

## Elektroenergetskega omrežja in naprave

### Kabelski vodi

Boštjan Blažič

*bostjan.blazic@fe.uni-lj.si*  
*leon.fe.uni-lj.si*



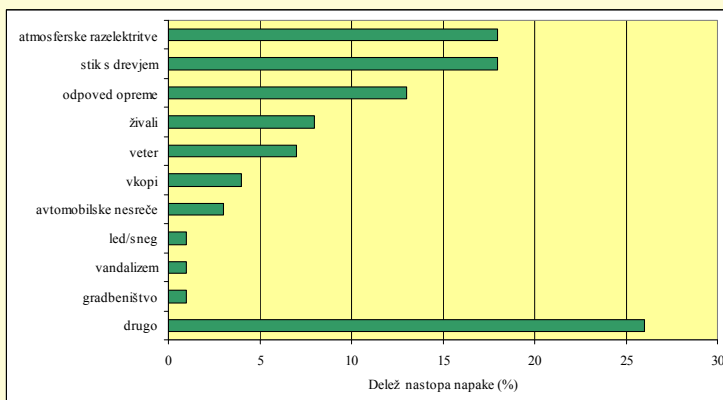
2011/12

## Napake in okvare v distribucijskih omrežjih

### □ Kakovost oskrbe z električno energijo

- Komercialna kakovost
- Kakovost električne energije
- Nprekinjenost dobave

*Delež vzrokov prekinitev*



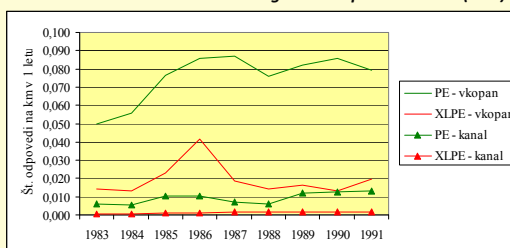
## Napake in okvare v distribucijskih omrežjih

- ❑ Okvare v kablskem omrežju
  - ❑ Okvar manj kot v nadzemnem omrežju
  - ❑ Okvare navadno vodijo v trajne izpade (ni APV-ja!)
  - ❑ Dolgi časi popravil

Povprečno število odpovedi (Elektro Ljubljana)

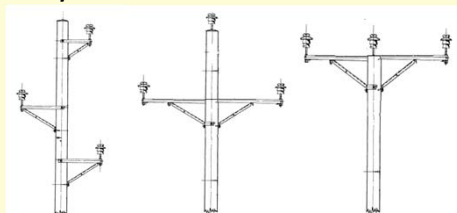
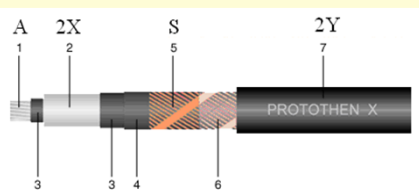
	Nadzemno omrežje	Kabelsko omrežje
Povprečna dolžina tras v letih od 2003 do 2006	1519 km	3930 km
Skupno število odpovedi	2028	419
Vsota pogostosti trajnih in kratkotrajnih odpovedi (št. odpovedi/leto/km)	0,33	0,027

Pogostost odpovedi kablov (ZDA)



## Primerjava kablov in nadzemnih vodov

- ❑ Kabel NA2XS2Y (70, 150 mm<sup>2</sup>), vod Al/Fe 70/12 mm<sup>2</sup>



Plasti uporabljene v kابلu so:

1. Al prevodnik,
2. XLPE izolacija (2X),
3. polprevodna plast,
4. polprevodniški trak (vodna blokada),
5. bakreni zaslon,
6. ločilna plast,
7. zunanja PE plast.

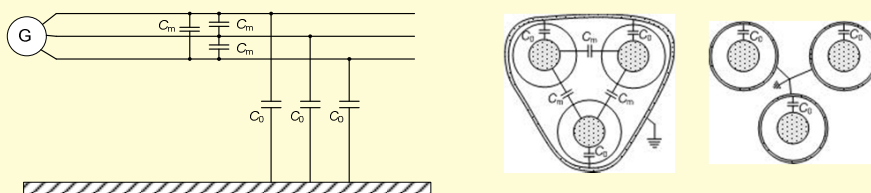
Električni parametri

	Vrv Al/Fe *	Kabel NA2XS2Y**	
	ACSR	70	150
$S_{Al}$ (mm <sup>2</sup> )	70/12	70	150
$R'_{20°C}$ (Ω/km)	0,41	0,44	0,21
$X'$ (Ω/km)	0,35	0,132 Ø 0,220	0,116 Ø 0,198
$C'$ (μF/km)	0,009	0,20	0,24
$R'_0$ (Ω/km)	0,56	1,30	0,85
$X'_0$ (Ω/km)	1,22	0,55	0,30
$C'_0$ (μF/km)	0,004	0,20	0,24
$R'/X'$	1,18	0,00 3,3 Ø 2,0	0,00 1,8 Ø 1,1

## Primerjava kablov in nadzemnih vodov

### □ Kapacitivnosti

- Kapacitivnost vodov deluje kot kapacitivno breme, ki v primeru induktivnih bremen kompenzira jalovo



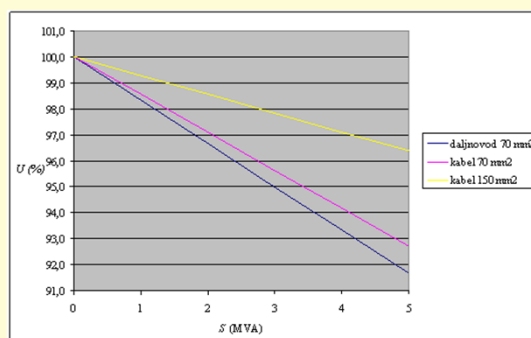
#### Polnilni tok

	Vrv Al/Fe	Kabel NA2XS2Y	
$S$ (mm <sup>2</sup> )	70	70	150
$I_p$ (A/km)	0,033	0,770	0,903

## Primerjava kablov in nadzemnih vodov

### □ Padci napetosti (brez upoštevanja kapacitivnosti)

$$\Delta \underline{U} = \frac{PR' + QX'}{|U_n|} \cdot l + j \frac{PX' - QR'}{|U_n|} \cdot l$$



## Primerjava kablov in nadzemnih vodov

### □ Obremenljivost

- Pogojena z najvišjo dopustno temperaturo obratovanja

#### Vodi

Material	Dopustna temperatura obratovanja (°C)	Dovoljena temperatura v KS (°C)
ACSR (klasična izvedba)	90	180
TACSR	150	260
ZTACIR	210	280
XTACIR	230	360

#### Kabli

Izolacijski material	Dovoljena temperatura obratovanja (°C)	Dovoljena kratkostična temperatura (°C)
PE	70	150
XLPE EPR	90	250
PVC		
-do 300 mm <sup>2</sup>	70	160
-do 400 mm <sup>2</sup>	70	140

## Primerjava kablov in nadzemnih vodov

### □ Obremenljivost

- Pri kabljih se pogosto uporablja nižja maksimalna temperatura, npr. 65 °C
- Uporaba korekcijskih faktorjev

S (mm <sup>2</sup> )	T	Nadzemni vod Al/Fe					Kabel NA2XS2Y (enožilni)				
		35/6	70/12	95/15	120/20	150/25	70	95	120	150	240
		<i>I</i> <sub>max</sub> (A)									
v zraku	35 °C	170	290	350	410	470	245	305	350	395	520
v zemlji	20 °C						215	260	295	325	420

### □ Ekvivalentni kabli

- Vod Al/Fe 35/6: Al kabel 70 mm<sup>2</sup>, obremenljivost 126 %
- Vod Al/Fe 70/12: Al kabel 150 mm<sup>2</sup>, obremenljivost 112 %, ali 240 mm<sup>2</sup>

### □ Življenjska doba kablov

- 40 let

## Primerjava kablov in nadzemnih vodov

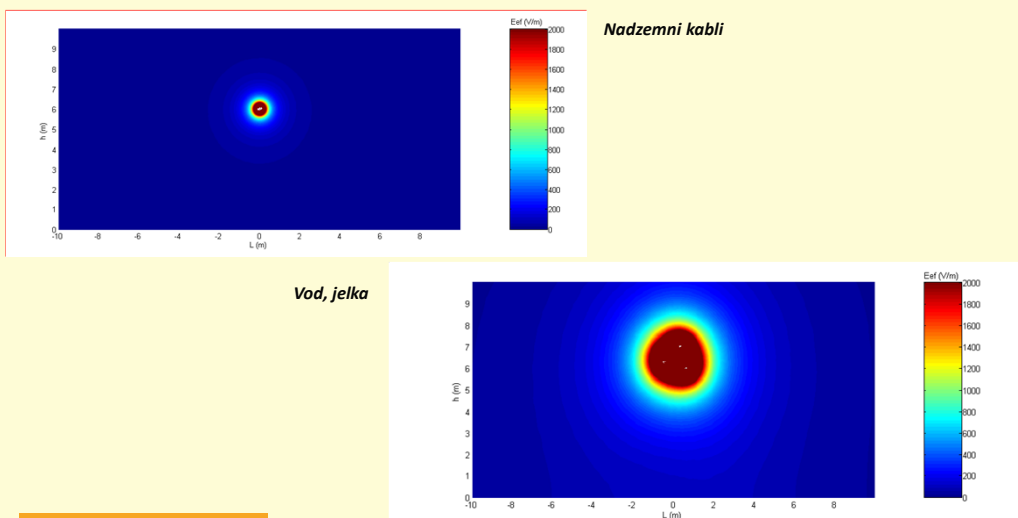
- Kapacitivna komponenta zemeljskostičnih tokov
  - Kapacitivna komponenta določena z dozemno kapacitivnostjo

*Kapacitivna komponenta zemeljskostičnega toka*

$S$ (mm <sup>2</sup> )	Nadzemni vod (Al/Fe)		Kabel (NA2XS2Y)			
	35/6	70/12	70	150	240	300
$I_{kap}$ (A/km)	0,05	0,05	2,4	3,1	3,7	4,0

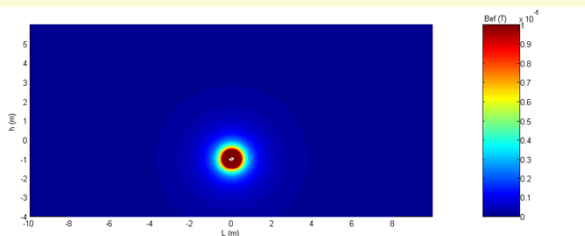
## Primerjava kablov in nadzemnih vodov

- Efektivna vrednost električne poljske jakosti
  - Kablov brez ekrana (pri ekraniziranih je polje znotraj ekrana)



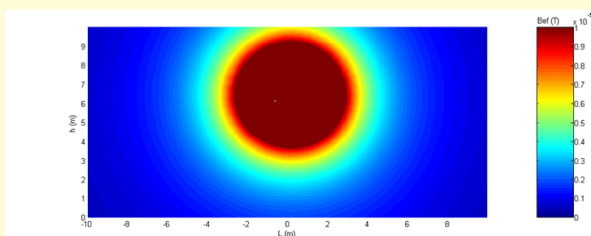
## Primerjava kablov in nadzemnih vodov

- Efektivna vrednost gostote magnetnega pretoka
  - Vod Al/Fe 70/12, Al kabel 150 mm<sup>2</sup>



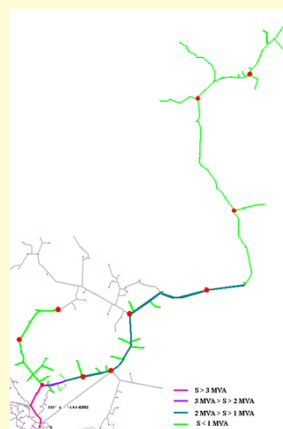
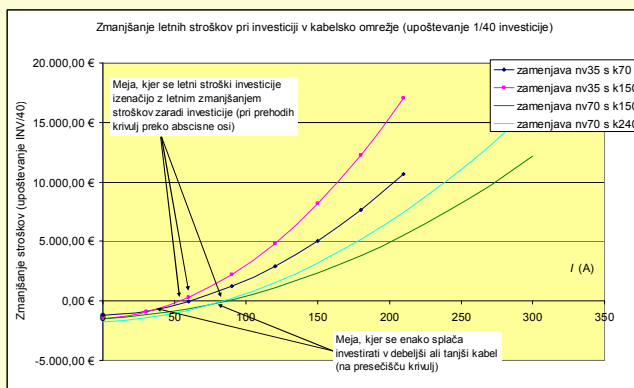
Kabli

Vod, jelka



## Primerjava kablov in nadzemnih vodov

- Ekonomsko tehnična analiza
  - Cene: vod 70/12 (50.000 EUR/km), kabel 150 (80.000 EUR/km)
  - Stroški vzdrževanja: vod (1.000 EUR/km), kabel (500 EUR/km)
  - Izgube: manjše pri kablu
  - Stroški prekinitve napajanja: manjši pri kablu



## VN kabli (do približno 500 kV)

### □ Lastnosti

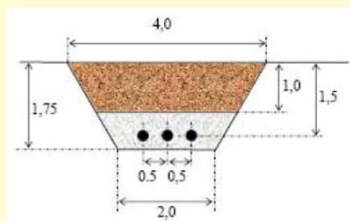
- V Evropi obratuje 10 večjih vodov na 400 kV (skupna dolžina 100 km, najdaljši 22 km -> København, 1000 MVA)
- Trda izolacija (zamreženi polietilen), redkeje olje (pred 1990)
- Podmorski kabli – velikokrat HVDC



## VN kabli - trasa

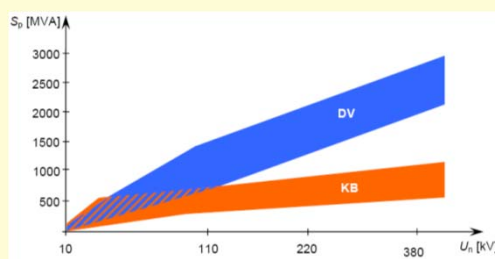
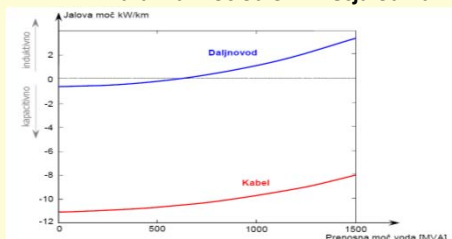
### □ Polaganje kablo

- Primer ČHE Avče, 110 kV (trasa, prevoz kablo, vzdrževanje trase...)



## VN kabli – električne lastnosti

- Kabelski vodi so blizu skupaj (debelina izolacije pri 400 kV je 25-27 mm)
- Velika dozemna kapacitivnost
- Majhne nične reaktance (majhna zanka fazni vodnik – prevodni ekran)
- Velik polnilni tok: pribl. 12 MVar/km pri 400 kV (kompenzacijske dušilke)
- Naravna moč od 3-4x večja od nazivne (višanje napetosti na koncu voda)



## VN kabli – obratovanje

- Prehod nadzemni vod – kabelski vod: različne impedanice, problem udarnega vala pri udaru strele (zaščitne vrvi, prenapetostni odvodniki)
- Pri izgubah potrebno tudi upoštevati izgube kompenzacije jalove energije
- Predvidena življenjska doba 40 let

	Daljnovod	Kablovod	Pojasnilo
Življenjska doba	✓		daljnovod 80 let; kablovod predvidoma 40 let;
Obratovalne izkušnje	✓		Daljnovodi so že preizkušeni; 5 kablovodi je dokaj malo izkušen;
Izgube	✓		Daljši kablovodi imajo večje izgube zaradi kompenzacijskih naprav
Opaznost v naravi		✓	Kablovod je v urbanih središčih ter na kmetijskih področjih veliko manj opazen
Investicija	✓		Kablovod je veliko večja investicija že zaradi gradbenih del, drag kabelel
Okvare	✓		Pri kablovodu problem odkrivanje okvar potreben izkop na mestu napake;
Obnašanje pri napakah	✓		Kablovod ima manjše število napak, vendar skoraj vsaka napaka povzroči škodo
Zaščita	✓		Veliko lažja tehnika ščitenja pri daljnovodu, ne potrebujemo dodatnih merjenj temperature izolacije, spojev
Obremenljivost	✓		Pri enakem (primerljivem) preseku je možno daljnovod bolj preobremeniti
Električna trdnost	✓		Pri daljnovodu zrak kot izolator, ki je samoobnovljiv; pri kablovodu s ob preboju izolacija uniči
Preobremenljivost	✓		Daljnovod je bolj preobremenljiv ker lažje odvaja toploto;
Potreba po jalovi moči	✓		Kablovod ima približno 18x večjo kapacitivnost kot daljnovod
Vpliv prenapetosti	✓		Ob pojavu prenapetosti lahko pride do preboja izolacije kablovoda
Kratki stiki	✓		Pri kablovodu lahko pride do poškodbe izolacije zaradi velikih temperatur
Vzdrževanje		✓	Pri obeh je potrebno čiščenje trase, le da je trasa kablovoda nekoliko ožja
Magnetno polje	✓		Vpliv kablovoda je večji ker je bliže tlem
Električno polje		✓	Pri kablovodu ni zunanega el. polja
Nerazpoložljivost	✓		Pri kablovodu traja veliko dlje da se napaka odpravi
Raba prostora	✓		Več različnih aktivnosti je možno pod daljnovodom kot nad kablovodom
Impedanca	✓		Daljšim kablovodom je potrebno dopolniti prilagoditvene dušilke ker imajo premajhno impedanco
Vpliv na družbo		✓	Visoki daljnovodi vzbujajo občutek nelagodja