

# Dimenzioniranje vodnikov

predavatelj  
prof. dr. Grega Bizjak, u.d.i.e.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Obremenitve električne inštalacije

Ko vodnik prevaja električni tok se segreje, pojavijo pa se tudi sile, ki ga mehansko obremenijo. Poleg tega se na vodniku pojavi padec napetosti, ki skupaj s tokom povzroča izgube moči na vodniku.

Po drugi strani je med vodnikom in okolico prisotna potencialna razlika, ki je potrebna za normalno delovanje električne inštalacije oziroma naprav.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Obremenitve električne inštalacije

Ločimo torej:

- tokovne in
- napetostne

obremenitve električne inštalacije  
oziroma **vodnikov in izolacije.**

---

---

---

---

---

---

---

---

## Obremenitve električne inštalacije

Da zagotovimo **varnost, zanesljivost, kakovost in gospodarstvo** električne inštalacije, je potrebno vodnike izbrati tako, da omenjene obremenitve **ne poškodujejo inštalacije oziroma ne skrajšujejo njene življenjske dobe.**

---

---

---

---

---

---

---

---

## Dimenzioniranje vodnikov

Dimenzioniranje vodnikov pomeni predvsem izbiro ustreznega preseka vodnika glede na pričakovan največji trajni tok v vodniku ob upoštevanju:

- zaščite pred električnim udarom;
  - toplotnih učinkov;
- preobremenitvenega in okvarnega toka;
  - padca napetosti in
  - mehanske odpornosti.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Dimenzioniranje vodnikov

Vodnike dimenzioniramo glede na:

- predviden največji trajni tok (**termično dimenzioniranje**);
- dopusten padec napetosti na vodniku (**električno dimenzioniranje**);
- dopusten najmanjši prerez glede na mehanske obremenitve (**mehansko dimenzioniranje**);
- gospodarnost (izgube v vodniku).

---

---

---

---

---

---

---

---

## Termično dimenzioniranje vodnikov

Termično dimenzioniranje pomeni izbor ustreznega vodnika oz. kabla, katerega **dopustna tokovna obremenitev je večja od pričakovanega največjega trajnega toka.**

---

---

---

---

---

---

---

---

## Termično dimenzioniranje vodnikov

Na največjo dopustno trajno obremenitev vodnika vpliva:

- material vodnika,
- prerez vodnika,
- vrsta izolacije,
- število vzporednih vodnikov,
- temperatura okolice in
- način polaganja.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Termično dimenzioniranje vodnikov

Največja dopustna tokovna obremenitev je izbrana tako, da najvišja obratovalna temperatura vodnika ne preseže temperature, ki bi lahko povzročila poškodbe izolacije. Ta temperatura je:

- pri PVC izolaciji: 70 °C (v),
- pri XLPE in EPR izolaciji : 90 °C (v),
- pri dostopni mineralni izolaciji : 70 °C (p),
- pri nedostopni mineralni izolaciji : 105 °C (p).

---

---

---

---

---

---

---

---

## Termično dimenzioniranje vodnikov

Dopustne tokovne obremenitve so običajno podane v tabelah glede na:

- material vodnika,
- izvedbo vodnika oz. kabla,
- prerez vodnika,
- vrsto izolacije,
- način polaganja.

Tabele so izdelane po standardu IEC 60364-5-52.

Upoštevana je temperatura okolice 30 °C oziroma temperatura zemlje 20 °C.

## Termično dimenzioniranje vodnikov

vrsta kablov	NYY, NYCW, NYCY, NYFY																	
	PVC (pri obratovanju je najvišja dopustna temperatura 70°C)																	
izolacija	Skupina A1			Skupina A2			Skupina B1			Skupina B2			Skupina C			Skupina D		
način polaganja	2	3	3	2	3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
II. obremenjenih III																		
našvilni prezet v	Dopustne tokovne obremenitve Iz v A																	
mm <sup>2</sup> , baker	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18						
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24						
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	37	30						
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	46	38						
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	60	50						
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	78	64						
25	80	73	75	68	101	87	90	80	112	96	99	82						
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	119	98						
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	140	116						

## Termično dimenzioniranje vodnikov

vrsta kablov	NXXY, NDXZY																	
	XLPE (pri obratovanju je najvišja dopustna temperatura 90°C)																	
izolacija	Skupina A1			Skupina A2			Skupina B1			Skupina C			Skupina D					
način polaganja	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3				
II. obremenjenih III																		
našvilni prezet v	Dopustne tokovne obremenitve Iz v A																	
mm <sup>2</sup> , baker	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz	Iz
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	25	21						
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	33	28						
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	43	36						
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	53	44						
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	71	58						
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	91	75						
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	116	96						
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	139	115						
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	164	135						

## Termično dimenzioniranje vodnikov

V primeru **enofaznega** trivodnega sistema (L, N, PE) **sta obremenjena dva vodnika: L in N.**

V primeru **trifaznega** petvodnega sistema (L1, L2, L3, N, PE) **so obremenjeni trije vodniki: L1, L2 in L3.**

---

---

---

---

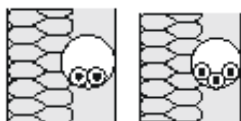
---

---

---

---

## Načini polaganja vodnikov oz. kablov



**A1:** izolirani vodniki v cevi, ki je položena v termično izolirani steni; toplotna prevodnost stene najmanj  $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

---

---

---

---

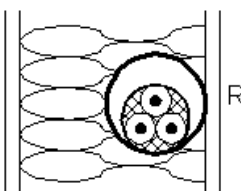
---

---

---

---

## Načini polaganja vodnikov oz. kablov



**A2:** večžilni kabli položeni prosto v termično izolirani steni; večžilni kabli položeni v cevi v termično izolirani steni; toplotna prevodnost stene najmanj  $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

---

---

---

---

---

---

---

---

## Načini polaganja vodnikov oz. kablov



**B1:** izolirani vodniki v ceveh in kanalih, ki so položeni na steni, pod ometom, v votli steni ali stropu oziroma v votlinah ...

---

---

---

---

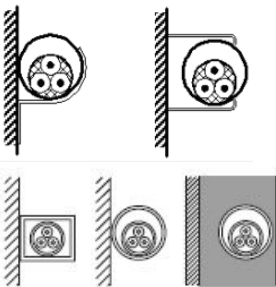
---

---

---

---

## Načini polaganja vodnikov oz. kablov



**B2:** večžilni kabli položeni v ceveh ali kanalih položenih na steni ali na tleh, v votlih stenah, stropih ali tleh ...

---

---

---

---

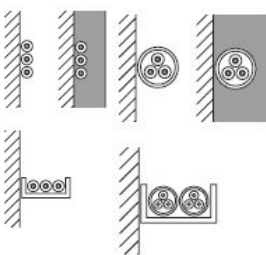
---

---

---

---

## Načini polaganja vodnikov oz. kablov



**C:** eno in večžilni kabli položeni direktno na steni, na tleh ali pod stropom, eno ali večžilni kabli položeni v steni ali pod ometom, dvizni vodi pod ometom.

---

---

---

---

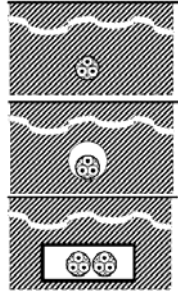
---

---

---

---

## Načini polaganja vodnikov oz. kablov



NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

19

**D:** večžilni kabli položeni prosto zemlji ali večžilni kabli v cevi oziroma v kanalu, ki je zakopan v zemlji. Globina vkopa 0,7 m, termična prevodnost zemlje  $2,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

---

---

---

---

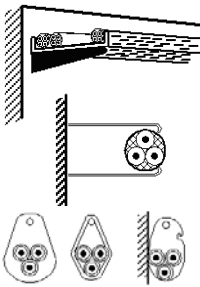
---

---

---

---

## Načini polaganja vodnikov oz. kablov



NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

20

**E:** večžilni kabli položeni prosto v zraku. Pritrditev ne sme ovirati hlajenja in naravnega prenosa toplote. Razdalja do stene 0,3 premera, razdalja med kabli 2 premera.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Termično dimenzioniranje vodnikov

**V kolikor pogoji polaganja (temperatura okolica, več vzporednih vodnikov, način polaganja vzporednih vodnikov) odstopajo od običajnih, moramo dopustni tok korigirati s korekcijskimi faktorji.**

NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

21

---

---

---

---

---

---

---

---

## Termično dimenzioniranje vodnikov

Korekcijski faktorji za **temperature okolice, različne od 30 °C**. PVC izolacija, kabli položeni v zraku.

Temperatura okolice	10	15	20	25	35	40	45	50	55	60
Korekcijski faktor	1,22	1,17	1,12	1,06	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61	0,50

## Termično dimenzioniranje vodnikov

Korekcijski faktorji za **temperature zemlje, različne od 20 °C**. PVC izolacija, kabli položeni v zemljo.

Temperatura okolice	10	15	20	25	35	40	45	50	55	60
Korekcijski faktor za PVC izolacijo	1,10	1,05	1,00	1,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55	0,45

## Termično dimenzioniranje vodnikov

Korekcijski faktorji za **večje število vzporednih kablov položenih skupaj na steno**.



vrste kablov	NYY, NYCWY, NYCY, NYKY										
	PVC70										
izol. material	A1, A2, B1, B2 in C										
način polaganja	temperatura okolja v °C										
š. vzporednih kablov	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1	1,22	1,17	1,12	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61	0,5
2	0,974	0,934	0,894	0,848	0,8	0,752	0,694	0,632	0,568	0,488	0,4
3	0,854	0,819	0,784	0,742	0,7	0,658	0,609	0,553	0,497	0,427	0,35
4	0,793	0,76	0,728	0,689	0,65	0,611	0,564	0,514	0,461	0,396	0,325
5	0,732	0,702	0,672	0,636	0,6	0,564	0,522	0,474	0,426	0,366	0,3
6	0,675	0,647	0,620	0,604	0,57	0,536	0,496	0,45	0,405	0,348	0,285



## Termično dimenzioniranje vodnikov

Korekcijski faktorji za večje število vzporednih kablov položenih v eni plasti na steni ali fleh.

NYF, NYCMF, NYCY, NYKY													
PVC70													
A1, A2, B1, B2 in C													
temperatura okolja v °C													
# vzporednih	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	
1	1,22	1,17	1,12	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61	0,5	0,35	
2	1,037	0,994	0,952	0,901	0,85	0,799	0,739	0,672	0,603	0,518	0,425	0,298	
3	0,964	0,924	0,885	0,837	0,79	0,743	0,686	0,624	0,561	0,482	0,395	0,276	
4	0,915	0,878	0,84	0,795	0,75	0,705	0,652	0,592	0,532	0,458	0,375	0,262	
5	0,891	0,854	0,818	0,774	0,73	0,686	0,635	0,577	0,518	0,445	0,365	0,256	
6	0,878	0,842	0,806	0,763	0,72	0,677	0,626	0,569	0,511	0,439	0,34	0,252	

## Električno dimenzioniranje

Električno dimenzioniranje vodnikov oz. kablov pomeni dimenzioniranje glede na padec napetosti.

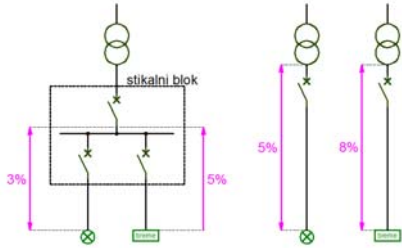
Z električnim dimenzioniranjem preprečimo, da bi napetost na porabniku bila izven dovoljenega obsega.

## Električno dimenzioniranje

Dovoljeni največji padci napetosti so:

- 3% za električne inštalacije razsvetljave, če računamo od točke napajanja (npr. hišnega priključka);
- 5% za električne inštalacije razsvetljave, če računamo od transformatorske postaje;
- 5% za električne inštalacije ostalih porabnikov, če računamo od točke napajanja (npr. glavnega priključka objekta);
- 8% za električne inštalacije ostalih porabnikov, če računamo od transformatorske postaje;
- od tega 0,5 % med števcem in glavnim razdelilcem.

## Električno dimenzioniranje



NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

28

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

V primeru, da je dolžina električne inštalacije daljša od 100 m, lahko dovoljeni padec napetosti povečujemo za **0,005 % za vsak meter**, ki presega 100 m, vendar ne smemo preseči meje **0,5 %**.

NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

29

---

---

---

---

---

---

---

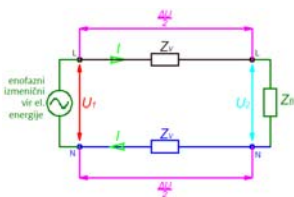
---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Padec napetosti je definiran kot razlika napetosti na začetku in na koncu voda:



$Z_L$  - impedanca faznega vodnika  
 $Z_N$  - impedanca nevtralnega vodnika  
 $Z_B$  - impedanca bremena  
 $U_1$  - napetost na začetku voda  
 $U_2$  - napetost na koncu voda  
 $I$  - obremenitev oz. tok skozi vodnik  
 $\Delta U$  - padec oz. izguba napetosti na enem samem vodniku

NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

30

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Izračunamo ga s pomočjo Ohmovega zakona:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = I \cdot (Z_L + Z_N)$$

Ker sta fazni in nevtralni vodnik enaka:

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot Z_V$$

---

---

---

---

---

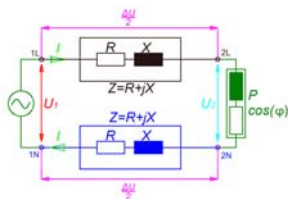
---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Padec napetosti v primeru dvovodnega sistema in ohmsko-induktivnega bremena:



---

---

---

---

---

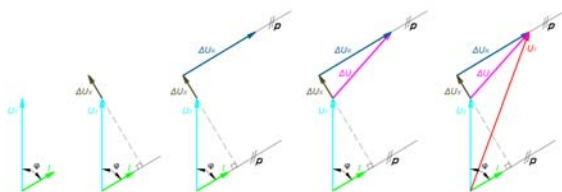
---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Ker je kabel tudi ohmsko-induktivnega značaja:



---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Izpeljava enačb:

$$\Delta U = \Delta U_R + \Delta U_X = 2 \cdot I \cdot R \cdot \cos \varphi + 2 \cdot I \cdot X \cdot \sin \varphi$$

$$R = r \cdot l; X = x \cdot l$$

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi + 2 \cdot I \cdot l \cdot x \cdot \sin \varphi$$

Če zanemarimo induktivno upornost kablov (do 50 mm<sup>2</sup>):

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Če v enačbo vpeljemo moč namesto toka in specifično upornost materiala vodnika:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi; \cos \varphi = P / (U \cdot I); r = \rho / A$$

dobimo končno formulo:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{A} = \frac{2 \cdot l \cdot P \cdot \rho}{U \cdot A}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Procentualni padec pa je definiran:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\%$$

torej:

$$\Delta U \% = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{U \cdot A} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot l \cdot P \cdot \rho}{U^2 \cdot A} \cdot 100\%$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Ko dimenzioniramo vodnike, iščemo ustrezen prerez, da bo padec napetosti v dovoljenih mejah:

$$A = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{U \cdot \Delta U \%} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot l \cdot P \cdot \rho}{U^2 \cdot \Delta U \%} \cdot 100\%$$

ali največjo dovoljeno dolžino:

$$l = \frac{A \cdot U \cdot \Delta U \%}{2 \cdot I \cdot \rho \cdot \cos \varphi} \cdot 100\% = \frac{A \cdot U \cdot \Delta U \%}{2 \cdot P \cdot \rho} \cdot 100\%$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Iz izpeljanih enačb lahko dobimo:

- najmanjši potreben presek, da napetost na porabniku ni manjša od predpisane (izberemo prvi večji presek);
- najdaljšo dovoljeno dolžino vodnika določenega preseka, da pri dani obremenitvi padec napetosti ne bo prevelik

---

---

---

---

---

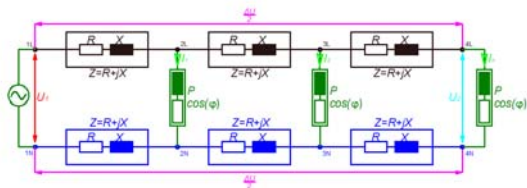
---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Električni vodi v inštalacijah so pogosto obremenjeni v več točkah vzdolž voda:



---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

V tem primeru lahko padec napetosti izračunamo kot vsoto posameznih padcev, ki jih povzročajo posamezni bremenski tokovi na dolžinah do posameznih bremen:

$$\Delta U = 2 \cdot \sum (I \cdot l) \cdot r \cdot \cos \varphi$$
$$\Delta U \% = \frac{2 \cdot \sum (I \cdot l) \cdot r \cdot \cos \varphi}{U} \cdot 100\%$$

NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

40

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Pri izpeljavi lahko po potrebi vpeljemo specifično upornost vodnika namesto upornosti in delovno moč namesto toka.

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \sum (P \cdot l) \cdot \rho}{U \cdot A}$$
$$\Delta U \% = \frac{2 \cdot \sum (P \cdot l) \cdot \rho}{U^2 \cdot A} \cdot 100\%$$

NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

41

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Enačbi lahko uporabimo z izračun minimalnega preseka vodnika pri danem padcu napetosti:

$$A = \frac{2 \cdot \sum (P \cdot l) \cdot \rho}{U \cdot \Delta U}$$
$$A = \frac{2 \cdot \sum (P \cdot l) \cdot \rho}{U^2 \cdot \Delta U \%} \cdot 100\%$$

NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

42

---

---

---

---

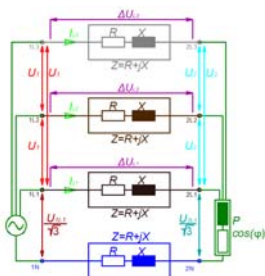
---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje



NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

43

Dimenzioniranje trifaznega voda poteka podobno. V primeru simetrične trifazne obremenitve po nevtralnem vodniku tok ne teče in tako tudi ni padca napetosti na tem vodniku.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Padec napetosti na enem faznem vodniku tako lahko izračunamo po enačbi:

$$\Delta U = I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi$$

Pri tem je  $I$  tok na vodu in  $U$  fazni padec napetosti.

NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

44

Padec napetosti na enem faznem vodniku tako lahko izračunamo po enačbi:

$$\Delta U = I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi$$

Pri tem je  $I$  tok na vodu in  $U$  fazni padec napetosti.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Ker nas v trifaznem sistemu vedno zanima medfazna napetost (napetost med vodniki), uporabimo enačbo:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi$$

oziroma procentualno:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi}{U} \cdot 100\%$$

NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

45

Ker nas v trifaznem sistemu vedno zanima medfazna napetost (napetost med vodniki), uporabimo enačbo:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi$$

oziroma procentualno:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi}{U} \cdot 100\%$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Podobno kot prej lahko v enačbo vpeljemo specifično upornost in moč bremena:

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{U \cdot A} \cdot 100\%$$

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot l \cdot \rho}{U^2 \cdot A} \cdot 100\%$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

Iz obeh enačb lahko izračunamo najmanjši dovoljeni presek vodnika pri danem padcu napetosti. Izberemo seveda prvi večji prerez.

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{U \cdot \Delta U\%} \cdot 100\%$$

$$A = \frac{P \cdot l \cdot \rho}{U^2 \cdot \Delta U\%} \cdot 100\%$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

V primeru **nesimetrične obremenitve** padci napetosti na treh faznih vodnikih niso enaki, zaradi česar teče tok tudi po nevtralnem vodniku. V tem primeru je izračun padcev napetosti precej bolj zapleten.

Običajno izračunamo največjo obremenitev, ki se pojavi na enem od vodnikov. Nato predpostavimo simetrično obremenitev in izračunamo padce z upoštevanjem te obremenitve.

---

---

---

---

---

---

---

---



## Električno dimenzioniranje

V primeru, da je vod obremenjen na več mestih, lahko podobno kot pri enofaznem vodu vpeljemo tokovne momente:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \sum (I \cdot l) \cdot r \cdot \cos \varphi$$

oziroma procentualno:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot \sum (I \cdot l) \cdot r \cdot \cos \varphi}{U} \cdot 100\%$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

In nato še specifično upornost in moč (trifazno) bremena:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot \sum (I \cdot l) \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{U \cdot A} \cdot 100\%$$

$$\Delta U \% = \frac{\sum (P \cdot l) \cdot \rho}{U^2 \cdot A} \cdot 100\%$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje

In na koncu določimo najmanjši potreben prerez vodnikov:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot \sum (I \cdot l) \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{U \cdot \Delta U \%} \cdot 100\%$$

$$A = \frac{\sum (P \cdot l) \cdot \rho}{U^2 \cdot \Delta U \%} \cdot 100\%$$

---

---

---

---

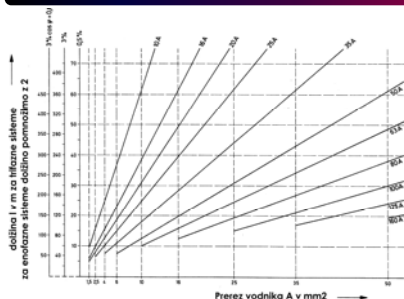
---

---

---

---

## Električno dimenzioniranje



Ustrezen prerez lahko izberemo tudi grafično:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Mehansko dimenzioniranje

Mehanske obremenitve vodnikov so odvisne od:

- načina polaganja,
- montaže vodnikov,
- velikosti sil ob kratkih stikih in
- okoljskih razmer.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Mehansko dimenzioniranje

Mehansko trdnost vodnikov dosežemo s polaganjem v cevi oziroma v ali pod omeš.

Velikost sil je lahko kritična le pri zbiralkah v glavnih razdelilnikih večjih porabnikov. V teh primerih tudi izvajamo mehanske izračune.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Mehansko dimenzioniranje

Pri vodnikih v električnih inštalacijah mehanskih izračunov ne izvajamo (standardi jih ne predvidevajo).

V standardih so predpisani le najmanjši dovoljeni prerezi vodnikov glede na material in uporabo, ki zagotavljajo ustrezno mehansko trdnost.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Mehansko dimenzioniranje

Za fiksne inštalacije:

- kabli in izolirani vodniki za energetske tokokroge in razsvetljavo:  
Cu: 1,5 mm<sup>2</sup>, Al: 2,5 mm<sup>2</sup>.
  - kabli in izolirani vodniki za signalne in krmilne tokokroge:  
Cu: 0,5 mm<sup>2</sup>.
- V signalnih in krmilnih tokokrogih za elektronsko opremo je dovoljeno  
Cu: 0,1 mm<sup>2</sup>.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Mehansko dimenzioniranje

Za fiksne inštalacije:

- goli vodniki za energetske tokokroge in razsvetljavo:  
Cu: 10 mm<sup>2</sup>, Al: 16 mm<sup>2</sup>.
- goli vodniki za signalne in krmilne tokokroge:  
Cu: 4 mm<sup>2</sup>.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Mehansko dimenzioniranje

Gibljivi priključki z izoliranimi vodniki in kablji:

- za tokokroge male napetosti za posebno uporabo:  
**Cu: 0,75 mm<sup>2</sup>.**
- za ostalo uporabo:  
**Cu: 0,75 mm<sup>2</sup>.**

V večžilnih gibljivih kabljih, ki vsebujejo vsaj 7 žil, je lahko: **Cu: 0,1 mm<sup>2</sup>.**

---

---

---

---

---

---

---

---

## Mehansko dimenzioniranje

Po standardu dovoljene mehanske natezne obremenitve so:

- za toge kable med inštaliranjem:  
**50 N/mm<sup>2</sup>,**
- za toge vodnike pri polaganju:  
**15 N/mm<sup>2</sup>,**
- za gibke kable pri statični obremenitvi:  
**15 N/mm<sup>2</sup>.**

Skupna obremenitev kablov sme znašati največ 1000 N, pri navpičnem polaganju je obvezna opora vsaj na 5 m.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Dimenzioniranje vodnikov glede na gospodarnost

Izgube v inštalaciji so lahko velike (tudi preko 10 %), kar pomeni tudi večje stroške.

Izgube lahko zmanjšamo z večjim presekom (manjša upornost), vendar je posledično investicija večja.

Dimenzioniranje vodnikov glede na gospodarnost se izplača predvsem pri trajno enakomerno obremenjenih vodnikih in napravah z visokimi obratovalnimi urami.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Dimenzioniranje vodnikov glede na gospodarnost

Izgube v vodniku izračunamo z:

$$P_{\text{izg}} \% = \frac{2 \cdot l \cdot P \cdot \rho}{U^2 \cdot A \cdot \cos^2 \varphi} \cdot 100\%$$

oziroma za trifazne porabnike:

$$P_{\text{izg}} \% = \frac{l \cdot P \cdot \rho}{U^2 \cdot A \cdot \cos^2 \varphi} \cdot 100\%$$

ali s pomočjo izračunanega procentualnega padca napetosti:

$$P_{\text{izg}} \% = \frac{\Delta U \%}{\cos^2 \varphi}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tokovne obremenitve

Ko smo izbrali presek vodnika smo s tem izbrali tudi dovoljeni (predvideni) trajni tok.

V kolikor je tok v vodniku večji od tega dovoljenega trajnega toka, govorimo o tokovni preobremenitvi. Tokovna preobremenitev povzroča:

- povečano segrevanje in
- povečane mehanske obremenitve.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tokovne obremenitve

Temperatura vodnika narašča s:

$$T = \frac{g^2 \cdot \rho \cdot d}{4 \cdot K} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

Povišana temperatura vodnika pospešuje staranje izolacije in lahko povzroči njeno okvaro.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tokovne obremenitve

Tudi mehanska sila narašča s:

$$F = 0,2 \cdot I^2 \cdot \frac{l}{A}$$

Zaradi mehanske sile lahko pride do poškodbe električne inštalacije.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tokovne obremenitve

Če je tok večji od nazivnega toka, govorimo o nadtoku. Ta je lahko:

- preobremenitveni tok
- okvarni (kratkostični) tok.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Preobremenitveni tok

Preobremenitveni tok ni posledica okvare ampak prevelike obremenitve vodnikov npr. zaradi uporabe razdelilcev in za nekaj (deset) procentov presega nazivni tok.

Zaradi termične časovne konstante vodnikov preobremenitveni tok ne predstavlja nevarnosti takoj, ko nastopi ampak šele čez določen čas.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Okvarni (kratkostični) tok

Okvarni tok je posledica okvare v električni inštalaciji (kratek stik) in lahko doseže več (deset) kratnik nazivnega toka.

Ker je okvarni tok lahko zelo velik, tudi posledice (visoka temperatura, velike sile) nastopijo takoj ob pojavu.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nadtokovna zaščita vodnikov

Da preprečimo negativne učinke preobremenitvenega ali okvarnega toka je potrebno vodnike (in kable) zaščititi.

Zaščita mora preobremenitveni ali okvarni tok pravočasno izklopiti.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nadtokovna zaščita vodnikov

Pri enofaznih tokokrogih mora zaščitna naprava izklopiti fazni vodnik.

Pri trifaznih tokokrogih morajo biti vsi trije fazni vodniki opremljeni z zaščitnimi napravami. Izklopiti mora samo naprava v preobremenjenem vodniku, razen če enofazni izklop lahko povzroči preobremenitev ostalih dveh faz (npr. pri elektromotorjih).

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nadtokovna zaščita vodnikov

Zaščitna naprava lahko hkrati ščiti pred preobremenitvenim in pred okvarnim tokom (pri kratkem stiku).

Lahko pa se uporabljata tudi ločeni napravi, ena pred preobremenitvenim in druga pred okvarnim tokom.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nadtokovna zaščita vodnikov

Med zaščitne naprave, ki ščitijo tako pred preobremenitvenim kot tudi pred okvarnim tokom so:

- taljive varovalke,
- inštalacijski odklopniki z preobremenitvenim in kratkostičnim sprožnikom,
- inštalacijski odklopniki, kombinirani z varovalkami.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nadtokovna zaščita vodnikov

Če sta napravi ločeni, ima lahko naprava pred preobremenitvijo izklopno zmogljivost manjšo od predvidenega kratkostičnega toka.

Mora pa naprava za zaščito pri kratkem stiku biti sposobna ta tok izklopiti.

V določenih primerih naprava za zaščito pred preobremenitvijo ni potrebna.

---

---

---

---

---

---

---

---



## Nadtokovna zaščita vodnikov



- Zaščitno napravo (ali zaščitni napravi) izbiramo po ločenih kriterijih za:
- preobremenitveni tok in za
  - okvarni tok.

NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

73

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred preobremenitvenim tokom

Zaščitna naprava pred preobremenitvenim tokom je ustrezno izbrana, če velja:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

- $I_B$  ... maksimalni predvideni tok v tokokrogu  
 $I_n$  ... nazivni tok zaščitne naprave  
 $I_Z$  ... trajni dovoljeni tok vodnika

NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

74

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred preobremenitvenim tokom

Ker pa zaščitna naprava pri nazivnem toku še ne izklopi, mora veljati tudi:

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

- $I_2$  ... zgornji preizkusni tok zaščitne naprave pri katerem naprava zanesljivo izklopi v času 60 minut.

NNEI: Dimenzioniranje vodnikov

75

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred preobremenitvenim tokom

Zgornji preizkusni tok zaščitne naprave je:

- pri talilnih vložkih do 4 A:  $I_2 = 2,1 \cdot I_n$
- pri talilnih vložkih do 13 A:  $I_2 = 1,9 \cdot I_n$
- pri talilnih vložkih nad 13 A:  $I_2 = 1,6 \cdot I_n$
- pri inštalacijskih odklopnikih:  $I_2 = 1,45 \cdot I_n$

---

---

---

---

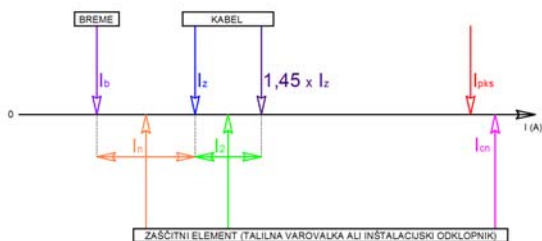
---

---

---

---

## Zaščita pred preobremenitvenim tokom



---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred preobremenitvenim tokom

Če je izbrana zaščitna naprava hkrati tudi zaščita pred okvarnim tokom, moram biti izpolnjen tudi pogoj:

$$I_{pks} \leq I_{cn}$$

$I_{pks}$  ... pričakovani tok kratkega stika  
 $I_{cn}$  ... izklopna zmogljivost naprave

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pri kratkem stiku

Pri izbiri zaščitne naprave pri kratkem stiku moramo upoštevati sledeče:

- zaščitna naprava mora biti sposobna prekiniti okvarni (kratkostični) tok;
- čas izklopa mora biti dovolj kratek, da se vodnik ne segreje preko dovoljene temperature.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pri kratkem stiku

Če je čas trajanja kratkostičnega toka razmeroma kratek (<5 s) in je nazivno tok zaščitne naprave manjši od 63 A lahko čas v katerem kratkostični tok segreje vodnik do dovoljene temperature izračunamo po:

$$t = \left( \frac{k \cdot A}{I_k} \right)^2$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pri kratkem stiku

$$t = \left( \frac{k \cdot A}{I_k} \right)^2$$

$t$  ... dopustno trajanje kratkostičnega toka;  
 $A$  .. presek vodnika;  
 $I_k$  ... velikost kratkostičnega toka  
 $k = 115$  za bakrene vodnike s PVC izolacijo;  
 $k = 135$  za bakrene vodnike s izolacijo iz gume.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pri kratkem stiku

$$t > 0,1 \text{ s}$$

Če je izračunani čas daljši od 0,1 s izberemo ustrezno zaščitno napravo, ki bo pri uporabljenem kratkostičnem toku ( $I_k$ ) zanesljivo izklopila v času, ki je krajši od izračunanega.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pri kratkem stiku

$$t \leq 0,1 \text{ s}$$

Če je izračunani čas krajši od 0,1 s je potrebno opraviti še kontrolo talilnega integrala oziroma kontrolo celotnega integrala.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pri kratkem stiku

Pri talilnih varovalkah izvedemo kontrolo talilnega integrala. Izbira je ustrezna, če velja:

$$I_k^2 \cdot t_s \leq (k \cdot A)^2$$

Talilni integral je merilo za energijo, ki je potrebna za pretalitev talilnega vložka.

---

---

---

---

---

---

---

---

### Zaščita pri kratkem stiku

Pri inštalacijskih odklopnikih izvedemo kontrolo celotnega integrala. Izbira je ustrezna, če velja:

$$I_k^2 \cdot t \leq (k \cdot A)^2$$

Celotni integral je merilo za energijo, ki jo zaščitna naprava prepusti do izklopa.

---

---

---

---

---

---

---

---

### Zaščita pri kratkem stiku

Poleg največjega kratkostičnega toka, ki se lahko pojavi, je pomemben tudi najmanjši kratkostičen tok. Zaščitno naprave je potrebno izbrati tako, da pri tem toku zanesljivo izklopi v 5 s. **Daljši časi niso dovoljeni.**

---

---

---

---

---

---

---

---

### Zaščita pri kratkem stiku

Poleg največjega kratkostičnega toka, ki se lahko pojavi, je pomemben tudi najmanjši kratkostičen tok. Zaščitno naprave je potrebno izbrati tako, da pri tem toku zanesljivo izklopi v 5 s. **Daljši časi niso dovoljeni.**

---

---

---

---

---

---

---

---

### Primer izbire zaščitne naprave

Enofazni porabnik,  
ki ga bomo napajali  
s trožilnim kablom (L, N, PE),  
s PVC izolacijo (H07VV oz. NYY),  
položenim v cevi v steni (A2),  
ima največji pričakovani tok 15 A.

---

---

---

---

---

---

---

---

### Primer izbire zaščitne naprave

Iz tabele na prosajnici 11 vidimo, da  
je dovoljeni trajni tok za bakren  
vodnik:

- 1,5 mm<sup>2</sup> – 14 A;
- 2,5 mm<sup>2</sup> – 18,5 A.

Izberemo torej vodnik prereza  
2,5 mm<sup>2</sup>.

---

---

---

---

---

---

---

---

### Primer izbire zaščitne naprave

Glede na pogoj:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

izberemo talično varovalko z nazivnim  
tokom 16 A.

$$15 \text{ A} \leq 16 \text{ A} \leq 18,5 \text{ A}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

### Primer izbire zaščitne naprave

Preverimo še pogoj:

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

glede na vrednost  $I_2 = 1,6 I_n$  in izračun

$$1,6 \cdot 16 = 25,6 \leq 1,45 \cdot 18,5 = 26,8$$

je izbira ustrezna.

---

---

---

---

---

---

---

---

### Primer izbire zaščitne naprave

Ob upoštevanju podatkov:

- dolžina kabla med razdelilcem in porabnikom: 40 m;
- upornost inštalacije do razdelilca: 300 mΩ;

izračunamo upornost kratkostične zanke.

---

---

---

---

---

---

---

---

### Primer izbire zaščitne naprave

Upornost kabla do porabnika:

$$R_k = \frac{2 \cdot l \cdot \rho}{A} = \frac{2 \cdot 40m \cdot 0,0178\Omega mm^2}{2,5mm^2} = 0,57\Omega$$

in skupna upornost kratkostične zanke:

$$Z_{kz} = Z_r + R_k = 0,30\Omega + 0,57\Omega = 0,87\Omega$$

---

---

---

---

---

---

---

---

### Primer izbire zaščitne naprave

Velikost kratkostičnega toka je torej:

$$I_{ks} = \frac{U_n}{Z_{kz}} = \frac{230V}{0,87\Omega} = 264A$$

in potreben čas izklopa:

$$t = \left( k \cdot \frac{A}{I_{ks}} \right)^2 = \left( 115 \cdot \frac{2,5}{264} \right)^2 = 1,09s$$

---

---

---

---

---

---

---

---

### Primer izbire zaščitne naprave

V katalogu proizvajalca talilnih varovalk preverimo, katera "največja" varovalka omogoča izklop pri toku 264 A prej kot v 1,09 s. Ugotovimo, da pogoj izpolnjuje varovalka z nazivnim tokom 40 A.

Prej izbrana varovalka z nazivnim tokom 16 A izklopi v 0,02 s, kar pomeni da ustreza tudi temu pogoju

---

---

---

---

---

---

---

---

... in še:

# Vprašanja?

---

---

---

---

---

---

---

---