^2 \cdot F'(x_b)$$

Povećanje djelatnog otpora vodiča zbog gubitka u susjednim metalima ( $R_{m1}$ ).

Izmjenično magnetsko polje koje stvara izmjenična struja oko vodiča inducira napon u metalima koji su u blizini vodiča.

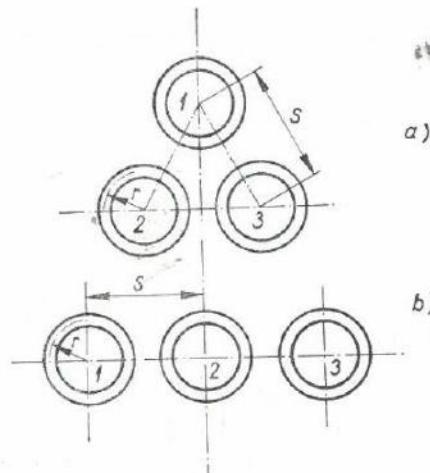
To su najčešće metalni plaštevi i armature.

Struje u susjednim metalima izazivaju gubitke što se očituje kao povećanje aktivnog otpora vodiča.

Ovaj utjecaj je izraženiji kod jednožilnih kabela ili kabela kod kojih je svaka žila obavijena jednim metalnim plaštem.

Faktor gubitka u susjednim metalima:

$$f_m = \frac{R_{01} + R_{m1}}{R_{01}}$$



Shema rasporeda jednožilnih kabela  
a) istostranični trokut b) vodoravno (2D)

Za slučaj rasporeda vodiča u vrhovima istostraničnog trokuta vrijedi:

$$f_m = 1 + m^2 \cdot \frac{R}{R_{01}}$$

Gdje je:

$$m = \frac{\omega \cdot 4,6 \cdot \log\left(\frac{s}{r}\right) \cdot 10^{-9}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 \left(4,6 \cdot \log\left(\frac{s}{r}\right)\right)^2} \cdot 10^{-18}}$$

$R$  – aktivni otpor plašta kabela ( $\Omega/\text{km}$ );

$R_{01}$  – otpor istosmjernoj struji vodiča kabela ( $\Omega/\text{km}$ );

**Induktivitet kabela** se može izračunati po formuli [mH/km]:

$$L = 0,05 + 0,2 \cdot \ln\left(\frac{K \cdot s}{r_c}\right)$$

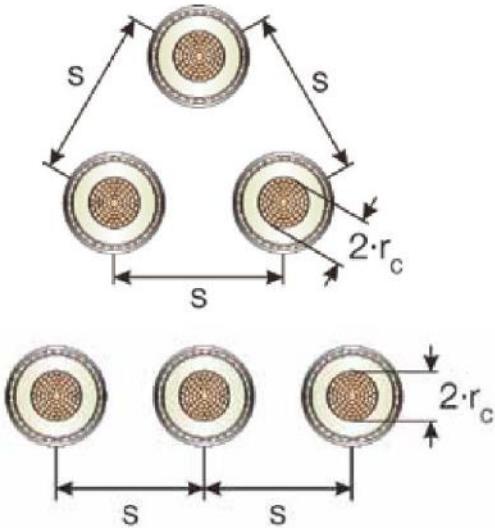
Gdje je:

Za raspored u istostranični trokut  $K=1$ ;

Za vodoravni raspored (2D)  $K=1,26$ ;

$s$  – razmak između osi vodiča (mm);

$r_c$  – radijus vodiča (mm);



Primjer 6: Izračunati induktivitet 110 kV kabela 1x150/95 mm<sup>2</sup> i 1x1000/95 mm<sup>2</sup> u vodoravnom rasporedu (2D) ( $s=130$  mm,  $r_c=7,05$  mm i  $r_c=19$  mm).

Rješenje  $L = 0,679$  mH/km;  $L= 0,481$  mH/km.

Prof. dr. sc. Ivica Pavić  
Izv. prof. dr. sc. Viktor Milardić

# Nadzemni vodovi i kabeli

---

Zavod za visoki napon i energetiku

Ak. god.: 2014/2015

Prolazom struje kroz metalne elemente kabela nastaju gubici te se razvija toplina koju se, obzirom na mjesto izvora, može svrstati u dvije osnovne skupine:

- toplina stvorena u metalnim vodičima kabela;
- toplina stvorena u izolacijskim slojevima kabela.

Gubici u metalnim vodičima kabela (vodiči, električna zaštita, metalni plašt, armatura, metalna cijev) su daleko najznačajniji od svih gubitaka, a sadrže:

- Jouleove gubitke;
- gubitke uslijed vrtložnih struja;
- gubitke uslijed kružnih struja;
- gubitke histereze.

Općenito, ovi gubici su ovisni o frekvenciji, radnoj temperaturi i strujnom opterećenju kabela te se mogu izraziti kao:

$$W = R_{ac}(f, t) \cdot I^2$$

gdje je:

$W$  – gubici [W];

$R_{ac}$  - omski otpor vodiča izmjeničnoj struji [ $\Omega/\text{km}$ ];

$I$  – trajno strujno opterećenje vodiča kabela [A].

To su zapravo omski gubici nastali uslijed utjecaja struje opterećenja na metalne elemente konstrukcije kabela.

I izolacijski materijali su proizvođači topline, a unutar kabela to su:

- osnovna izolacija kabela;
- poluvodljivi ekrani na vodiču;
- poluvodljivi ekrani na izolaciji;
- unutarnje i vanjske nemetalne zaštite;
- vanjski polimerni plašt kabela.

Ovi gubici sasvim općenito ovise o kapacitetu i nazivnom naponu kabela (dielektrični gubici).

Toplinska svojstva kabela određuju trajno strujno opterećenje kabela, pri čemu se ukupni toplinski gubici u kabelu mogu razmatrati kao odnos razlike temperature vodiča i okolnog medija i toplinskog otpora kabela  $T$ :

$$W = \frac{\Delta\Theta}{T}$$

$W$  – ukupni toplinski gubici [W/m];  
 $\Delta\Theta$  - razlika temperature vodiča i ambijenta [K];  
 $T$  - toplinski otpor kabela [Km/W].

Polazna formula za izračun strujnog opterećenja kabela.

U katalozima:

Veličinu jakosti električne struje u kabelu je potrebno ograničiti zbog topline koja se pri tome oslobađa. Pogonom kabela pri većim temperaturama (jakostima struje) od dopuštenih dolazi do smanjenja životnog vijeka kabela. U Tablici nalaze se dopuštene vrijednosti jakosti struja izračunate prema standardu IEC 60287 za maksimalnu temperaturu vodiča 90°C i druge uobičajene parametre polaganja u našim krajevima:

- temperatura zemlje 20 °C;
- specifični toplinski otpor zemlje 1,0 Km/W;
- temperatura zraka 30 °C;
- dubina polaganja 1 m;
- "svijetli" razmak kabela 0,07 m.

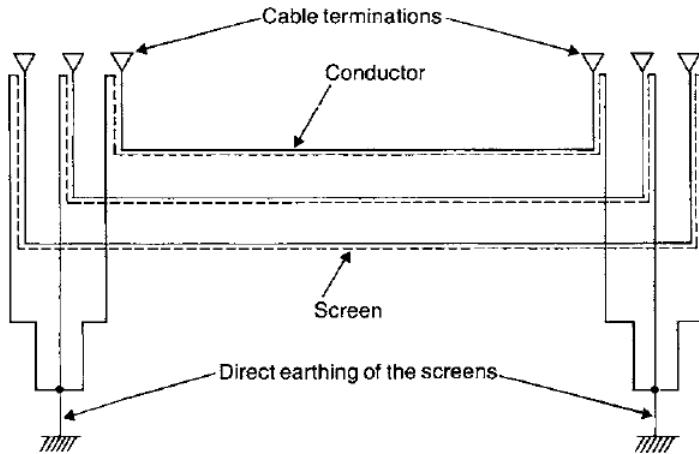
## Strujno opterećenje kabela

### Strujna opterećenja 110 kV kabela

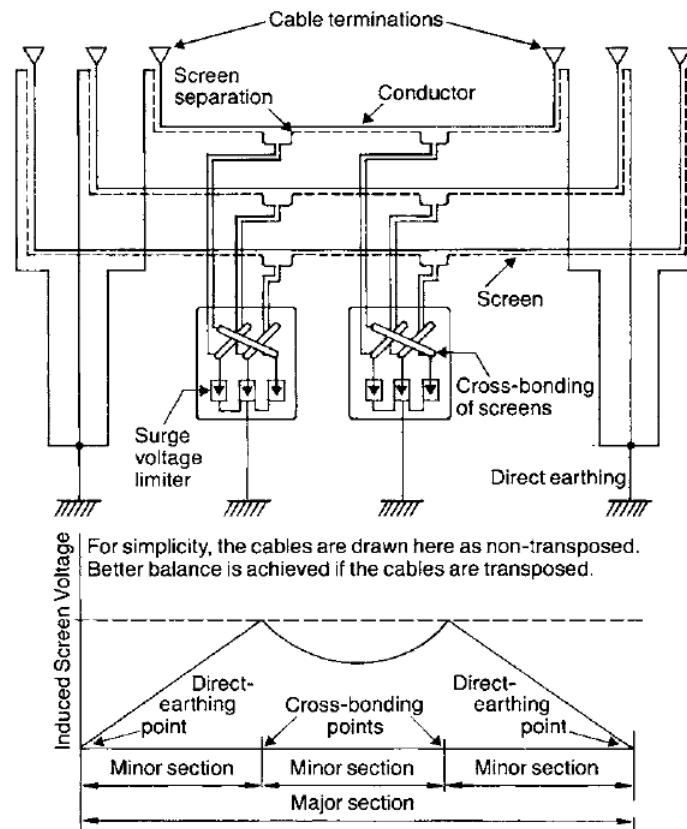
| Vrsta vodiča                   | Bakreni vodič      |        |        |        |                   |        |        |        | Aluminijski vodič  |        |        |        |                   |        |        |        |
|--------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|-------------------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------|-------------------|--------|--------|--------|
| Mjesto polaganja               | Polaganje u zemlju |        |        |        | Polaganje u zraku |        |        |        | Polaganje u zemlju |        |        |        | Polaganje u zraku |        |        |        |
| Način polaganja                | linija             | trokut | linija | trokut | linija            | trokut | linija | trokut | linija             | trokut | linija | trokut | linija            | trokut | linija | trokut |
| Način uzemljenja               | *                  | **     | *      | **     | *                 | **     | *      | **     | *                  | **     | *      | **     | *                 | **     | *      | **     |
| Presjek vodiča mm <sup>2</sup> | JAKOST STRUJE (A)  |        |        |        |                   |        |        |        |                    |        |        |        |                   |        |        |        |
| 150                            | 435                | 406    | 410    | 406    | 551               | 515    | 478    | 473    | 335                | 325    | 320    | 320    | 431               | 415    | 373    | 373    |
| 185                            | 490                | 448    | 465    | 453    | 630               | 574    | 546    | 538    | 380                | 363    | 360    | 358    | 494               | 465    | 425    | 423    |
| 240                            | 570                | 505    | 540    | 519    | 740               | 659    | 645    | 628    | 445                | 416    | 420    | 416    | 583               | 541    | 504    | 499    |
| 300                            | 640                | 535    | 610    | 580    | 805               | 685    | 710    | 685    | 495                | 445    | 475    | 460    | 625               | 565    | 550    | 540    |
| 400                            | 720                | 595    | 690    | 650    | 915               | 775    | 820    | 785    | 565                | 500    | 540    | 525    | 715               | 640    | 640    | 625    |
| 500                            | 825                | 650    | 785    | 730    | 1060              | 860    | 945    | 895    | 645                | 555    | 620    | 595    | 835               | 725    | 745    | 720    |
| 630                            | 940                | 705    | 890    | 810    | 1235              | 950    | 1085   | 1010   | 740                | 610    | 710    | 670    | 975               | 820    | 865    | 830    |
| 800                            | 1055               | 755    | 995    | 885    | 1415              | 1040   | 1235   | 1130   | 845                | 665    | 805    | 745    | 1130              | 910    | 995    | 940    |
| 1000                           |                    |        |        |        |                   |        |        |        | 950                | 720    | 900    | 820    | 1295              | 1005   | 1135   | 1055   |
| 1200                           |                    |        |        |        |                   |        |        |        | 1025               | 755    | 970    | 870    | 1420              | 1070   | 1235   | 1140   |

\* preplitanje uzemljenja (crossbonding)

\*\* oba kraja uzemljena



Metalni ekran uzemljen na oba kraja



Metalni ekran prepletен (cross-bonding)

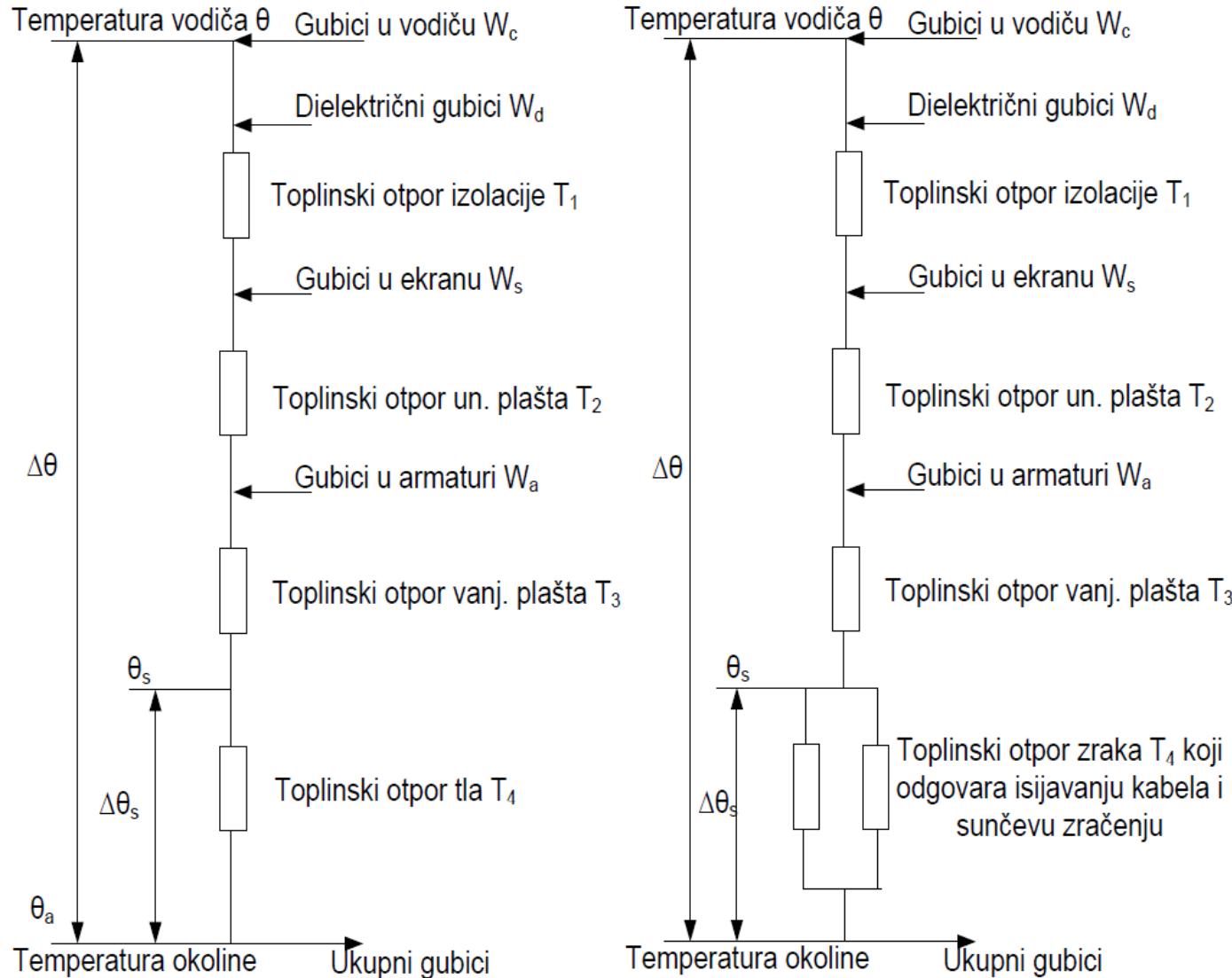
Dopušteno strujno opterećenje računa se prema normama:

- IEC 60287-1-1:2006+AMD1:2014 CSV: Electric cables - Calculation of the current rating - Part 1-1: Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses – General.
- IEC 60287-1-2:1993: Electric cables - Calculation of the current rating - Part 1: Current rating equations (100% load factor) and calculations of losses - Section 2: Sheath eddy current loss factors for two circuits in flat formation.
- IEC 60287-1-3:2002: Electric cables - Calculation of the current rating - Part 1-3: Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses - Current sharing between parallel single-core cables and calculation of circulating current losses.
- IEC 60287-2-1:2015 RLV: Electric cables – Calculation of the current rating – Part 2-1: Thermal resistance – Calculation of thermal resistance.
- IEC 60287-2-2:1995: Electric cables - Calculation of the current rating - Part 2: Thermal resistance - Section 2: A method for calculating reduction factors for groups of cables in free air, protected from solar radiation.
- IEC 60287-3-1:1995+AMD1:1999 CSV: Electric cables - Calculation of the current rating - Part 3-1: Sections on operating conditions - Reference operating conditions and selection of cable type.

Dopušteno strujno opterećenje računa se prema normama (nastavak):

- IEC 60287-3-2:2012: Electric cables - Calculation of the current rating - Part 3-2: Sections on operating conditions - Economic optimization of power cable size.
- IEC 60287-3-3:2007: Electric cables - Calculation of the current rating - Part 3-3: Sections on operating conditions - Cables crossing external heat sources
- IEC TR 62095:2003: Electric cables - Calculations for current ratings - Finite element method.

## Strujno opterećenje kabela



Toplinska slika kabela položenog u zemlju i zrak

Dozvoljeno strujno opterećenje AC kabela može se izvesti iz izraza za porast temperature iznad temperature okoline:

$$\Delta\Theta = \left( I^2 R + \frac{W_d}{2} \right) T_1 + [I^2 R(1 + \lambda_1) + W_d] n T_2 + [I^2 R(1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d] n (T_3 + T_4)$$

gdje je:

$\Delta\Theta$  - razlika temperature vodiča i ambijenta [K];

$I$  – struja koja teče jednim vodičem [A];

$R$  – izmjenični djelatni otpor vodiča pri maksimalnoj radnoj temperaturi [ $\Omega/m$ ];

$W_d$  – dielektrični gubici u izolatoru oko vodiča, po jedinici dužine [ $W/m$ ];

$T_1$  - toplinski otpor izolacije po jedinici duljine (između vodiča i met. ekrana) [ $Km/W$ ];

$T_2$  - toplinski otpor po jedinici duljine između metalnog ekrana i armature [ $Km/W$ ];

$T_3$  - toplinski otpor sloja preko armature (vanjskog plašta) po jedinici duljine [ $Km/W$ ];

$T_4$  - toplinski otpor medija u koji je kabel položen po jedinici duljine [ $Km/W$ ];

$n$  - broj vodiča u kabelu;

$\lambda_1 = W_m/W_1$  - odnos gubitaka u metalnom ekrani prema ukupnim gubicima u svim vodičima kabela;

$\lambda_2 = W_a/W_1$  - odnos gubitaka u armaturi prema ukupnim gubicima u svim vodičima kabela.

Dozvoljeno strujno opterećenje AC kabela može se izvesti iz gornjeg izraza:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\Theta - W_d [0,5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)]}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)}}$$

Gdje je  $\Delta\Theta$  - najveći dozvoljeni porast temperature [K];

Napomena: Gornji izraz se ne može koristiti i za kabel u zraku ako je zaštićen od izravnog sunčevog svjetla.

$T_1$  - toplinski otpor izolacije po jedinici duljine (između vodiča i metalnog ekrana) [Km/W] jednožilnih kabela se računa prema izrazu:

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln\left(1 + \frac{2t_1}{d_c}\right)$$

gdje je:

$\rho_T$  – specifični toplinski otpor izolacije, za XLPE 3,5 [Km/W];

$d_c$  – promjer vodiča [mm];

$t_1$  – debljina izolacije između vodiča i metalnog ekrana [mm].

$T_2$  - toplinski otpor po jedinici duljine između metalnog ekrana i armature [Km/W] polimernih omotača se izračunava prema:

$$T_2 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln\left(1 + \frac{2t_2}{D_s}\right)$$

gdje je:

$\rho_T$  – specifični toplinski otpor izolacije, za PVC 5,0-6,0 [Km/W], PE 3,5 [Km/W];

$D_s$  – vanjski promjer metalnog ekrana [mm];

$t_2$  – debljina izolacije između metalnog ekrana i armature [mm].

$T_3$  - toplinski otpor sloja preko armature (vanjskog plašta) po jedinici duljine [Km/W] se izračunava prema:

$$T_3 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln\left(1 + \frac{2t_3}{D_a}\right)$$

gdje je:

$\rho_T$  – specifični toplinski otpor izolacije, za PVC 5,0-6,0 [Km/W], PE 3,5 [Km/W];

$D_a$  – promjer preko armature [mm];

$t_3$  – debljina vanjskog plašta [mm].

$T_4$  - toplinski otpor medija u koji je kabel položen po jedinici duljine [Km/W] se izračunava prema:

**Jedan kabel položen u tlo:** Vanjski toplinski otpor između površine jednog kabla i okolnog tla izračuna se prema:

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln\left(u + \sqrt{u^2 - 1}\right) \quad u = \frac{2L}{D_e}$$

gdje je:

$\rho_T$  – specifični toplinski otpor tla [Km/W];

$D_e$  – vanjski promjer kabala [mm];

$L$  – razmak osi kabala od površine tla [mm].

Ukoliko je vrijednost za  $u > 10$  može se vanjski toplinski otpor izračunati prema:

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln(2u)$$

**Tri kabela s približno jednakim gubicima, položeni u ravninu na jednakom razmaku:**

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \left\{ \ln\left(u + \sqrt{u^2 - 1}\right) + \ln\left[1 + \left(\frac{2L}{s_1}\right)^2\right] \right\} \quad u = \frac{2L}{D_e}$$

gdje je:

$\rho_T$  – specifični toplinski otpor tla [Km/W];

$D_e$  – vanjski promjer kabela [mm];

$L$  – razmak osi kabela od površine tla [mm];

$s_1$  – razmak osi dvaju susjednih kabela [mm].

**Tri jednožilna kabela s metalnim ekranom položena u trokut na dodir:**

$$T_4 = \frac{1,5}{\pi} \rho_T \cdot [\ln(2u) - 0,63]$$

## Referentni specifični toplinski otpor tla – preporuka

| Specifični toplinski otpor tla, [K. m/W] | Uvjeti tla  | Atmosferski uvjeti    |
|------------------------------------------|-------------|-----------------------|
| 0.7                                      | Vrlo vlažno | Stalno kiši           |
| 1.0                                      | Vlažno      | Normalno kiši         |
| 2.0                                      | Suhu        | Rijetko kiši          |
| 3.0                                      | Vrlo suho   | Slabo ili nikako kiši |

Primjer 7: Izračunati maksimalno strujno opterećenje kabela položenog u zemlju u konfiguraciji trokut na dodir i paralelno polaganje sa svijetlim razmakom 7 cm. Dubina polaganja je  $L=1000$  mm, temperatura okolnog tla  $20^{\circ}\text{C}$ , specifični toplinski otpor okolnog tla  $1 \text{ Km/W}$ . Metalni ekrani kabela su izravno uzemljeni s obje strane kabelskog voda.



Kable NA2XS(FL)2Y 1x1000/95 110 kV

Toplinski otpor  $T_1$ :

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln\left(1 + \frac{2t_1}{d_c}\right)$$

Toplinski otpor  $T_2$ : Ovaj kabel nema armaturu ali će se izračunati toplinski otpor između metalnog ekrana i laminiranog plašta.

$$T_2 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln\left(1 + \frac{2t_2}{D_s}\right)$$

Toplinski otpor  $T_3$ : Toplinski otpor vanjskog HDPE plašta.

$$T_3 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln\left(1 + \frac{2t_3}{D_a}\right)$$

Toplinski otpor  $T_4$ : Zemlja, trokut na dodir

$$T_4 = \frac{1,5}{\pi} \rho_T \cdot [\ln(2u) - 0,63] \quad u = \frac{2L}{D_e}$$

Toplinski otpor  $T_4$ : Zemlja, vodoravno polaganje, razmak 7 cm

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \left\{ \ln \left( u + \sqrt{u^2 - 1} \right) + \ln \left[ 1 + \left( \frac{2L}{s_1} \right)^2 \right] \right\}$$

Dozvoljeno strujno opterećenje AC kabela može se izvesti iz gornjeg izraza:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\Theta - W_d [0,5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)]}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)}}$$

Gdje je  $\Delta\Theta$  - najveći dozvoljeni porast temperature [K];

Napomena: Gornji izraz se ne može koristiti i za kabel u zraku ako je zaštićen od izravnog sunčevog svjetla.

Uzimajući u obzir efekt sunčeva zračenja na kabel položen u zraku, trajno strujno opterećenje se izračunava prema formuli za slučajeve AC kabela.

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\Theta - W_d [0,5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)] - \sigma \cdot D_e^* \cdot H \cdot T_4^*}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4^*)}}$$

Gdje je:  $\sigma$  – koeficijent apsorpcije sunčeva zračenja u površinu kabela (Tablica);  
 $H$  – intenzitet sunčeva zračenja [ $\text{W/m}^2$ ] (uzima se vrijednost  $10^3 \text{ W/m}^2$ ),  
 $T_4^*$  – vanjski toplinski otpor kabela u zraku [ $\text{Km/W}$ ],  
 $D_e^*$  – vanjski promjer kabela [m];

## Koeficijent apsorpcije za materijale vanjske zaštite kabela

| Materijal               | $\sigma$ |
|-------------------------|----------|
| Omotač od bitumena/jute | 0.8      |
| Polikloropen            | 0.8      |
| PVC                     | 0.6      |
| PE                      | 0.4      |
| Olovo                   | 0.6      |

## Korekcioni faktor za presjek metalnog ekrana jednožilnih kabela

Korekcioni faktor se primjenjuje za jednožilne kabele u vodoravnom i rasporedu u trokut a metalni ekran je uzemljen na oba kraja.

Korekcioni faktori se ne mogu primjenjivati za slučaj uzemljenja metalnog ekrana na jednom kraju ili preplitanja uzemljenja ekrana.

Table 5 45-66 kV 35 mm<sup>2</sup> screen

| Conductor mm <sup>2</sup> |      | Rating factor for tables 1 and 2 |      |      |      |      |      |  |
|---------------------------|------|----------------------------------|------|------|------|------|------|--|
| Al                        | Cu   | 35                               | 50   | 95   | 150  | 240  | 300  |  |
| 300                       |      | 1                                | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.95 |  |
| 500                       | 300  | 1                                | 0.99 | 0.97 | 0.95 | 0.93 | 0.93 |  |
| 800                       | 500  | 1                                | 0.99 | 0.96 | 0.93 | 0.90 | 0.90 |  |
| 1200                      | 630  | 1                                | 0.99 | 0.95 | 0.92 | 0.89 | 0.88 |  |
| 2000                      | 800  | 1                                | 0.98 | 0.94 | 0.91 | 0.87 | 0.86 |  |
|                           | 1200 | 1                                | 0.97 | 0.91 | 0.85 | 0.81 | 0.80 |  |
|                           | 2000 | 1                                | 0.96 | 0.88 | 0.82 | 0.77 | 0.76 |  |

Table 6 110-500 kV 95 mm<sup>2</sup> screen

| Conductor mm <sup>2</sup> |      | Rating factor for tables 3 and 4 |    |      |      |      |  |  |
|---------------------------|------|----------------------------------|----|------|------|------|--|--|
| Al                        | Cu   | 50                               | 95 | 150  | 240  | 300  |  |  |
| 300                       |      | 1.01                             | 1  | 0.99 | 0.98 | 0.97 |  |  |
| 500                       | 300  | 1.02                             | 1  | 0.98 | 0.96 | 0.96 |  |  |
| 800                       | 500  | 1.03                             | 1  | 0.97 | 0.94 | 0.94 |  |  |
| 1200                      | 630  | 1.04                             | 1  | 0.97 | 0.93 | 0.92 |  |  |
| 2000                      | 800  | 1.04                             | 1  | 0.96 | 0.92 | 0.91 |  |  |
|                           | 1200 | 1.07                             | 1  | 0.94 | 0.89 | 0.88 |  |  |
|                           | 2000 | 1.09                             | 1  | 0.93 | 0.87 | 0.86 |  |  |

1 mm<sup>2</sup> copper screen is equivalent to:

1.66 mm<sup>2</sup> aluminium sheath

12.40 mm<sup>2</sup> lead sheath

## Korekcioni faktor za polaganje u zemlje

Table 7

| Rating factor for laying depth |               |
|--------------------------------|---------------|
| Laying depth, m                | Rating factor |
| 0.50                           | 1.10          |
| 0.70                           | 1.05          |
| 0.90                           | 1.01          |
| 1.00                           | 1.00          |
| 1.20                           | 0.98          |
| 1.50                           | 0.95          |

Table 8

| Conductor temperature, °C | Ground temperature, °C |      |    |      |      |      |      |      |
|---------------------------|------------------------|------|----|------|------|------|------|------|
|                           | 10                     | 15   | 20 | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   |
| 90                        | 1.07                   | 1.04 | 1  | 0.96 | 0.93 | 0.89 | 0.84 | 0.80 |
| 65                        | 1.11                   | 1.05 | 1  | 0.94 | 0.88 | 0.82 | 0.74 | 0.66 |

Table 9

| Rating factor for ground thermal resistivity |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Thermal resistivity, Km/W                    | 0.7  | 1.0  | 1.2  | 1.5  | 2.0  | 2.5  | 3.0  |
| Rating factor                                | 1.14 | 1.00 | 0.93 | 0.84 | 0.74 | 0.67 | 0.61 |

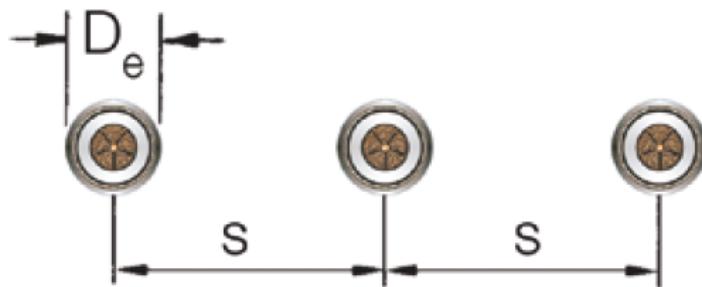
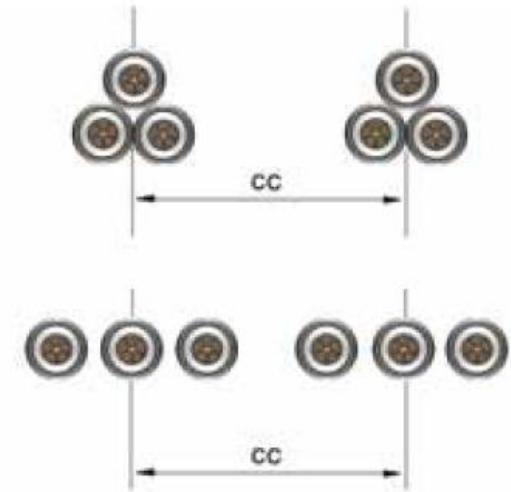


Table 10

| Spacing s, mm | Rating factor for phase spacing<br>One group in flat formation with cross-bonded or single-bonded screens |                    |      |      |      |      |               |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------|------|------|------|---------------|
|               | D <sub>e</sub>                                                                                            | D <sub>e</sub> +70 | 250  | 300  | 350  | 400  | Rating factor |
| <80           | 0.93                                                                                                      | 1.00               | 1.05 | 1.07 | 1.08 | 1.09 |               |
| 81-110        | 0.93                                                                                                      | 1.00               | 1.04 | 1.06 | 1.08 | 1.09 |               |
| 111-140       | 0.93                                                                                                      | 1.00               | 1.03 | 1.06 | 1.09 | 1.11 |               |

### Korekcioni faktor za grupe kabela položene u zemlju

| Distance<br>cc<br>between<br>groups,<br>mm | Rating factor for groups of cables in the ground |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                            | 1                                                | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| 100                                        | 1                                                | 0.78 | 0.66 | 0.60 | 0.55 | 0.52 | 0.49 | 0.47 | 0.45 |
| 200                                        | 1                                                | 0.81 | 0.70 | 0.65 | 0.61 | 0.58 | 0.55 | 0.54 | 0.52 |
| 400                                        | 1                                                | 0.86 | 0.76 | 0.72 | 0.68 | 0.66 | 0.64 | 0.63 | 0.61 |
| 600                                        | 1                                                | 0.89 | 0.80 | 0.77 | 0.74 | 0.72 | 0.70 | 0.69 | 0.69 |
| 800                                        | 1                                                | 0.91 | 0.83 | 0.81 | 0.78 | 0.77 | 0.75 | 0.75 | 0.74 |
| 2000                                       | 1                                                | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.91 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |



### Korekcioni faktor za kabela instalirane u zraku

| Rating factor for ambient air temperature |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |
|-------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| Air<br>temperature,<br>°C                 | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35  | 40   | 45   | 50   | 55   |
| Rating factor                             | 1.28 | 1.24 | 1.19 | 1.15 | 1.10 | 1.05 | 1.0 | 0.95 | 0.89 | 0.83 | 0.77 |

## Strujno opterećenje kabela

Primjer 8 - uporaba korekcionih faktora: Dvije trojke 110 kV kabela s Al vodičima 1000 mm<sup>2</sup> i ekranom 150 mm<sup>2</sup> su položene u zemlji u rasporedu trokut na dubinu 1,2 m. Metalni ekrani kabela su izravno uzemljeni s obje strane kabelskog voda. Razmak između trojki je 600 mm.

|                                             | Tablica        | Korekcioni faktor |
|---------------------------------------------|----------------|-------------------|
| Strujno opterećenje 820 A                   | na stranici 6  |                   |
| Presjek metalnog ekrana 150 mm <sup>2</sup> | na stranici 22 | 0,97              |
| Dubina polaganja 1,2 m                      | na stranici 23 | 0,98              |
| Temperatura zemlje 30 °C                    | na stranici 23 | 0,93              |
| Specifični toplinski otpor zemlje 1,5 Km/W  | na stranici 23 | 0,84              |
| Razmak između trojki 600 m                  | na stranici 24 | 0,89              |

$$I = 820 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 0,93 \cdot 0,84 \cdot 0,89 = 542 \text{ A}$$

Uporaba korekcionih faktora daje dobre općenite informacije za planirane kabelske vodove.

Kada je kabelski vod potpuno definiran, preporuka je provesti detaljni proračun u skladu s serijom normi IEC 60287.

XLPE kabeli mogu biti preopterećeni do 105 °C. Jedan takav događaj ne bi trebao imati značajan utjecaj na životni vijek kabela.

Broj i trajanje preopterećenja treba biti što je moguće manje.

Detalje o cikličkim opterećenjima kabela mogu se naći u slijedećem setu normi:

- IEC 60853-1:1985: 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 60853-2:1989: Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages
- IEC 60853-3:2002: Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables - Part 3: Cyclic rating factor for cables of all voltages, with partial drying of the soil

## Maksimalna struja kratkog spoja kabela uslijed termičkih ograničenja

Toplina razvijena za vrijeme kratkog spoja u kabelu određena je iznosom struje kratkog spoja i trajanjem.

Struje kratkog spoja za vodiče u katalozima izračunate su za graničnu dozvoljenu temperaturu vodiča koja za kabele sa XLPE izolacijom iznosi 250°C, a pretpostavljeno je da je temperatura vodiča u trenutku početka kratkog spoja 90°C.

Tablica 6: XHE 49; XH(A)E 49

| Presjek<br>vodiča i<br>ekrana | Otpor vodiča       |            | Otpor<br>ekrana<br>DC<br>20°C | Maks.<br>iznos<br>el.<br>polja | Kapa-<br>citet          | Induktivitet<br>trokut / 2D | Maksimalna struja<br>KS |       |
|-------------------------------|--------------------|------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------|
|                               | DC<br>20°C         | AC<br>80°C |                               |                                |                         |                             | Vodič                   | Ekran |
| mm <sup>2</sup>               | $\Omega/\text{km}$ |            | $\Omega/\text{km}$            | kV/mm                          | $\mu\text{F}/\text{km}$ | $\text{mH}/\text{km}$       | kA/1s                   |       |
| 1x150/95                      | 0,124              | 0,1586     | 0,215                         | 6,4                            | 0,11                    | 0,50/0,68                   | 21,45                   | 19,29 |
| 1x185/95                      | 0,0991             | 0,1272     | 0,215                         | 6,5                            | 0,12                    | 0,48/0,67                   | 26,5                    | 19,29 |
| 1x240/95                      | 0,0754             | 0,0972     | 0,215                         | 6,5                            | 0,14                    | 0,47/0,65                   | 34,3                    | 19,29 |
| 1x300/95                      | 0,0601             | 0,078      | 0,215                         | 6,5                            | 0,15                    | 0,44/0,62                   | 42,9                    | 19,29 |
| 1x400/95                      | 0,047              | 0,0618     | 0,215                         | 6,3                            | 0,17                    | 0,42/0,61                   | 57,2                    | 19,29 |
| 1x500/95                      | 0,0366             | 0,0492     | 0,215                         | 6,1                            | 0,18                    | 0,40/0,58                   | 71,5                    | 19,29 |
| 1x630/95                      | 0,0283             | 0,0393     | 0,215                         | 5,9                            | 0,2                     | 0,39/0,57                   | 90,1                    | 19,29 |
| 1x800/95                      | 0,0221             | 0,0323     | 0,215                         | 5,7                            | 0,22                    | 0,38/0,56                   | 114,5                   | 19,29 |

## Strujno opterećenje kabela

Tablica 7: XHE 49-A; XH(A)E 49-A

| Presjek vodiča i ekrana | Otpor vodiča |            | Otpor ekrana<br>DC<br>20°C | Maks. iznos el. polja | Kapacitet | Induktivitet trokut / 2D | Maksimalna struja KS |       |
|-------------------------|--------------|------------|----------------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|----------------------|-------|
|                         | DC<br>20°C   | AC<br>80°C |                            |                       |           |                          | Vodič                | Ekran |
| mm <sup>2</sup>         | Ω/km         |            | Ω/km                       | kV/mm                 | μF/km     | mH/km                    | kA/1s                |       |
| 1x150/95                | 0,206        | 0,2644     | 0,215                      | 6,4                   | 0,11      | 0,50/0,68                | 14,2                 | 19,29 |
| 1x185/95                | 0,164        | 0,2105     | 0,215                      | 6,5                   | 0,12      | 0,48/0,67                | 17,5                 | 19,29 |
| 1x240/95                | 0,125        | 0,1607     | 0,215                      | 6,5                   | 0,14      | 0,47/0,65                | 22,7                 | 19,29 |
| 1x300/95                | 0,100        | 0,1289     | 0,215                      | 6,5                   | 0,15      | 0,44/0,62                | 28,4                 | 19,29 |
| 1x400/95                | 0,0778       | 0,101      | 0,215                      | 6,3                   | 0,17      | 0,42/0,61                | 37,8                 | 19,29 |
| 1x500/95                | 0,0605       | 0,0794     | 0,215                      | 6,1                   | 0,18      | 0,40/0,58                | 47,3                 | 19,29 |
| 1x630/95                | 0,0469       | 0,0624     | 0,215                      | 5,9                   | 0,2       | 0,39/0,57                | 59,5                 | 19,29 |
| 1x800/95                | 0,0367       | 0,0501     | 0,215                      | 5,7                   | 0,21      | 0,38/0,56                | 75,6                 | 19,29 |
| 1x1000/95               | 0,0291       | 0,412      | 0,215                      | 5,6                   | 0,23      | 0,36/0,55                | 94,5                 | 19,29 |
| 1x1200/95               | 0,0247       | 0,0362     | 0,215                      | 5,4                   | 0,26      | 0,35/0,54                | 113,4                | 19,29 |

Prikazane su vrijednosti struje kratkog spoja u trajanju 1 s.

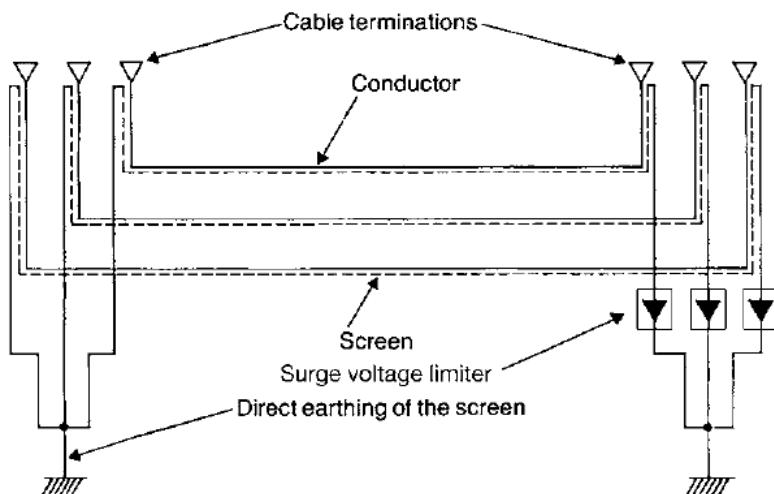
Struje kratkog spoja za električnu zaštitu (ekran) izračunate su za najvišu dozvoljenu temperaturu bakrenih žica 350 °C, uz prepostavljenu temperaturu u početku kratkog spoja 70 °C. Određivanje struja kratkog spoja različitog trajanja određuje se na isti način kao i za struje vodiča.

Za određivanje struja kratkog spoja različitog trajanja potrebno je navedenu vrijednost korigirati (formula vrijedi za trajanje kratkog spoja 0,2-5 sekundi).

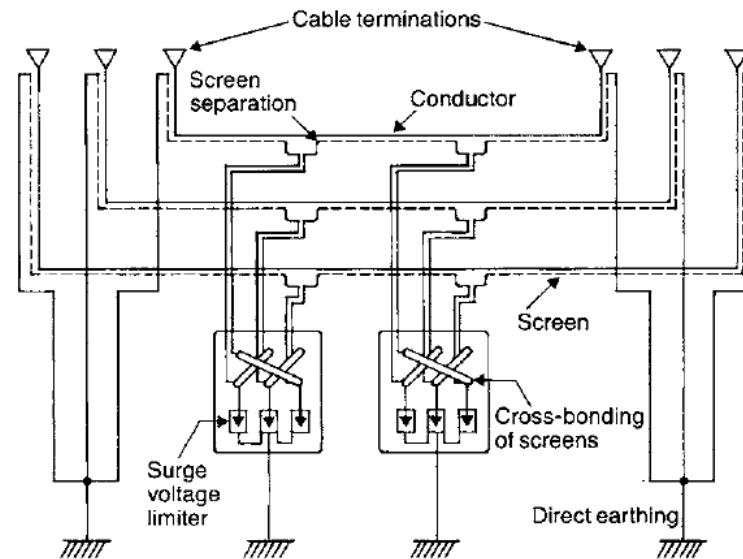
$$I_{ks} = \frac{I_1}{\sqrt{t_{ks}}}$$

Gdje je:  $I_{ks}$  struja kratkog spoja [kA] u trajanju  $t_{ks}$ ;  
 $I_1$  struja kratkog spoja [kA] u trajanju 1 sekunda;  
 $t_{ks}$  strajanje kratkog spoja [s];

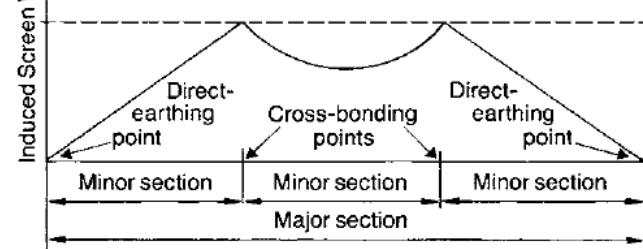
## Izbor odvodnika prenapona za zaštitu metalnog ekrana kabela



Metalni ecran uzemljen na jednom kraju



For simplicity, the cables are drawn here as non-transposed.  
Better balance is achieved if the cables are transposed.



Metalni ecran prepletен (cross-bonding)

Ekrani jednožilnih kabela u VN sustavima se u uzemljuje samo na jednom kraju ili se ekrani poprečno povezuju (prepliću).

Ova praksa se sve više koristi i u SN sustavima kako bi se izbjegli dodatni gubici u ekranu kabela.

Ako je ekran kabela neuzemljen na jednom kraju, može poprimiti do 50% dolaznog prenapona faznog vodiča na neuzemljenom kraju. Izolacija ekrana nije dovoljna za ovakvo prenaponsko naprezanje. Može nastati preskok između ekrana kabela i zemlje što bi oštetilo vanjsku izolaciju ekrana. Zbog toga je potrebno štititi ekran kabela odvodnikom prenapona na neuzemljenom kraju.

Visina induciranih naponi duž kabelskog ekrana u slučaju kratkog spoja je odlučujuća za izbor trajnog radnog napona  $U_c$  odvodnika prenapona. Inducirani naponi ovisi o načinu instalacije kabela i može dosegnuti najviše iznos od **0,3 kV po kA struje kratkog spoja i kilometru duljine kabela**.

Tri jednožilna VN kabela s metalnim ekranom položena u trokut [H/km]:

$$L_M = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln\left(\frac{2a}{d_m}\right)$$

Gdje je:  $a$  razmak između osi kabela [mm];

$d_m$  promjer metalnog ekrana kabela [mm].

Tri jednožilna VN kabela s metalnim ekranom položena u ravnini [H/km]:

$$L_M = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot \sqrt[3]{2} \cdot a}{d_m}\right)$$

Međuinduktivitet (jezgra – metalni ekrani) [ $\Omega/\text{km}$ ]:

$$X_M = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_M$$

Inducirani napon metalnog ekrana VN kabela [V/km]:

$$U_i = X_M \cdot I$$

Gdje je:  $I$  struja koja teče kabelom [A].

Primjer izračuna.

## Izbor odvodnika prenapona za zaštitu metalnog ekrana kabela

Trajni radni napon odvodnika prenapona, koji štiti neuzemljeni ekran kabela, treba biti izabran sukladno izrazu:

$$U_C \geq \frac{U_i}{T} \cdot I_k \cdot L_k$$

Gdje je:

$I_k$  – Maksimalna 50 Hz struja kratkog spoja po fazi [kA];

$L_k$  – Duljine neuzemljene sekcije ekrana kabela [km];

$U_i$  – Inducirani napon duž ekrana kabela [kV/km·kA];

$T$  – otpornost odvodnika prenapona u odnosu na privremene prenapone, prema TOV krivulji.

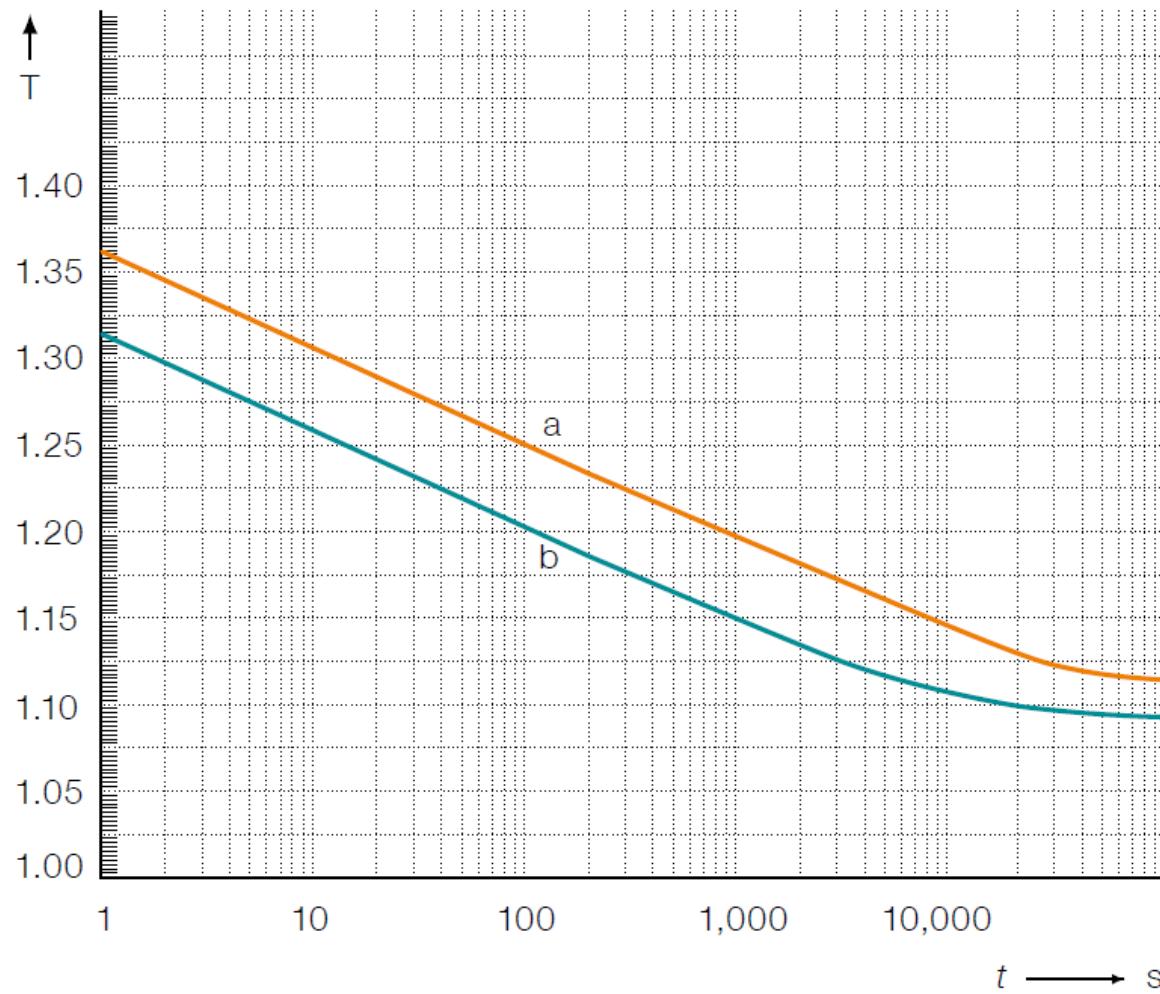
Uz  $U_i=0,3$  kV i  $T=1,28$  (za maks. vrijeme trajanja struje kratkog spoja  $t=3$  s) rezultat je:

$$U_C \geq 0,24 \cdot I_k \cdot L_k$$

Za zaštitu kabela u SN mrežama a također za zaštitu ekrana kabela, preporučuju se MO odvodnici prenapona s klasom odvođenja voda najmanje 2.

Za zaštitu ekrana VN kabele preporuka je instalacija MO odvodnika prenapona s istom nazivnom strujom odvođenja  $I_n$  za zaštitu ekrana kabela kao i za zaštitu glavane izolacije kabela.

## Strujno opterećenje kabela



Otpornost ( $T=U_{TOV}/U_c$ ) jednog MO odvodnika prenapona na privremene prenapone u ovisnosti o vremenu  $t$

Prof. dr. sc. Ivica Pavić  
Izv. prof. dr. sc. Viktor Milardić

# Nadzemni vodovi i kabeli

---

Zavod za visoki napon i energetiku

Ak. god.: 2014/2015

- Zašto dolazi do prijelaza nadzemni vod – kabel?

- Primjer 1:

Na lokaciji TS Konavle bit će izgrađena transformatorska stanica 35/220 kV namijenjena za potrebe vjetroelektrane (117 MVA). Za priključak TS 35/220 kV Konavle na 220 kV mrežu HOPS-a izgradit će se dalekovod 220 kV te kratki priključni 220 kV kabel do TS 220/110/35/10(20) kV Plat.

Jednosistemski priključni dalekovod DV 220 kV Plat–Konavle duljine 7,66 km izradit će se na čelično rešetkastim stupovima oblika glave jela i s vodičima Al/Č 360/57mm<sup>2</sup>.

Spoj od prijelaznog stupa 220 kV dalekovoda do 220 kV postrojenja TS 220/110/35/10(20) kV Plat, u duljini cca. 200 m, izvest će se VN kabelom.

Koristit će se VN kabel 3x1x630/95 mm<sup>2</sup> Cu, nazivnog napona 127/220 kV. Ovaj kabel je namijenjen za najviši napon mreže 245 kV a podnosivi atmosferski udarni napon glavne izolacije kabela je 1050 kV. Vodič je iz Cu, okrugli, kompaktirani presjeka 630 mm<sup>2</sup> i promjera 30 mm. Glavna izolacija je umreženi polietilen (XLPE). Metalni ekran je iz Cu žica ukupnog presjeka 95 mm<sup>2</sup>.

## Prijelaz nadzemni vod - kabel

### - Primjer 2:

Na lokaciji TS Jarun planirana je zamjena postojećeg vanjskog 110 kV rasklopног postrojenja novim izoliranim plinom SF<sub>6</sub>.

Potrebno je izgraditi kabelski priključak dalekovoda 110 kV Rakitje – Jarun i Botinec – Jarun.

### - Primjer 3:

Na lokaciji TS 220/110/35 kV Pehlin zamijenjeno je vanjsko 110 kV rasklopno postrojenje novim izoliranim plinom SF<sub>6</sub>.

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Plinom SF<sub>6</sub> izolirano 110 kV rasklopno postrojenje u TS Pehlin

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Plinom SF<sub>6</sub> izolirano 110 kV raskloplno postrojenje u TS Pehlin

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Plinom SF<sub>6</sub> izolirano 110 kV rasklopno postrojenje u TS Pehlin – detalj spoja ekrana kabela na oklop postrojenja i uzemljivač

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Plinom SF<sub>6</sub> izolirano 110 kV rasklopno postrojenje u TS Pehlin – kabelski hodnik u podrumu

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Plinom SF<sub>6</sub> izolirano 110 kV rasklopno postrojenje u TS Pehlin – kabelski prostor u podrumu

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Plinom SF<sub>6</sub> izolirano 110 kV rasklopno postrojenje u TS Pehlin – kabelski prostor u podrumu

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



TS Pehlin – prijelaz nadzemnih 110 kV dalekovoda u kabel (kabelski završeci i odvodnici prenapona)

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



TS Pehlin – 110 kV kabelski spoj na transformatore (kabelski završeci i odvodnici prenapona)

- Primjer 4:

U Pločama je izgrađena nova TS 110/10(20) kV Ploče. Rasklopno postrojenje 110 kV je oklopljeno izolirano plinom SF<sub>6</sub>. Rasklopno postrojenje 20 kV je izolirano zrakom.

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Plinom SF<sub>6</sub> izolirano 110 kV rasklopno postrojenje u TS Ploče

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Plinom  $SF_6$  izolirano 110 kV  
rasklopno postrojenje u TS Ploče

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Zrakom izolirano 20 kV rasklopno postrojenje u TS Ploče

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



TS Ploče – kabelski prostor 110 kV u podrumu

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



TS Ploče – kabelski prostor 20 kV u podrumu

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Konektorski priključak 20 kV kabela na transformator u TS Ploče

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Konektorski priključak 20 kV kabela na transformator u TS Ploče

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



TS Ploče – 110 kV kabelski spoj na transformator (kabelski završeci i odvodnici prenapona)

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



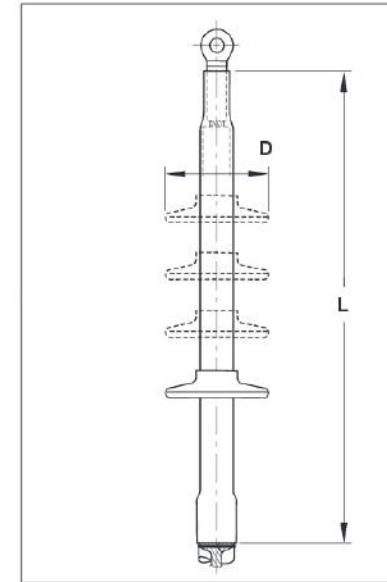
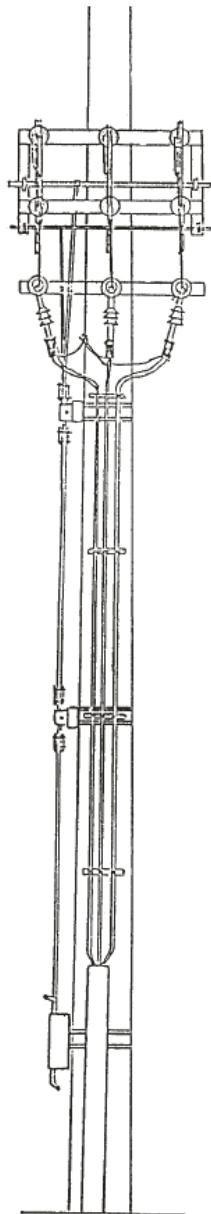
TS Ploče – Odvodnik prenapona kod transformatora (štiti transformator i kabelski završetak)

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



TS Ploče – prijelaz nadzemnih 110 kV dalekovoda u kabel (kabelski završeci i odvodnici prenapona)

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Završeci za 1-žilne ekranizirane  
kabele 10 kV, 20 kV i 35 kV

Odcjepni stup 10(20) kV  
dalekovoda s rastavljačem

## Prijelaz nadzemni vod - kabel

- Na prijelazu dalekovoda u kabel dolazi do promjene valne impedancije.
- Promjena valne impedancije znači mjesto loma i refleksije prenaponskih valova.
- Na mjestu prijelaza dalekovoda u kabel potrebno je instalirati odvodnike prenapona (u svaku fazu po jedan).
- Pri instalaciji odvodnika prenapona iznimno je važno spojeve između odvodnika prenapona i kabelskog završetka izvesti što je moguće kraće te vodičima malog podužnog induktiviteta (traka ili dva vodiča položena paralelno). Ovo se odnosi i na spojne vodove na strani napona i na spoj podnožja odvodnika prenapona i ekrana kabela.
- Otpor rasprostiranja stupa na kojemu su instalirani odvodnici prenapona treba učiniti što nižim, izvedbom kvalitetnog uzemljivača i spojem sa susjednim uzemljivačima.

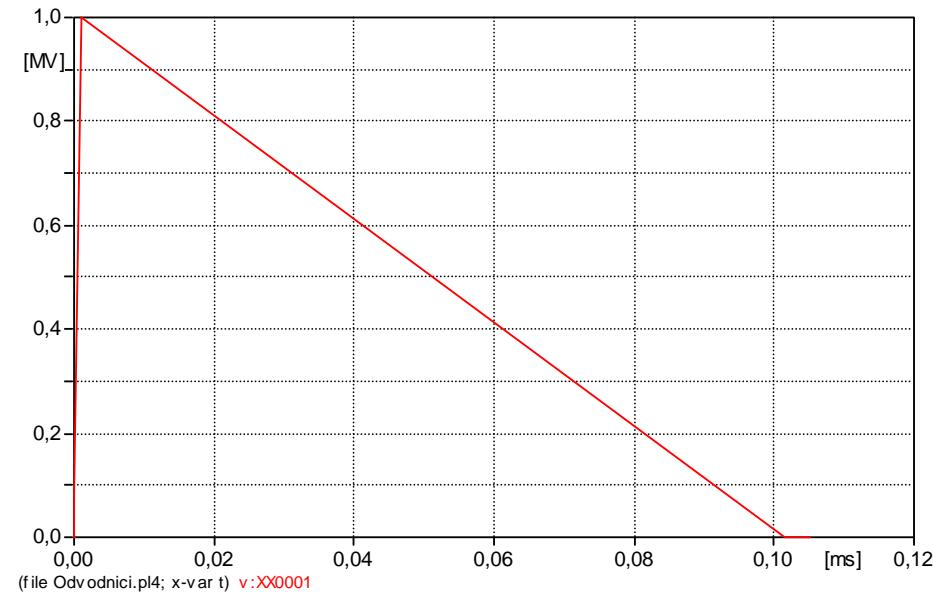
Za simulaciju atmosferskih prenapona na 220 kV kabelu napravljen je jednofazni model u ATP-u.

Modeliran je VN kabel u duljini 200 m valnom impedancijom  $36,4 \Omega$  te nadzemni vod u duljini 1000 m valnom impedancijom  $390 \Omega$ .

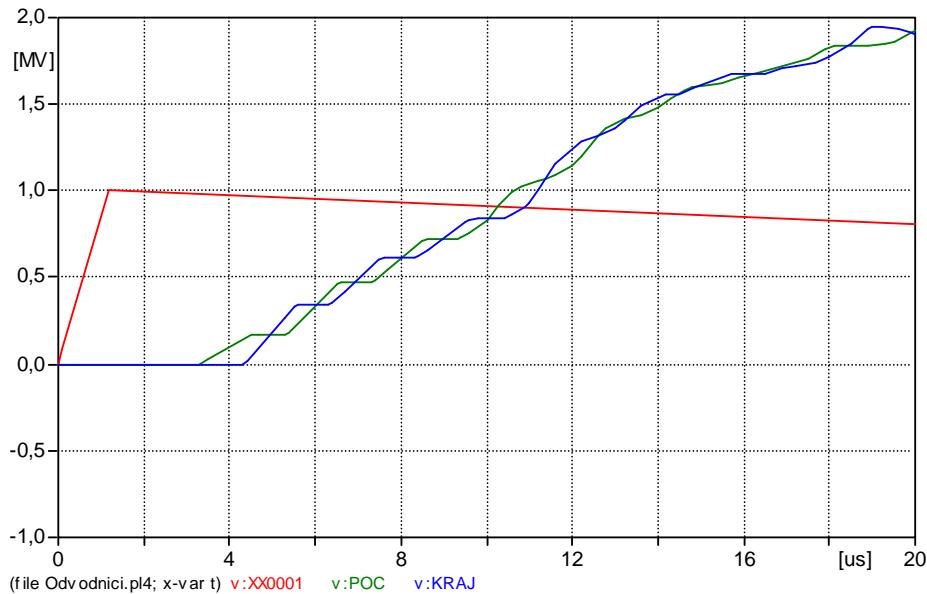
VN kabel je na drugom kraju otvoren, što predstavlja najteži slučaj za prenaponsku zaštitu.

Na slici je prenaponski val amplitude 1000 kV koji stiže faznim vodičem dalekovoda na mjesto prijelaza u kabel.

S obzirom na stupanj izolacije dalekovoda 245 Si 460/1050 prenaponski valovi ovakve amplitude su mogući na 220 kV dalekovodu (neće nastupiti preskok preko izolatorskog lanca).

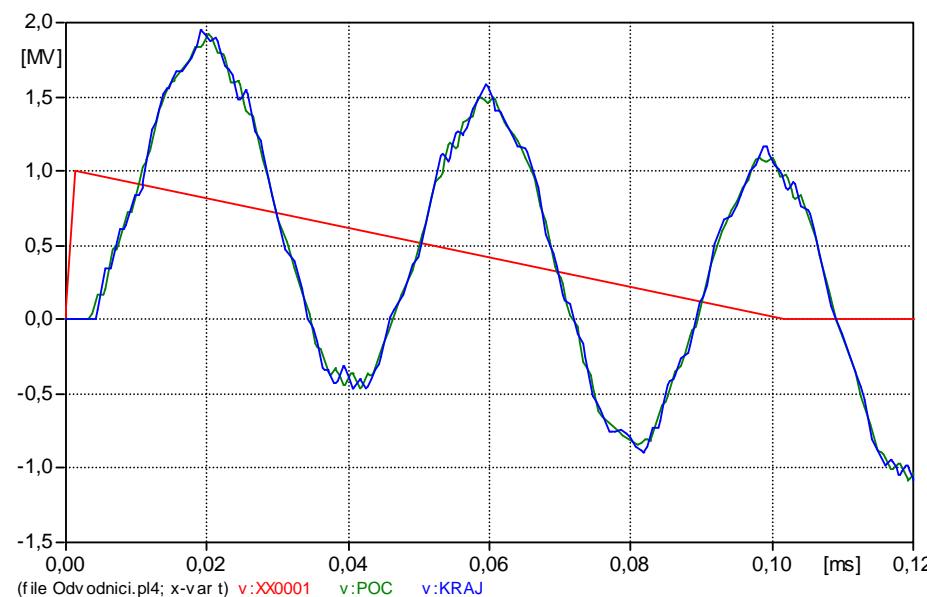


## Prijelaz nadzemni vod - kabel



### Prikaz prvih 20 $\mu$ s

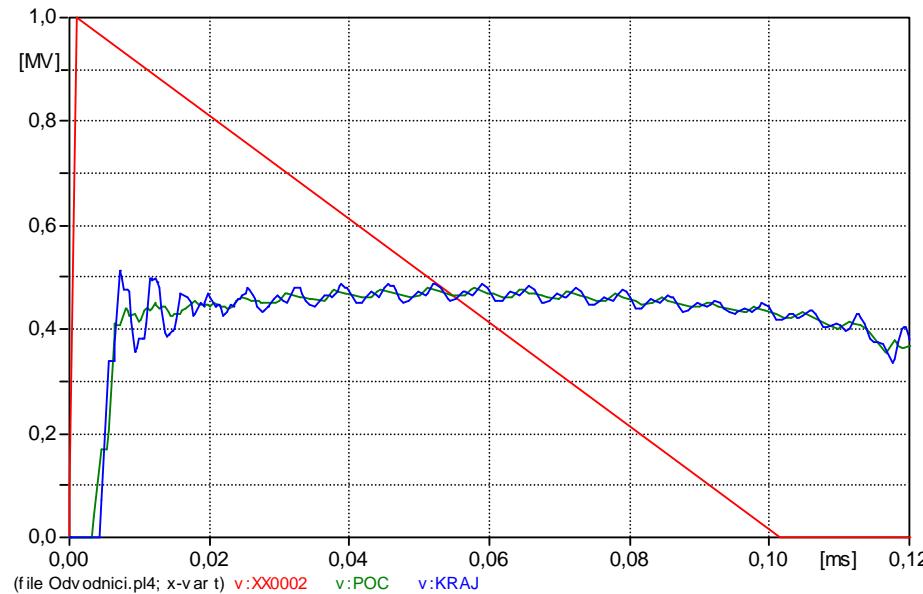
U prvih nekoliko  $\mu$ s prenapon na mjestu prijelaza je niži od 1000 kV. Kapacitet kabela se postupno puni (višestrukim refleksijama) te napon na mjestu prijelaza raste preko 1000 kV i doseže 1894 kV a na otvorenom kraju kabela 1951 kV.



### Prikaz 120 $\mu$ s

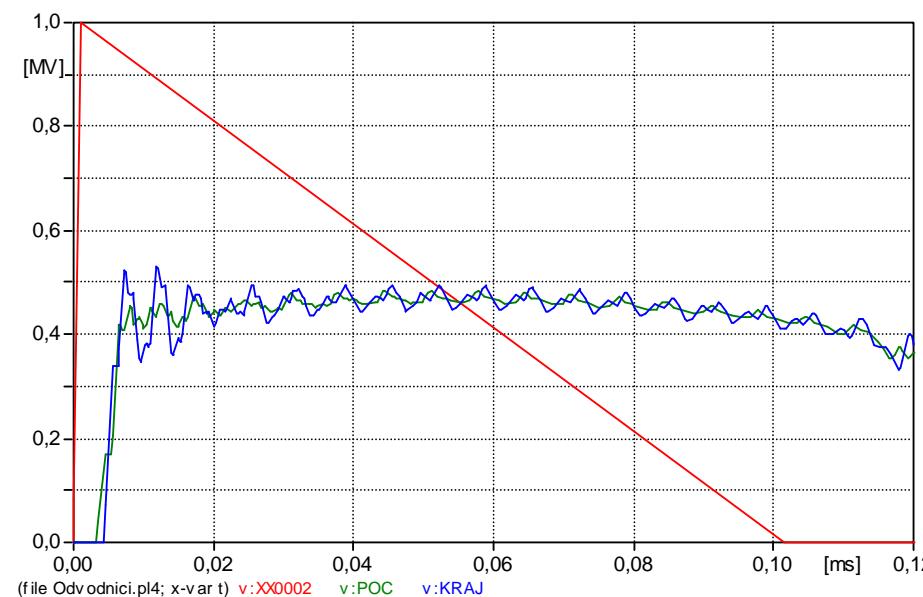
Napon i na početku i na kraju 220 kV kabela prelazi 1050 kV i sigurno bi došlo do oštećenja kabela.

## Prijelaz nadzemni vod - kabel



Odvodnik prenapona PEXLIM Q192-XH245 modeliran je svojom I-U karakteristikom.

Spojni vodovi odvodnika prenapona su modelirani induktivitetom  $2 \mu\text{H}$  (duljina spojnih vodova 2 m)



Spojni vodovi odvodnika prenapona su modelirani induktivitetom  $5 \mu\text{H}$  (duljina spojnih vodova 5 m)

Prof. dr. sc. Ivica Pavić  
Izv. prof. dr. sc. Viktor Milardić

# Nadzemni vodovi i kabeli

---

Zavod za visoki napon i energetiku

Ak. god.: 2014/2015

## Polaganje kabela

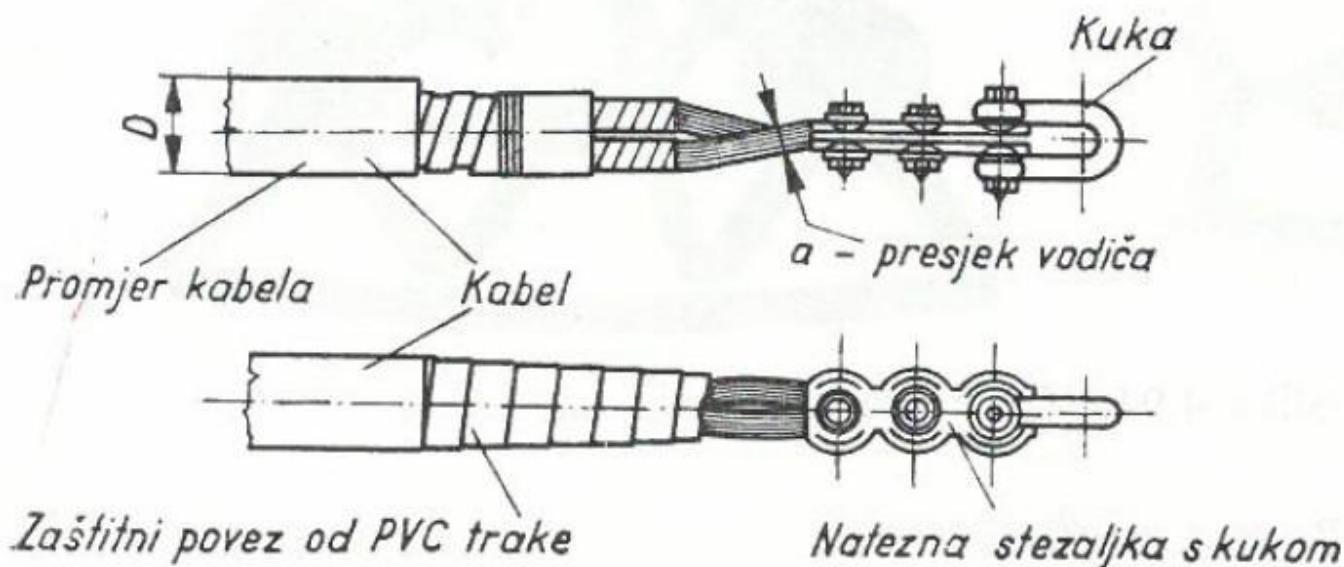
Tablica 1: IZMJERE XHE 49

| Presjek vodiča i el. zaštite | Promjer vodiča | Debljina izolacije | Promjer preko izolacije | Promjer kabela cca. | Masa kabela cca. | Min. polumjer savijanja pri polaganju | Maksimalna sila povlačenja |
|------------------------------|----------------|--------------------|-------------------------|---------------------|------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| mm <sup>2</sup>              | mm             | mm                 | mm                      | mm                  | kg/km            | m                                     | kN                         |
| 1x150/95                     | 14,1           | 18                 | 54,5                    | 71,6                | 5490             | 1,43                                  | 7,5                        |
| 1x185/95                     | 15,7           | 17                 | 53,4                    | 70,4                | 5640             | 1,41                                  | 9,2                        |
| 1x240/95                     | 18             | 16                 | 53,7                    | 71                  | 6130             | 1,42                                  | 12                         |
| 1x300/95                     | 20             | 15                 | 53,6                    | 70,9                | 6600             | 1,42                                  | 15                         |
| 1x400/95                     | 23,8           | 15                 | 57,3                    | 74                  | 7600             | 1,48                                  | 20                         |
| 1x500/95                     | 26,7           | 15                 | 60,3                    | 77,9                | 8840             | 1,56                                  | 25                         |
| 1x630/95                     | 30,3           | 15                 | 65                      | 82,7                | 10430            | 1,65                                  | 31,5                       |
| 1x800/95                     | 34,6           | 15                 | 69,4                    | 87,5                | 12280            | 1,75                                  | 40                         |

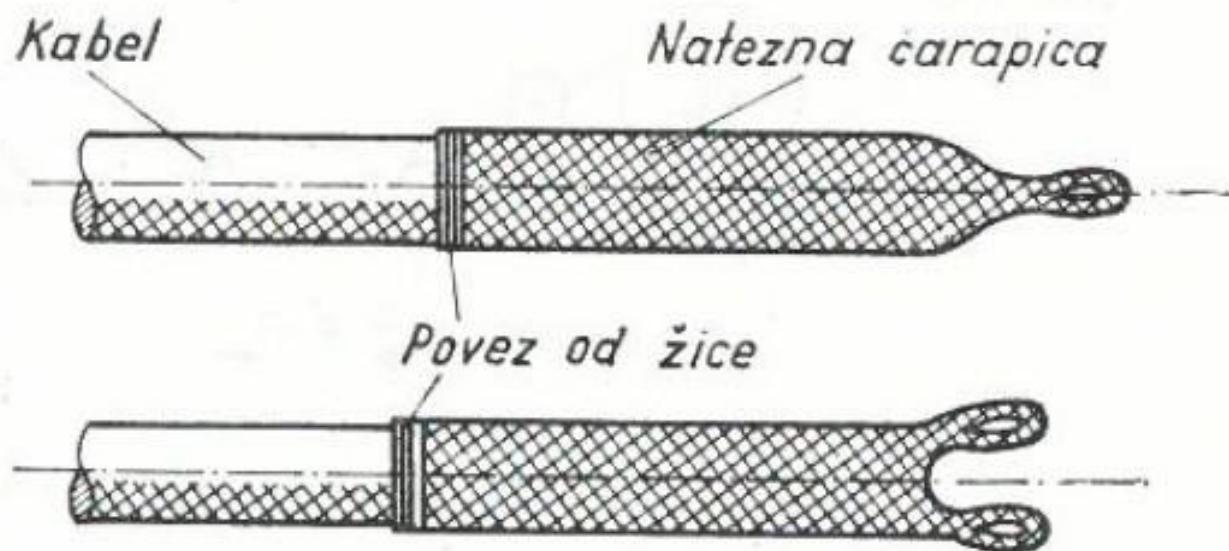
Tablica 2: IZMJERE XHE 49-A

| Presjek vodiča i el. zaštite | Promjer vodiča | Debljina izolacije | Promjer preko izolacije | Promjer kabela cca. | Masa kabela cca. | Min. polumjer savijanja pri polaganju | Maksimalna sila povlačenja |
|------------------------------|----------------|--------------------|-------------------------|---------------------|------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| mm <sup>2</sup>              | mm             | mm                 | mm                      | mm                  | kg/km            | m                                     | kN                         |
| 1x150/95                     | 14,1           | 18                 | 54,5                    | 71,6                | 4610             | 1,43                                  | 4,5                        |
| 1x185/95                     | 15,7           | 17                 | 53,4                    | 70,4                | 4550             | 1,41                                  | 5,5                        |
| 1x240/95                     | 18             | 16                 | 53,7                    | 71                  | 4640             | 1,42                                  | 7,2                        |
| 1x300/95                     | 20             | 15                 | 53,6                    | 70,9                | 4750             | 1,42                                  | 9                          |
| 1x400/95                     | 23,8           | 15                 | 57,3                    | 74                  | 5030             | 1,48                                  | 12                         |
| 1x500/95                     | 26,7           | 15                 | 60,3                    | 77,9                | 5650             | 1,56                                  | 15                         |
| 1x630/95                     | 29,5           | 15                 | 64,3                    | 82                  | 6420             | 1,64                                  | 18,9                       |
| 1x800/95                     | 33             | 15                 | 67,7                    | 85,7                | 7150             | 1,71                                  | 24                         |
| 1x1000/95                    | 38             | 15                 | 72,8                    | 91,7                | 8130             | 1,83                                  | 30                         |
| 1x1200/95                    | 41             | 15                 | 76                      | 94,8                | 8960             | 1,9                                   | 36                         |

## Polaganje kabela

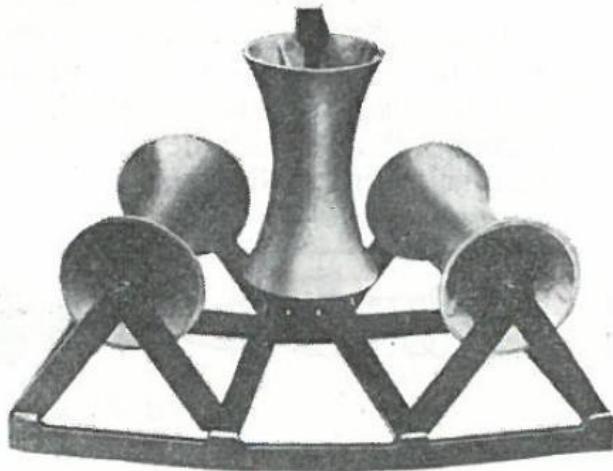
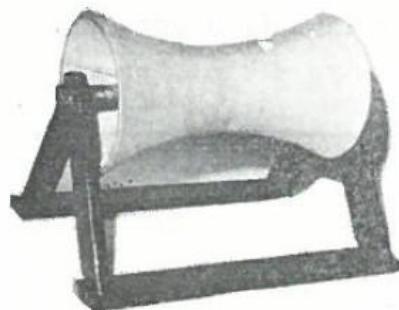


Natezne  
stezaljke na  
vodičima



Natezne  
čarapice

## Polaganje kabela



Koturi za polaganje kabela

Bubanj s kabelom

Dinamometar

Vitlo sa pomoćnim užetom

Kočnica

Kabel

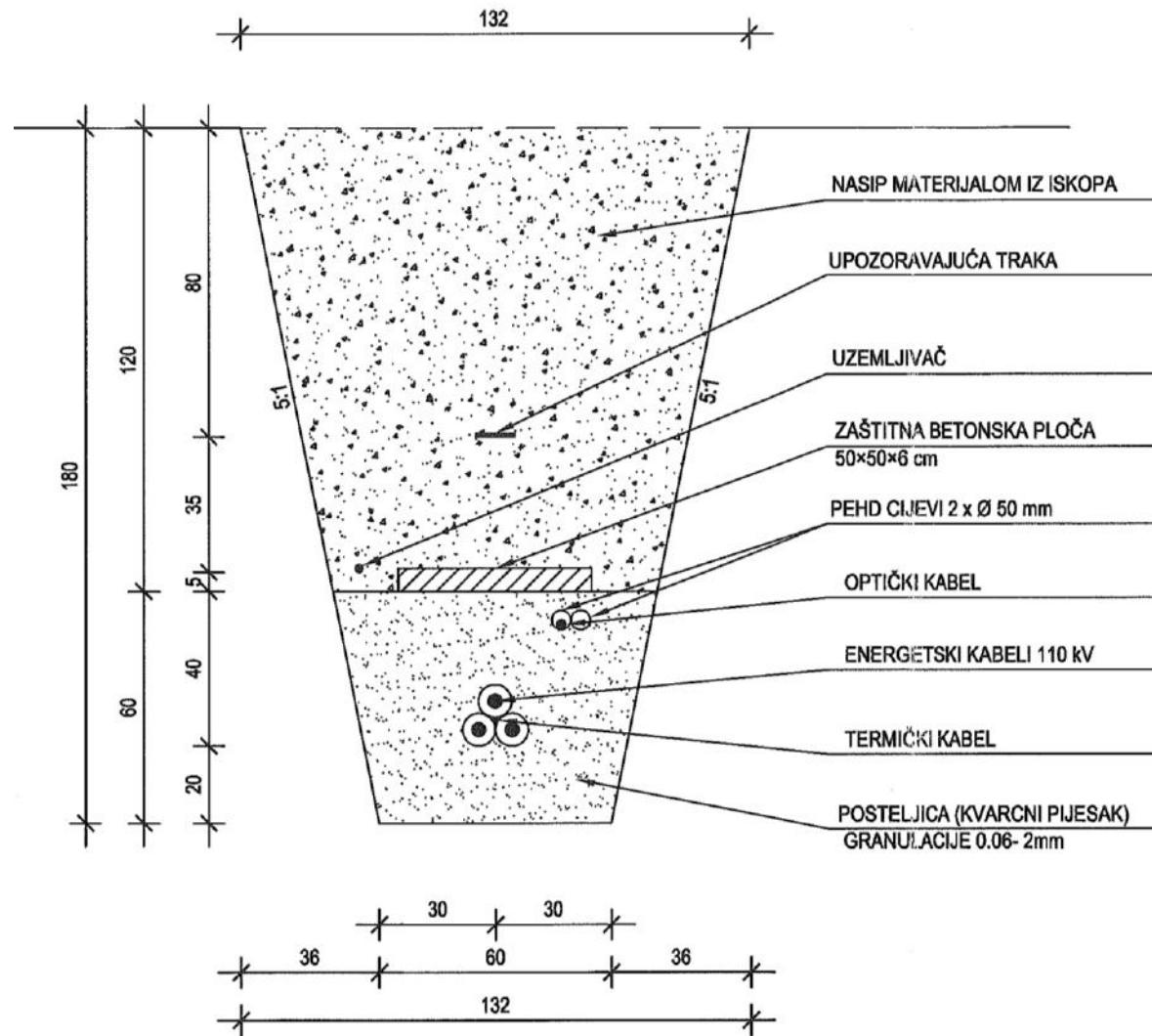
Natezna stezaljka ili natezna čarapica

4-6 m

Valjci za polaganje kabela

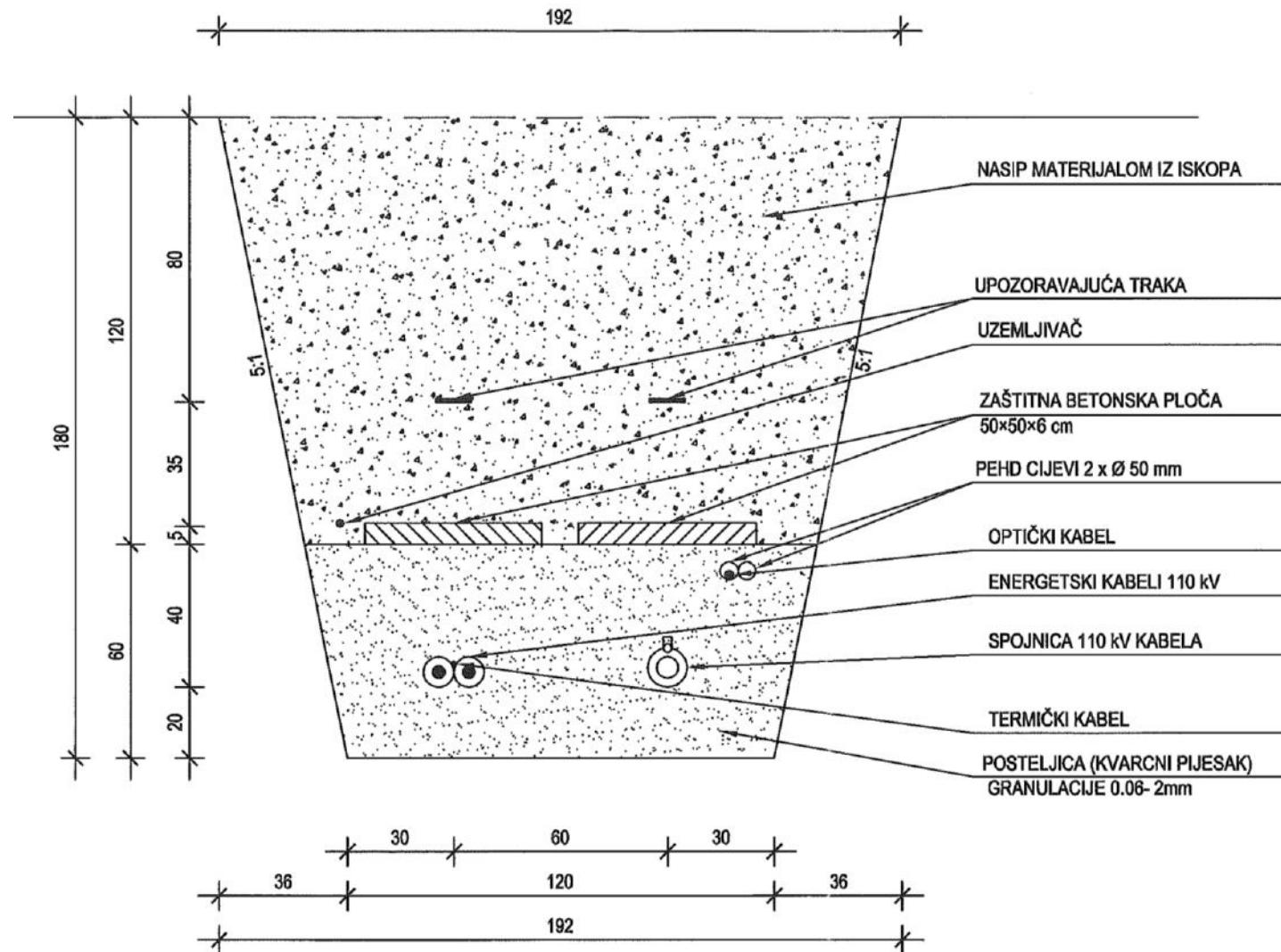
Polaganje kabela pomoću čeličnog užeta

## Polaganje kabela



Presjek kabelskog kanala na mjestu vođenja kabela izvan prometnice (110 kV)

## Polaganje kabela

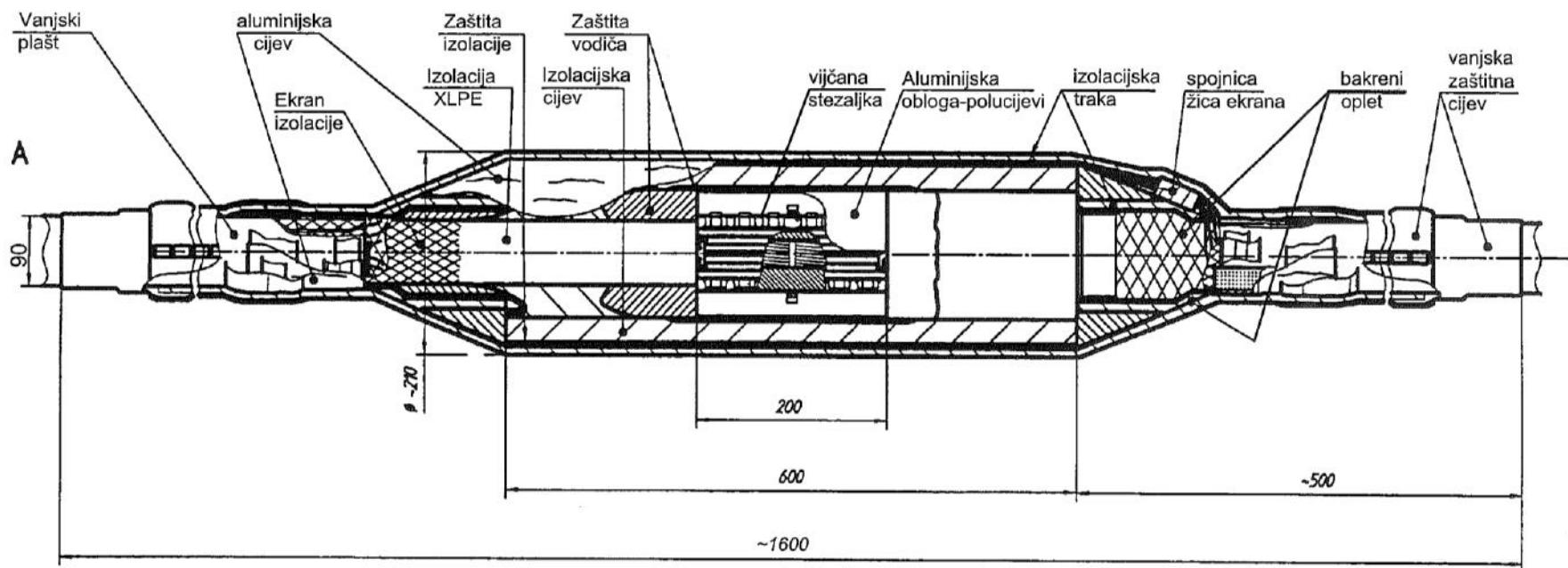


Presjek kabelskog kanala na mjestu kabelskih spojnica (110 kV)

## Polaganje kabela

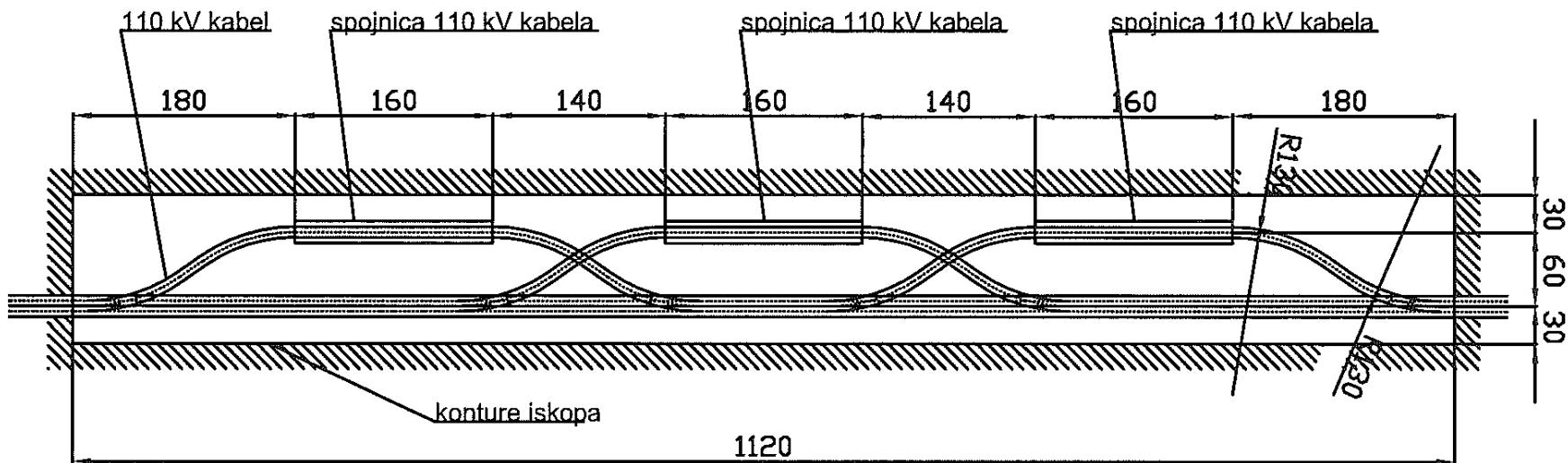


Priprema 110 kV kabela za spajanje



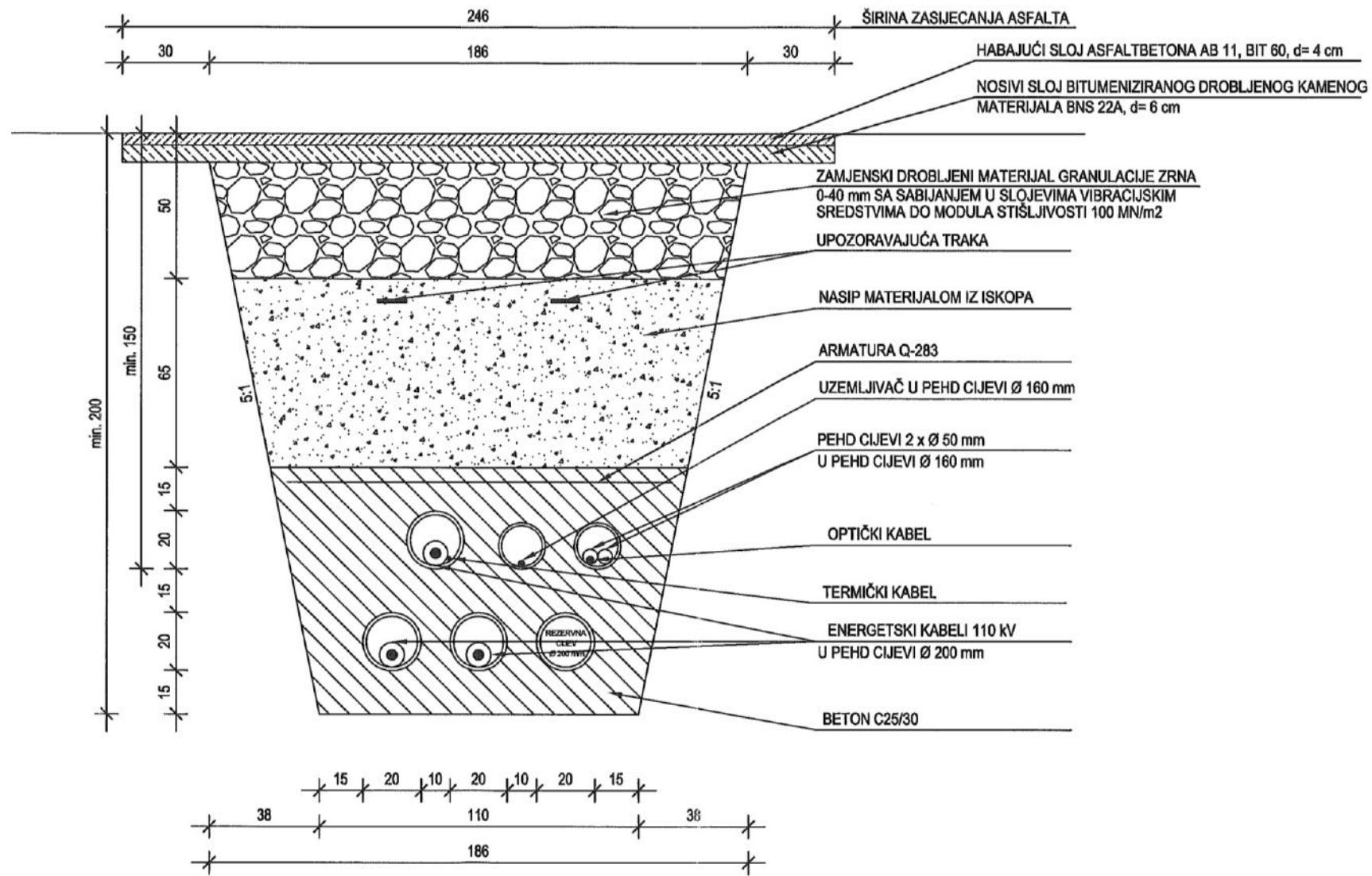
Skica kabelske spojnice za 110 kV kabel

## Polaganje kabela



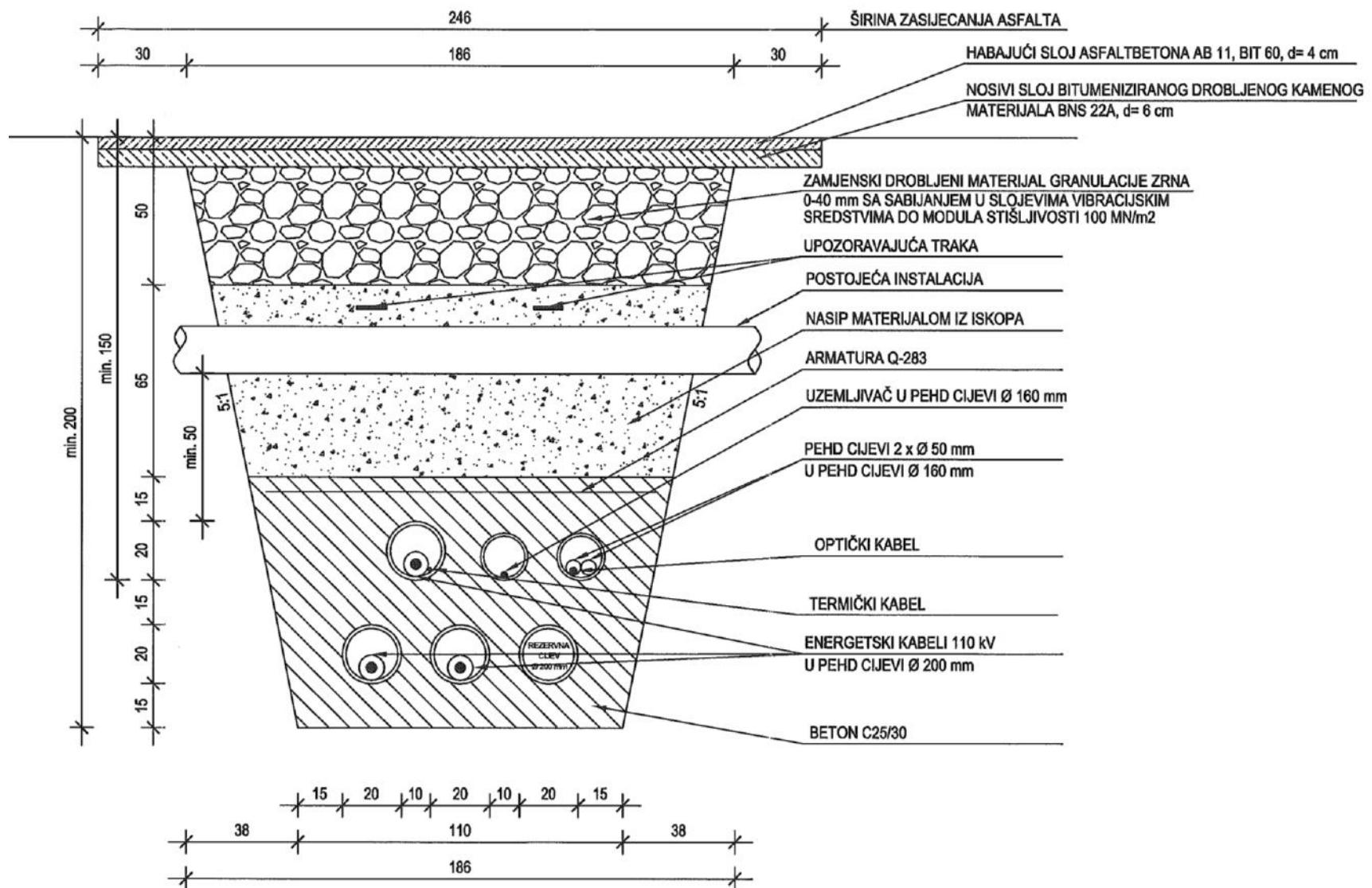
Tlocrt kabelskog rova na mjestu spojnice (110 kV kabel)

## Polaganje kabela



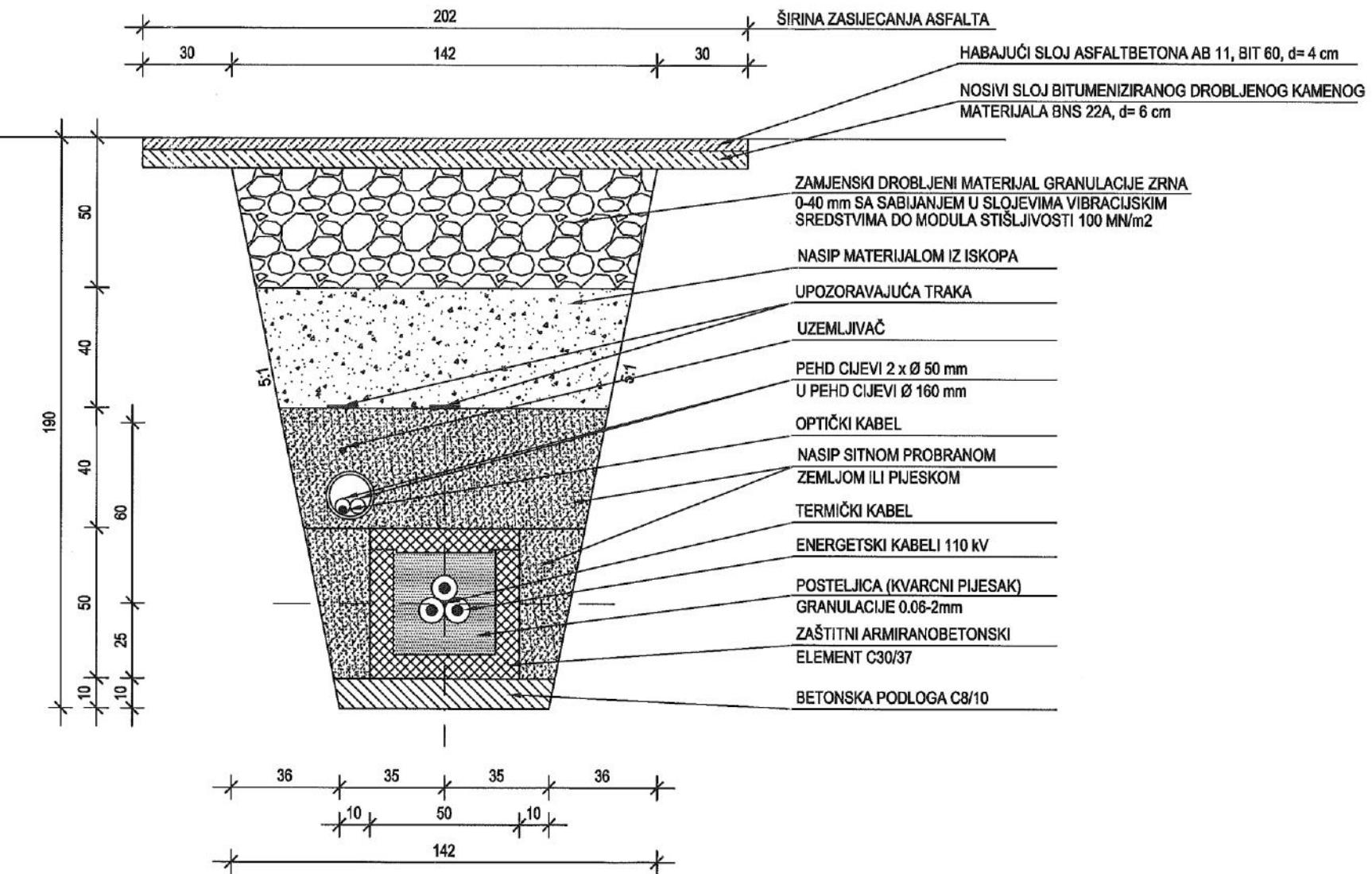
Presjek kabelskog kanala na mjestu križanja s prometnicom (110 kV)

## Polaganje kabela



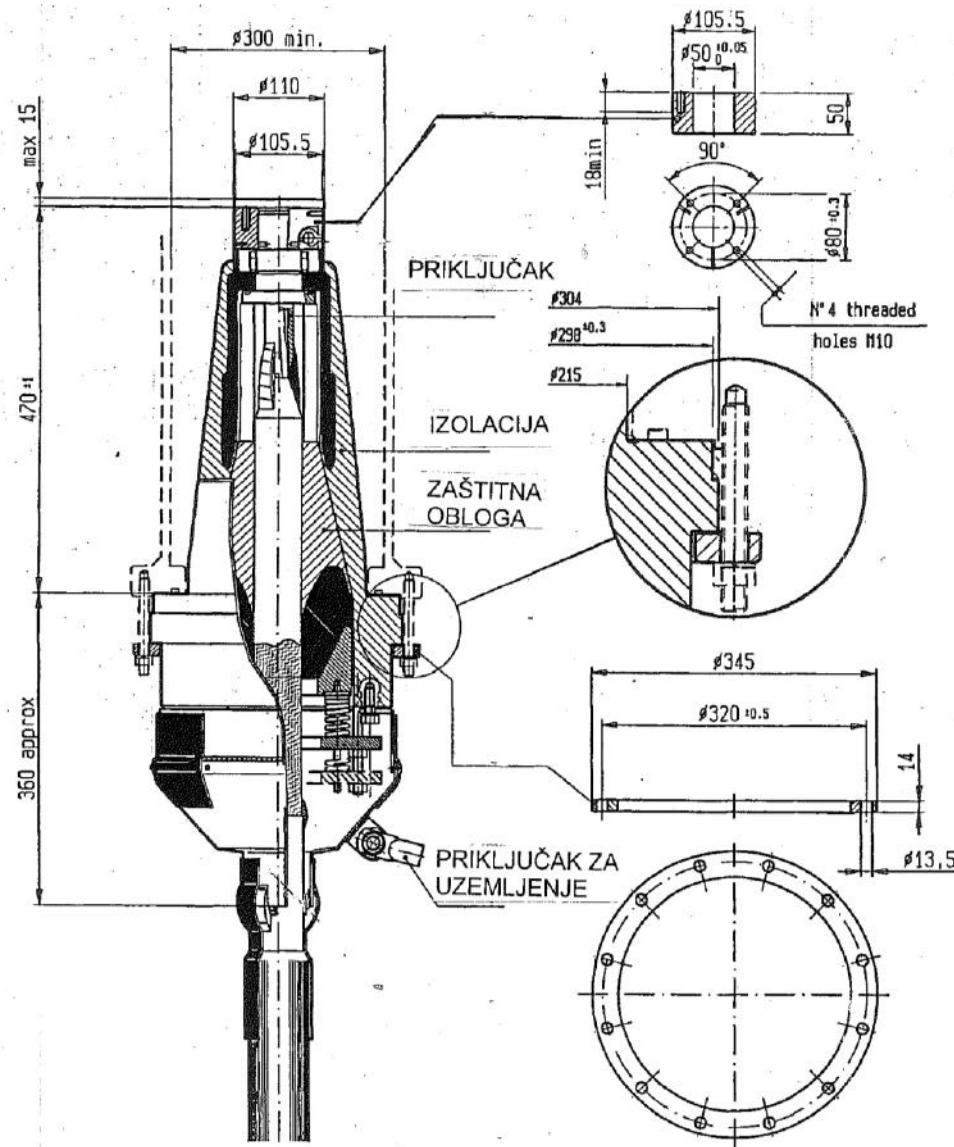
Presjek kabelskog kanala na mjestu križanja s drugim instalacijama (110 kV)

## Polaganje kabela



Presjek kabelskog kanala u trupu prometnice (110 kV)

## Polaganje kabela



Kabelski završetak za plinom izolirano postrojenje,  $U_m=170 \text{ kV}$

## Polaganje kabela

ZAVRŠNI SLOJ IZRADITI  
PREMA PRVOBITNOM STANJU  
BNS 22

PVC TRAKE UPOZORENJA

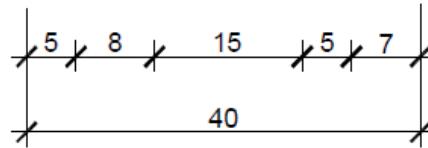
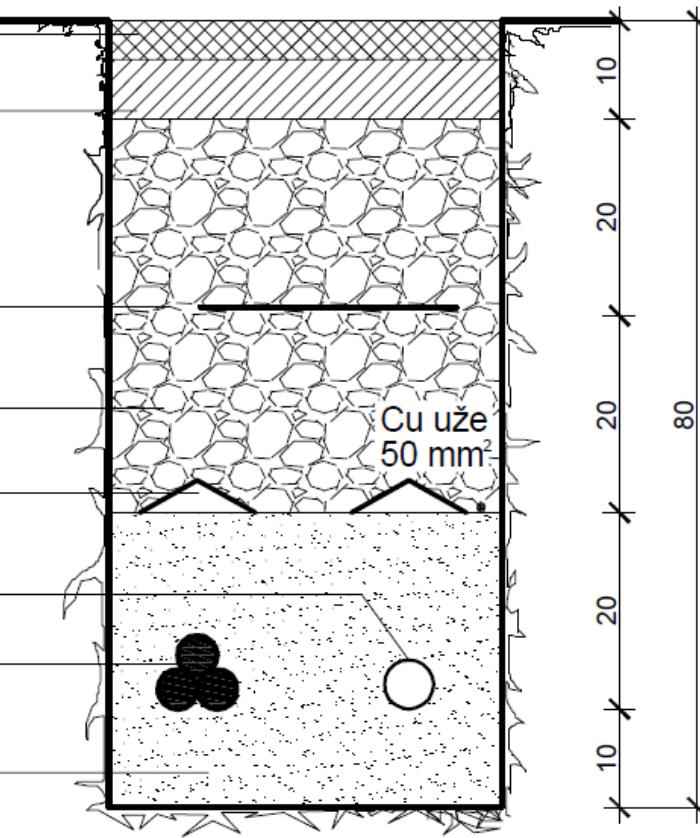
TAMPON

GAL ŠТИТНИЦИ

PEHD CIJEVI Ø 50 mm

KABELI 10(20) kV

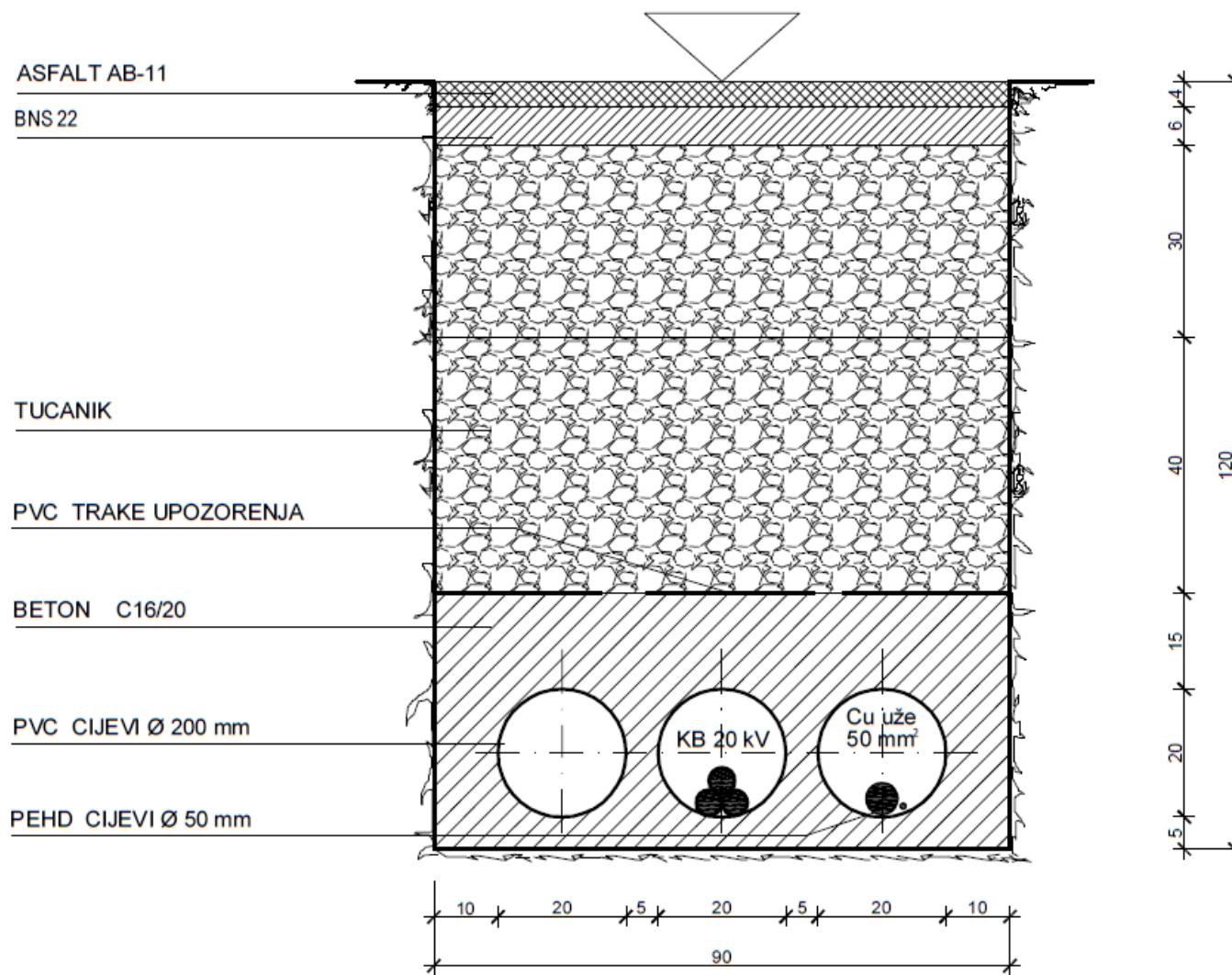
NULA



Kabelski kanal u asfaltnom putu 10(20) kV

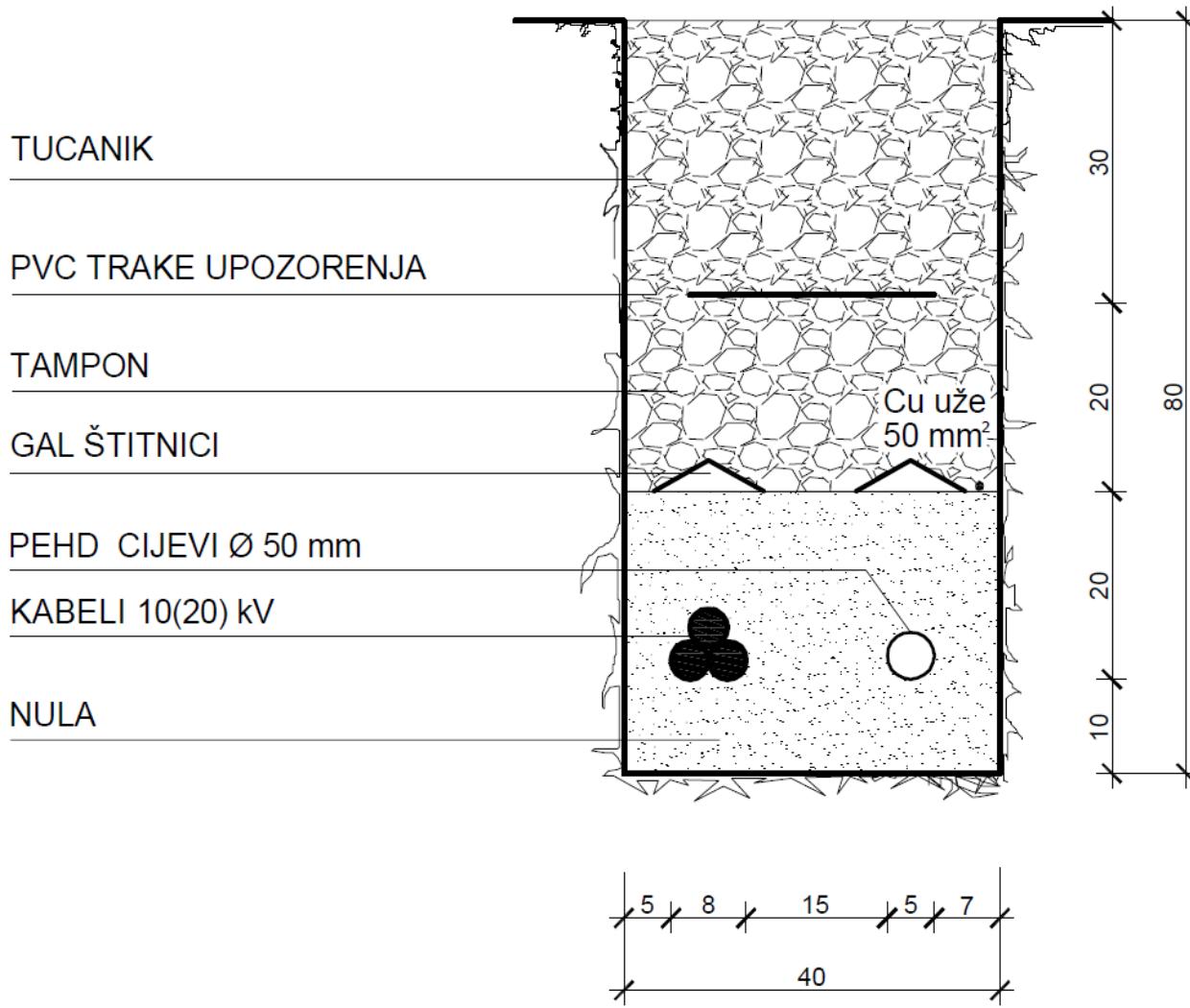
## Polaganje kabela

Kota terena



Kabelski kanal pri prijelazu županijske ceste 10 (20) kV

## Polaganje kabela



Kabelski kanal u makadamskom putu 10(20) kV

## Polaganje kabela

ZAVRŠNI SLOJ IZRADITI  
PREMA PRVOBITNOM STANJU  
(materijal iskopa)

PVC TRAKE UPOZORENJA

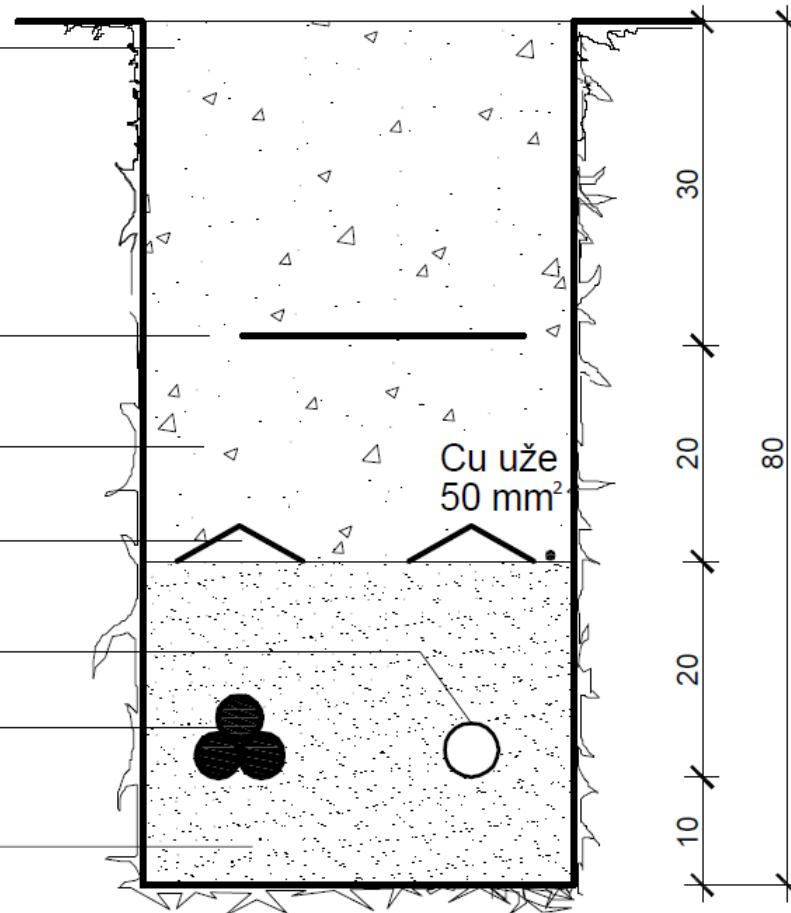
TAMPON

GAL ŠТИТНИЦИ

PEHD CIJEVI Ø 50 mm

KABELI 10(20) kV

NULA



Kabelski kanal u zemljanom terenu 10(20) kV