

Správne posudzovanie dimenzovania a istenia vodičov a káblov elektrických inštaláciách

doc. Ing. Miroslav KOPČA, PhD., STU FEI v Bratislave

Ing. Michal Váry, PhD., STU FEI v Bratislave

ANOTÁCIA

Príspevok je venovaný metodike posudzovania prúdovej zaťažiteľnosti vodičov a káblov v elektrických nn silových rozvodoch. Touto problematikou sa zaoberá najmä STN 33 2000-5-52 Elektrické inštalácie nízkeho napätia, Časť 5-52 Výber a stavba elektrických zariadení Elektrické rozvody. Odporúčania citovanej normy majú zaistiť optimalizáciu doby životnosti vodivých častí (jadier) a izolačných systémov vodičov a káblov pri ich tepelnom namáhaní od prúdového zaťaženia pri normálnej prevádzke (nominálne prúdy) ako aj pri poruchových stavoch v elektrických rozvodoch (preťaženie a skrat). Popri tom sú v norme aj odporúčania, ktoré limitujú ďalšie parametre, dôležité pre bezpečnú ale aj hospodárnu prevádzku silových nízkonapäťových rozvodov (do 1000V AC a 1500V DC) vybudovaných z káblov a vodičov s rôznou výkonovou konfiguráciou a spôsobom uloženia v prevádzkových objektoch.

ÚVOD

Na úvod treba hneď otvorene povedať, že **neexistuje jednoduchý recept na zaistenie 100% - nej úspešnosti pri posudzovaní vhodnosti použitých káblov a vodičov v danej elektrickej inštalácii ako aj spôsobu ochrany pred preťažením a skratom.**

Problematicou prúdovej zaťažiteľnosti vodičov a káblov sa zaoberá najmä **STN 33 2000-5-52 Elektrické inštalácie nízkeho napätia, Časť 5-52 Výber a stavba elektrických zariadení Elektrické rozvody**, ktorá je prevzatým harmonizačným dokumentom **HD 60364-5-52:2011** v slovenskom jazyku. Norma koordinuje požiadavky v nej obsiahnuté s ďalšími STN normami zo súboru **STN 33 2000 časť 4 pre zaistenie bezpečnosti, ktorými sú o.i.: STN 33 2000-4-41, STN 33 2000-4-42 a STN 33 2000-5-54 v platnom vydaní.**

Odporúčania citovanej normy majú zaistiť optimalizáciu doby životnosti vodivých častí (jadier) a izolačných systémov vodičov a káblov pri ich tepelnom namáhaní od prúdového zaťaženia **pri normálnej prevádzke** (nominálne prúdy) ako aj **pri poruchových stavoch** v elektrických rozvodoch (preťaženie a skrat). Popri tom sú v norme aj odporúčania, ktoré limitujú ďalšie parametre, dôležité pre bezpečnú ale aj hospodárnu prevádzku silových **nízkonapäťových rozvodov** (do 1000V AC a 1500V DC) vybudovaných z káblov a vodičov s rôznou výkonovou konfiguráciou a spôsobom uloženia v prevádzkových

objektoch. Na základe požiadaviek, definovaných v uvedených normách **posudzujeme** pri návrhu a kontrole energetických rozvodov použité káble a vodiče z hľadiska:

1. **Mechanickej pevnosti a odolnosti vplyvom prostredia,**
2. **zaistenie správnej funkcie ochrany pred úrazom elektrickým prúdom,**
3. **dovolenej prúdovej zaťažiteľnosti,**
4. **odolnosti voči účinkom skratových prúdov,**
5. **dovolenej prevádzkovej teploty jadier vodičov a izolačných systémov,**
6. dovoleného úbytku napätia
7. hospodárneho prierezu vedenia

Pri posudzovaní vodičov a káblov v praxi s výhodou používame katalógové údaje, špecifikované ich výrobcami. Sú to napríklad:

- Menovitý prúd I_N (A),
- časová otepľovacia konštanta τ (s),
- povrchová teplota pri menovitom prúde ϑ_p (°C),
- najvyšší činný odpor jadra R_j (Ω/km),
- najvyššia indukčná reaktancia žily (jadra) pri dvoj a viacžilových vodičoch a kábloch X_{Lj} (Ω/km),
- najmenší izolačný odpor vodiča a kábla pri najvyššej dovolenej prevádzkovej teplote R_{iz} (Ω/km).

1 POSUDZOVANIE S OHĽADOM NA MECHANICKÚ PEVNOSŤ VEDENIA A ODOLNOSŤ VOČI VPLYVOM PROSTREDIA

Elektrické rozvody musia byť navrhnuté a zhotovené tak, aby bolo riziko mechanického poškodenia počas prevádzky znížené na minimum. Mechanické poškodenie káblov a vodičov vzniká najmä pri nárazoch do nechránených vedení, vniknutím cudzích predmetov, stláčaním a ohýbaním pri inštalácii a mechanickým namáhaním počas používania a údržby. Mechanická pevnosť elektrických vedení závisí najmä od druhu použitých komponentov vedenia, spôsobu ich použitia a spôsobu ich uloženia. Vodiče a káble musia odolávať mechanickému namáhaniu pri bežnom použití a tiež aj prípadným mechanickým účinkom skratových prúdov. To má význam predovšetkým pri vonkajších vedeniach, kde je potrebné rešpektovať aj vplyvy okolia (počasie, prostredie a pod.). Pri vodičoch pre pevné vnútorné uloženie ide predovšetkým o pevnosť v ohybe či strihu. Tu sa musíme spoľahnúť predovšetkým na profesionalitu projektanta pri spracovávaní projektovej dokumentácie a preto je nutné (a normy platná pre revíziu činnosť to aj predpisujú) mať pre potreby posúdenia túto dokumentáciu pri revízii k dispozícii.

Tab. 1 Minimálne prierezy vodičov (Tab. 52.2 STN 33 2000-5-52)

TYP ELEKTRICKÉHO ROZVODU		POUŽITIE OBVODU	VODIČ	
			Materiál	Prierez (mm ²)
Pevné inštalácie	Káble a izolované vodiče	Silové a svetelné obvody	Med'	1,5
			Hliník	Musí byť v zhode s normou pre kábel IEC 60228 (10mm ²)
		Signalizačné a riadiace obvody	Med'	0,5 (pozn.1)
	Holé vodiče	Silové obvody	Med'	10
			Hliník	16
		Signalizačné a riadiace obvody	Med'	4
Pripojenia s ohybnými izolovanými vodičmi a káblami		Pre špecifický spotrebič	Med'	Ako je špecifikované v príslušnej norme
		Na akékoľvek iné použitie		0,75 (pozn. 1)
		Obvody malého napätia pre špeciálne aplikácie		0,75
Pozn.1: V signalizačných a riadiacich obvodoch určených pre elektronické zariadenia a pre viacžilové ohybné káble obsahujúce 7 a viac žíl je dovolený min. prierez 0,1 mm ²				

Pre úplnosť informácie o tomto probléme je treba uviesť, že nielen pevne uložené silové elektrické rozvody ale aj pohyblivé privody k spotrebičom sú v praxi vystavené určitému mechanickému **namáhaniu** a tiež je potrebné rešpektovať túto skutočnosť pri ich dimenzovaní. Požiadavku na správne dimenzovanie z hľadiska dostatočnej mechanickej pevnosti vedenia popritom v súčasnosti nie zanedbateľne obmedzuje ďalšia protichodná požiadavka na znižovanie prierezu jadier káblov a vodičov z ekonomických dôvodov. Niektoré hodnoty požadovaného S_{min} pre vybrané druhy vodičov sú v tab. 1.

2 POSUDZOVANIE S OHĽADOM NA DOVOLENÚ PRÚDOVÚ ZAŤAŽITEĽNOSŤ (PRÍL. B STN 33 2000-5-54:2012 PLATNÁ PRE KÁBLE A VODIČE DO 1000 V AC A 1500 V DC)

Všeobecne pri kontrole a hodnotení vhodnosti použitých káblov a vodičov z hľadiska prúdovej zaťažiteľnosti pracujeme s **menovitou prúdovou zaťažiteľnosťou** a **dovolenou prúdovou zaťažiteľnosťou**.

- Hodnoty **menovitej prúdovej zaťažiteľnosti** I_n udávajú výrobcovia v tabelárnej forme v katalógových listoch a platia pre základné podmienky ich uloženia.
- Hodnoty **dovolenej prúdovej zaťažiteľnosti** I_{dov} závisia od spôsobu uloženia vodičov a káblov v praxi. Táto veličina vychádza z **dovolenej prevádzkovej teploty** jadier vodičov alebo káblov **tak, aby sa neprekročila jeho najvyššia dovolená (medzná) teplota izolácie**, pričom kontrolné výpočty s použitím dovolených prevádzkových teplôt sú nahradené výpočtami s použitím prúdov, čo značne zjednodušuje celý proces kontroly správnosti dimenzovania.

Podmienky odvodu tepla sa vyjadrujú prostredníctvom **prepočítavacích koeficientov**, uvedených v tabelárnej forme v norme.

Referenčné teploty okolia:

Prúdové zaťažiteľnosti, uvedené v tabuľkách **Prílohy B** predpokladajú tieto **referenčné teploty okolia**:

- pre izolované vodiče a káble vo vzduchu, bez ohľadu na metódu inštalovania: **30°C**
- pre káble uložené v zemi priamo, alebo v uzavretých žľaboch v zemi: **20°C**

Tepelný odpor pôdy:

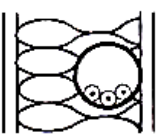
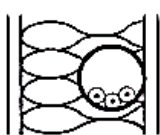
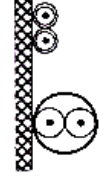
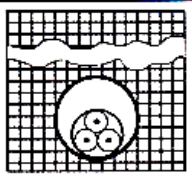
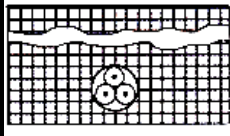
Prúdové zaťažiteľnosti, uvedené v tabuľkách Prílohy B pre káble uložené v zemi sa vzťahuje na tepelný odpor pôdy **2,5 K.m/W**. V miestach kde je tepelný odpor vyšší má sa vykonať vhodná redukcia prúdovej zaťažiteľnosti, alebo sa pôda v okolí kábla nahradí vhodným materiálom.

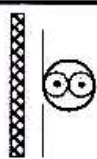
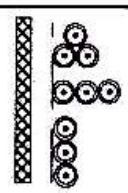
Metódy inštalovania:

Spôsob inštalovania (uloženia) elektrických rozvodov o.i. musí, vzhľadom na typ použitých vodičov alebo káblov zodpovedať požiadavkám (tab. A.52.3) s ohľadom na vonkajšie vplyvy (kap. 522).

Referenčné metódy

Sú metódy inštalovania, pre ktoré sa prúdová zaťažiteľnosť určila skúškou, alebo výpočtom. Norma pozná podľa spôsobu uloženia nasledovné referenčné metódy (Tab. A.52.1):

1	2
 Izba Izolované vodiče (jednožilové káble) v elektroinštalačnej rúrke v tepelne izolačnej stene	A1
 Izba Viacžilový kábel v elektroinštalačnej rúrke v tepelne izolačnej stene	A2
 Izolované vodiče (jednožilové káble) v elektroinštalačných rúrkach na drevenej stene	B1
 Viacžilový kábel v elektroinštalačnej rúrke na drevenej stene	B2
 Jednožilový kábel alebo viacžilový kábel na drevenej stene	C
 Viacžilový kábel v elektroinštalačných uzavretých žľaboch uložených v zemi	D
 Jednožilové alebo viacžilové káble s plášťom uložené priamo v zemi	D2

1	2
 Viacžilový kábel vo voľnom priestore Vzdušná vzdialenosť k stene nie je väčšia ako 0,3-násobok priemeru kábla	E
 Jednožilové káble dotýkajúce sa vo voľnom priestore Vzdialenosť k stene nie je väčšia ako priemer jedného kábla	F
 Jednožilové káble, s rozstupmi vo voľnom priestore aspoň priemer jedného kábla	G

Obr. 1 Referenčné metódy uloženia káblov a vodičov podľa STN 33 2000-5-52:2012

Tab. 1 Prúdové zaťažiteľnosti pre metódy inštalovania z Obr.1 dva zaťažené Cu alebo Al vodiče, teplota vodiča 70°C, teplota okolitého vzduchu: 30°C, teplota v zemi 20°C

Menovitý prierez vodiča mm ²	Metódy inštalovania z tabuľky B.52.1						
	A1	A2	B1	B2	C	D1	D2
1	2	3	4	5	6	7	8
meď							
1,5	14,5	14	17,5	16,5	19,5	22	22
2,5	19,5	18,5	24	23	27	29	28
4	26	25	32	30	36	37	38
6	34	32	41	38	46	46	48
10	46	43	57	52	63	60	64
16	61	57	76	69	85	78	83
25	80	75	101	90	112	99	110
35	99	92	125	111	138	119	132
50	119	110	151	133	168	140	156
70	151	139	192	168	213	173	192
95	182	167	232	201	258	204	230
120	210	192	269	232	299	231	261
150	240	219	300	258	344	261	293
185	273	248	341	294	392	292	331
240	321	291	400	344	461	336	382
300	367	334	458	394	530	379	427
hliník							
2,5	15	14,5	18,5	17,5	21	22	
4	20	19,5	25	24	28	29	
6	26	25	32	30	36	36	
10	36	33	44	41	49	47	
16	48	44	60	54	66	61	63
25	63	58	79	71	83	77	82
35	77	71	97	86	103	93	98
50	93	86	118	104	125	109	117
70	118	108	150	131	160	135	145
95	142	130	181	157	195	159	173
120	164	150	210	181	226	180	200
150	189	172	234	201	261	204	224
185	215	195	266	230	298	228	255
240	252	229	312	269	352	262	298
300	289	263	358	308	406	296	336

POZNÁMKA. – Pre stĺpce 3, 5, 6, 7 a 8 sa predpokladajú vodiče s kruhovým prierezom pre veľkosti do 16 mm², vrátane. Hodnoty pre väčšie veľkosti sa vzťahujú na tvarované vodiče a môžu sa bezpečne použiť na vodiče s kruhovým prierezom.

Hlavné zásady pre voľbu istiacich prvkov - poistky, ističe alebo istiace nadprúdové relé sa majú voliť alebo nastaviť tak, aby boli splnené tieto zásady:

- Jadro isteného vodiča alebo kábla pri nadprúdoch spôsobených preťažením **nemá** prekročiť najvyššiu dovolenú teplotu,
- jadro isteného vodiča alebo kábla pri nadprúdoch spôsobených skratovými prúdmi **nesmie** prekročiť najvyššiu dovolenú teplotu,
- v prostrediach, kde je stanovená najvyššia dovolená teplota povrchu, povrch isteného vedenia pri nadprúdoch spôsobených preťažením alebo ak je stanovené v STN aj skratovými prúdmi, **nesmie prekročiť najvyššiu dovolenú teplotu povrchu**,
- pri normálnej prevádzke **nesmie nastať nežiaduce pôsobenie istiacich prvkov**,
- istiace prvky majú odpojiť pri svojom pôsobení, pokiaľ je to možné, **len postihnutú časť vedenia**,

Tab. 2 Príklad priradenia menovitých prúdov istiacich prvkov pre káble a vodiče CYKY uložené v spôsobe A. Počet žíl: 2.

Prierez $S(\text{mm}^2)$	Zaťažiteľnosť I_z (A)	Menovité prúdy istiacich prvkov v (A)			
		poistiek s charakteristikou			ističov
		gG	gF1	E27	IJL,IJU
1,5	14,5	10	10	10	10
2,5	19,5	10	16	16	10
4	26	20	20	20	20

Tab. 3 Príklad priradenia menovitých prúdov istiacich prvkov pre káble a vodiče CYKY uložené v spôsobe B. Počet žíl: 2.

Prierez (mm^2)	Zaťažiteľnosť I_z (A)	Menovité prúdy istiacich prvkov v (A)			
		poistiek s charakteristikou			ističov
		gG	gF1	E27	IJL,IJU
1,5	17,5	10	10	16	10
2,5	24	16	20	20	16
4	32	25	25	25	25

3 KONTROLA S OHĽADOM NA ÚČINKY SKRATOVÝCH PRÚDOV

3.1 Dynamické účinky

Vznikajú vzájomným pôsobením elektromagnetických polí, vznikajúcich od prúdov tečúcich v susedných vodičoch a sú týmto prúdom priamo úmerné. Najväčší mechanický impulz spôsobuje práve prvá amplitúda skratového prúdu – nárazový skratový prúd I_{NS} . S rastúcim časom skratový prúd klesá, až sa ustáli na harmonickom priebehu (čo môže trvať až niekoľko desiatok sekúnd).

Vo všeobecnosti reálny časový priebeh skratového prúdu obsahuje:

- **Rázovú** (*subtranzitnú*) zložku exponenciálne klesajúcu s časom.
- **priechnú** (*tranzitnú*) zložku exponenciálne klesajúcu s časom,
- **jednosmernú zložku** exponenciálne klesajúcu s časom,
- **ustálenú zložku** ktorá má sínusový priebeh, frekvenciu sústavy a konštantnú amplitúdu.

Veľký prúdový impulz (nadprúd) spôsobí elektromechanické namáhanie, ktoré môže presiahnuť pevnostné medze vodičov a spôsobiť ich vytrhnutie z uloženia. V nn inštaláciách bývajú dynamické sily na vedeniach spravidla významné iba v blízkosti výkonných zdrojov (transformátorov). **Kontrola mechanického namáhania na dynamické účinky skratových prúdov sa preto robí iba pri vonkajších vedeniach transformovni a prípojníc rozvádzačov.** Pri káblových a izolovaných vedeniach, ktoré majú všetky tri fázy v spoločnom obložení neuvažujeme s dynamickými účinkami (tieto sa pri symetrii vedenia navzájom rušia).

3.2 Tepelné účinky

Následkom veľkého nadprúdu sa vodič rýchlejšie a viac otepľuje, pričom jeho teplota môže prekročiť dovolené hodnoty. Pri nedostatočne dimenzovaných vedeniach môžu mať skratové prúdy devastujúce účinky pretože v priebehu krátkej doby trvania skratu nemôže byť vzniknuté teplo odvedené do okolitého prostredia a poškodzuje izoláciu izolovaných vodičov alebo vzniká deformovanie holých vodičov.

Keďže počas skratu sa veľkosť skratového prúdu mení, posudzujú sa jeho tepelné účinky podľa tzv. **ekvivalentného otepľovacieho prúdu** I_{ET} . Je to vlastne akási fiktívna efektívna hodnota prúdu ustálenej veľkosti, ktorá má za rovnakú dobu rovnaký tepelný účinok ako uvažovaný skratový prúd.

Skratové prúdy musia byť vypnuté istiacim zariadením tak, aby nenastalo oteplenie vodičov nad prípustnú hranicu (Tab. 4). Pre skraty s časom trvania do 5 s sa čas t , v priebehu ktorého musí byť skrat vypnutý vypočíta zo vzťahu:

$$I^2 t \leq k^2 \cdot S^2$$

kde t je čas trvania skratu (s),

S je prierez vodiča (mm),

I je efektívna hodnota skratového prúdu (A) a

$k = 115$ pre Cu vodiče s PVC izoláciou, $=135$ pre Cu vodiče s gumovou

izoláciou, $= 78$ pre Al vodiče s PVC izoláciou, $= 87$ pre Al vodiče s gumovou izoláciou.

4 KONTROLA S OHĽADOM NA DOVOLENÚ PREVÁDZKOVÚ TEPLOTU JADIER VODIČOV

Vodič sa prechodom prúdu v dôsledku Jouleových strát otepluje a preto jeho teplota ako aj teplota izolačného obalu zvyčajne prevyšuje teplotu okolia. Veľkosť vznikajúceho tepla závisí od materiálu a prierezu jadra vodiča (najmä jeho rezistivity) a od prúdového zaťaženia. Závislosť teploty vodičov od prúdu má exponenciálny priebeh. S narastajúcim prúdom teda oteplenie vodiča prudko stúpa.

Vzniknuté teplo sa povrchom vodiča odovzdáva do jeho okolia (do izolačných vrstiev). Pri stálom prekračovaní prípustnej teploty jadier vodičov dochádza k podstatne rýchlejšiemu starnutiu izolácie, k zvýšenej korózii jadier najmä oxidačnými reakciami s okolitým prostredím ako aj s produktmi starnutia izolačného obalu. V krajných prípadoch (napr. pri skrate) dochádza aj k porušeniu mechanickej pevnosti vodičov a zničeniu izolácie požiarom.

Pre dimenzovanie platí zásada, že pri poruchových stavoch ako sú skrat alebo oteplenie z preťaženia nesmie teplota jadra prekročiť hodnotu **dovolenej teploty**, uvedenú v tabuľke 4.

Tab.4 Najvyššia dovoľená teplota jadier vodičov a káblov

Druh vodiča	Najvyššia dovoľená teplota (°C)		
	Normálna prevádzka	Preťaženie	Skrat
Holý vodič (Cu, Al)	80	180	300
Izolácia PVC	70	120	160
Izolácia guma	80	120	200

V praxi sa niekedy okrem najvyššej dovolenej teploty udávajú aj tabuľkové hodnoty dovoleného oteplenia Δt_{dov} , definovaného ako:

$$\Delta t_{\text{dov}} = t_{\text{dov}} - t_0$$

kde t_{dov} je prevádzková teplota jadra vodiča (1°C),
 t_0 je základná teplota okolia ($^\circ\text{C}$), ktorá je pri uložení v zemi 20°C a pri uložení vo vzduchu $25,45$ alebo 90°C

5 KONTROLA S OHĽADOM NA DOVOLENÝ ÚBYTOK NAPÄTIA

Správna funkcia spotrebičov je závislá od správneho napájania. Horná hranica napätia by spravidla nemala prekročiť 110 % menovitého napätia. Dolná hranica je daná dovolenými úbytkami napätia. Pri dimenzovaní podľa dovoleného úbytku napätia predpokladáme, že prúdové zaťaženie jadier káblov a vodičov nesmie spôsobiť pokles napätia na svorkách spotrebičov pod stanovené medze. Pre zadaný dovolený úbytok napätia ΔU (V) môžeme výpočtom stanoviť minimálny dovolený prierez jadra vodiča S (mm^2) pomocou vzťahu:

$$S = \rho l \frac{I_n}{\Delta U}$$

kde je ρ rezistivita materiálu vodiča ($\Omega \cdot \text{m}$),
 l dĺžka vedenia (m),
 I_n menovitý prúd tečúci vedením (A).

Ak nie je dovolený úbytok napätia predpísaný, platí zásada, že v mieste spotrebiča nemá byť pokles napätia vyšší než 5 % menovitého napätia siete a pokiaľ ide o pevné inštalácie v objektoch budov, má byť úbytok do 4 % menovitého napätia inštalácie.

6 KONTROLA S OHĽADOM NA ZAISTENIE SPRÁVNEJ FUNKCIE OCHRANY PRED ÚRAZOM ELEKTRICKÝM PRÚDOM

Ochrana pred nebezpečným dotykovým napätím v skupine ochrán so **samočinným odpojením od zdroja** v súvislosti s parametrami použitých káblov a vodičov (ich impedancie) spočíva najmä v zaistení celkovej nízkej impedancie vo vypínacom obvode (vypínacej slučke) medzi krajným a ochranným vodičom pri poruche, ktorá spôsobí reakciu (vypnutie) istiaceho prvku v požadovanom čase.

Vodiče a káble (ich impedanciu) je preto treba dimenzovať tak, aby v tzv. vypínacej slučke medzi fázovým a ochranným vodičom mohol tiecť dostatočne veľký prúd, ktorý pri prechode istiacim prvkom spôsobí spoľahlivé odpojenie poruchového obvodu a to skôr, ako nastane ohrozenie zdravia človeka (pri prekročení dohodnutej hodnoty bezpečného napätia v chránenom obvode).

V praxi je to najmä záležitosť voľby použitého materiálu (jeho rezistivity) a dimenzovania rozmerov (prierezu) jadier použitých káblov a vodičov. Treba popri tom rešpektovať aj zmeny rezistivity materiálu jadier káblov a vodičov pri zmene tepelných pomerov (nárast teploty) pri preťažení, resp. pri skrate. Podrobnosti o požiadavkách na ochranu odpojením EZ od napájania v prípade poruchy sú uvedené v **STN 33 2000-4-41: 2007**.

7 POSÚDENIE S OHĽADOM NA HOSPODÁRNY PRIEREZ VEDENIA

Požiadavka na hospodárnosť obmedzuje prierezy vodičov zhora. **Prierez jadra vodiča by nemal byť väčší než je to potrebné z hľadiska elektrických parametrov** (prúdová zaťažiteľnosť, skratová odolnosť, ochrana pred nebezpečným dotykom). S prierezom rastú náklady na inštaláciu a nájst optimum medzi elektrickými parametrami a nákladmi je niekedy zložitý proces. Zvyčajne sa prihliada na ostatné kritériá dimenzovania a vyberie sa najbližší vyšší prierez než prierez stanovený na ich základe. Technické problémy možno vo väčšine prípadov vyriešiť použitím výpočtov a poznatkov o vlastnostiach použitých materiálov a prípadne ich spoľahlivosť skontrolovať meraním.

LITERATÚRA:

- [1] STN 33 2000-4-41:2007 Elektrické inštalácie nízkeho napätia
Časť 4-41: Zaistenie bezpečnosti, Ochrana pred zásahom elektrickým prúdom.
- [2] STN 33 2000-4-42:2001 Elektrické inštalácie budov Časť 4: Zaistenie bezpečnosti
Kapitola 42: Ochrana pred účinkami tepla.
- [3] STN 33 2000-4-43:2004 Elektrické inštalácie budov Časť 4: Zaistenie bezpečnosti
Kapitola 43: Ochrana pred nadprúdom.
- [5] STN 33 2000-5-52:2001 Elektrické inštalácie budov Časť 5: Výber a stavba elektrických zariadení Kapitola 52: Elektrické rozvody.
- [7] STN 33 2000-5-523:2004 Elektrické inštalácie budov Časť 5: Výber a stavba elektrických zariadení Kapitola 523: Prúdová zaťažiteľnosť rozvodov.
- [8] STN 33 2000-5-54:2008 Elektrické inštalácie nízkeho napätia
Časť 5-54: Výber a stavba elektrických zariadení Uzemňovacie sústavy, ochranné vodiče a vodiče na ochranné pospájanie.
- [9] STN EN 60865-1 (33 3040): 2000 Skratové prúdy. Výpočet účinkov.
Časť 1: Definície a výpočtové metódy
- [10] Honys, Václav - Kříž, Michal: Dimenzovanie a istenie elektrických vedení, 1993