

Technická zařízení za požáru

4. Přednáška ČVUT FEL

Jištění z hlediska ochrany před úrazem elektrickým proudem

Ochrana samočinným odpojením nadproudovými jisticími prvky-pojistkami a jističi

V síti TN musí být splněna podmínka

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_v}$$

kde Z_s je impedance smyčky poruchového proudu

I_v je proud zajišťující samočinné odpojení v předepsané době

U_0 je jmenovité střídavé napětí sítě proti zemi

Maximální doba odpojení pro sítě TN je 400 ms. Průřezy fázového vodiče a vodiče PEN jsou přibližně shodné, Z_i je vnitřní impedance zdroje, pak pro impedanci smyčky platí

$$Z_i + \rho \frac{l_L + l_{PEN}}{S} \leq \frac{U_0}{I_v}$$

Pro malou impedanci zdroje Z_i bude

$$S \geq (l_L + l_{PEN}) \cdot \rho \cdot \frac{I_v}{U_0}$$

Protože napětí sítě a měrný odpor materiálu vodičů jsou konstanty, vypínací proud vyjádříme jako k-násobek jmenovitého proudu pojistky nebo jističe, který odpovídá proudu zajišťujícímu samočinné odpojení ve stanovené době

$$I_v = k \cdot I_n$$

Dostáváme pro průřez vodiče

$$S \geq konst. (l_L + l_{PEN}) \cdot I_n$$

Hodnoty S se volí podle tabulek

Poruchové stavy v silovém rozvodu

Zkrat je vzájemné spojení dvou nebo více fází nebo fáze s uzlem.

Může způsobit poškození:

- Dielektrik a izolátorů
- Tepelné poškození vodičů
- Mechanická poškození vodičů
- Mechanická poškození konstrukčních prvků upevnění vodičů

Impedance zkratové smyčky je převážně indukční-zmenšení činného výkonu a odlehčení generátoru. Klesá napětí, ztráta stability

Zkrat může být způsoben atmosférickými vlivy, únavou izolace, mechanickým poškozením, požárem, nesprávnou manipulací, náhodnými jevy

Přetížení

Průchod příliš velkého množství energie elektrickým zařízením. Dlouhodobé přetížení způsobuje tepelná poškození, částečně i mechanická, urychluje stárnutí izolací. Důsledkem přetížení je přehřátí objektu nad dovolenou mez. Míra poškození závisí na teplotě nebo jejím časovém integrálu.

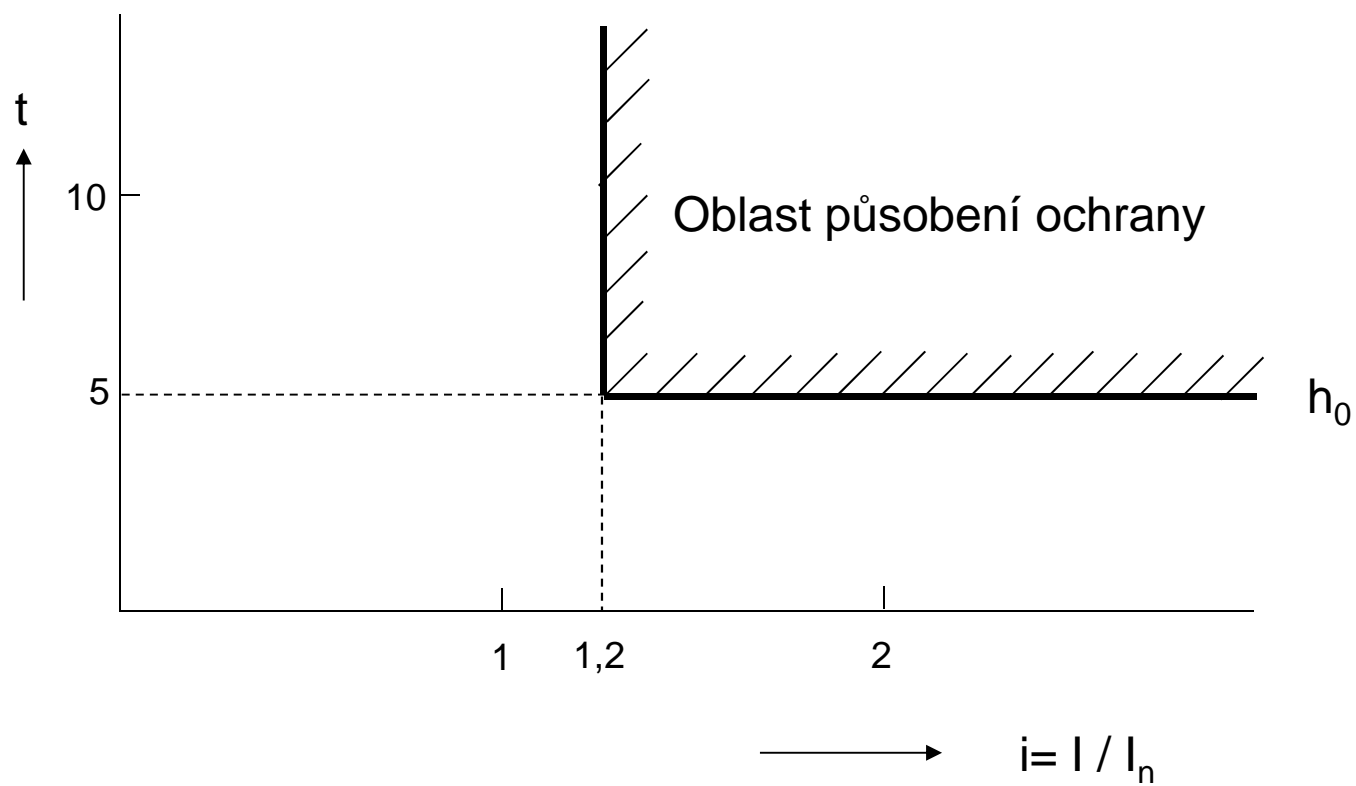
Přepětí

Je zvýšení napětí nad dovolenou mez a způsobuje poškození a stárnutí izolace, přídatné ztráty a zvětšené nebezpečí zkratu. Může být způsobeno atmosférickými vlivy, provozními poruchami regulace naětí, přechodovými jevy v síti atd.

Zemní spojení

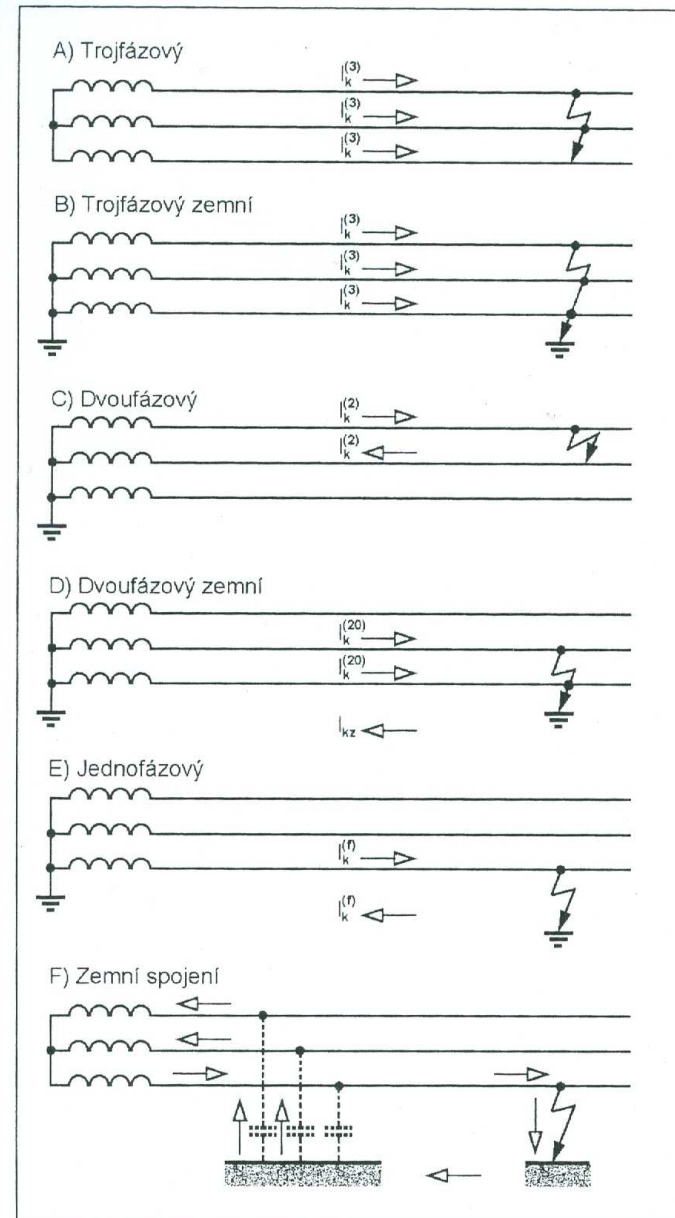
Je galvanické spojení jedné fáze se zemí v síti s izolovaným uzlem. Velká pravděpodobnost následného zkratu

Charakteristika nadproudové ochrany

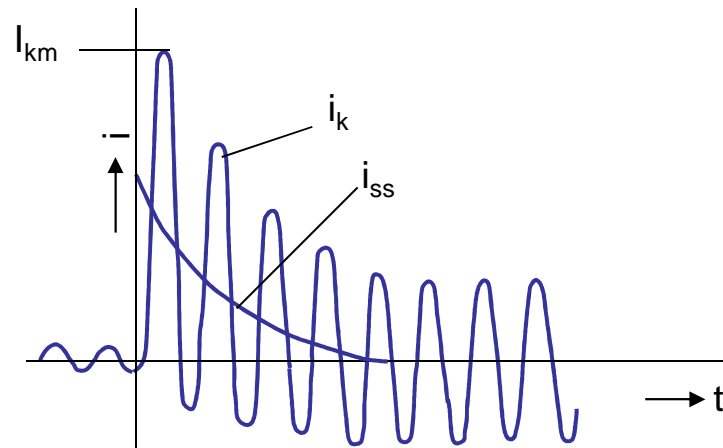


Ochrana vypíná objekt od elektrizační soustavy při překročení hranice h_0

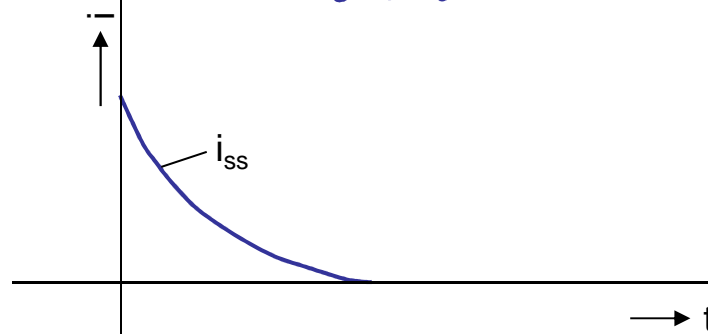
Druhy zkratů na trojfázovém vedení



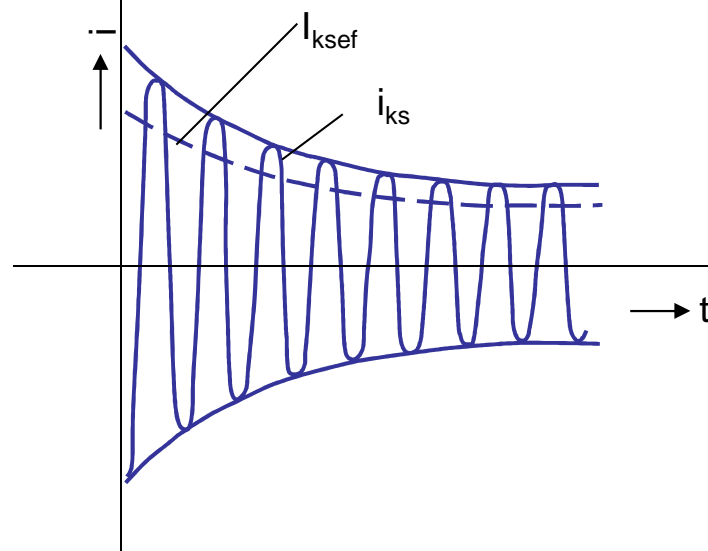
Průběh
skutečného
proudu



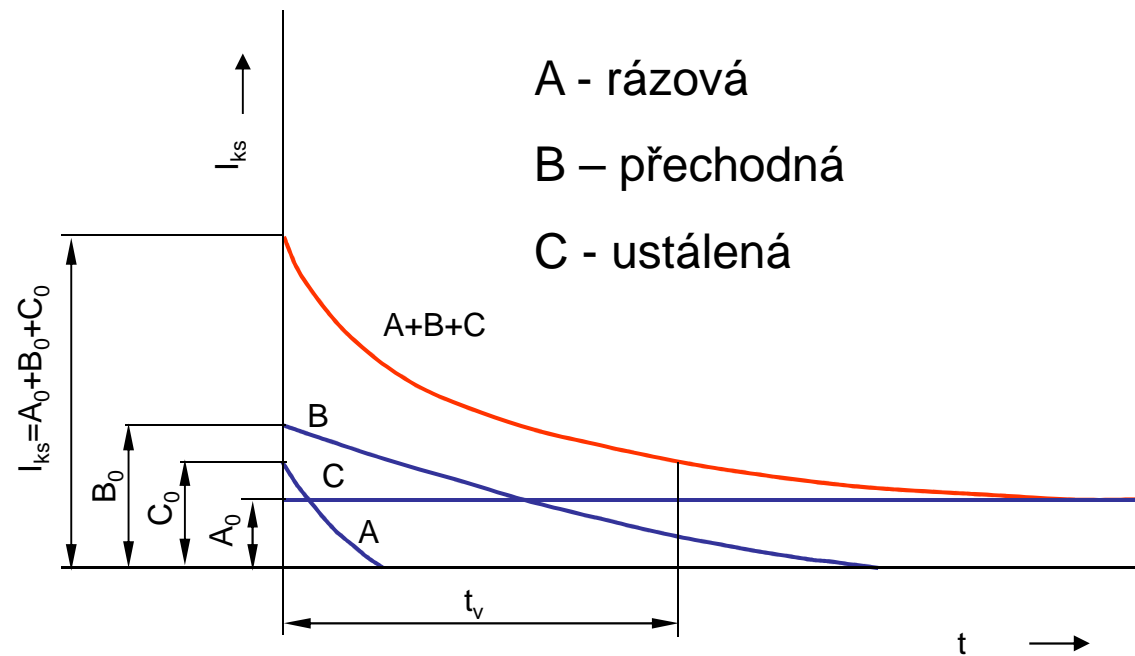
Steady-state
component



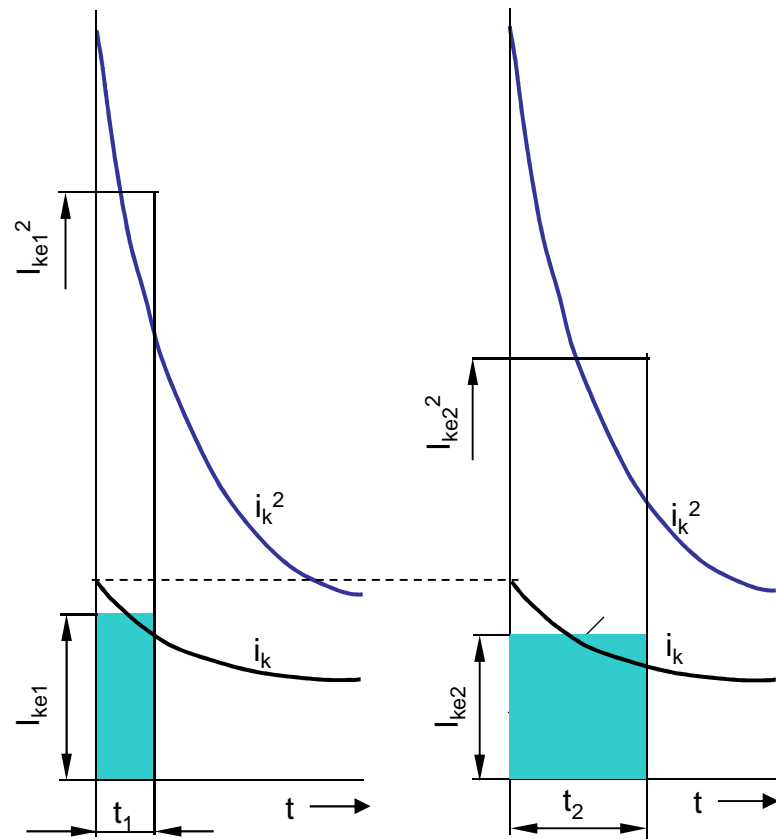
AC
component



Průběh
zkratového
proudu od
okamžiku vzniku
zkratu



Střídavé složky zkratového proudu



Ekvivalentní oteplovací zkratový proud

Odolnost vodičů vůči zkratovým proudům

Vodiče pro silový rozvod musí být navrženy tak, aby odolaly účinkům zkratových proudů.

Tepelné účinky zkratových proudů jsou rozhodující u vodičů a kabelů.

Při určování těchto účinků se předpokládá, že doba trvání zkratu, daná obecně časem působení zkratových ochran, je tak krátká, že vyvinuté teplo ve vodičích se nestačí odvést ani vyzářit a projeví se pouze zvýšením teploty vodičů z původní teploty ϑ_1 před zkratem na hodnotu ϑ_k po vypnutí zkratu.

Výpočtem kontrolujeme, zda zvolený průřez vodiče odolá tepelnému namáhání zkratovými proudy, nebo zda je potřeba zvolit průřez větší

Kontrola se provádí u silových kabelů nebo u vícežilových vodičů pro silový rozvod

Určování funkčních závislostí

Rayleighova algebraická metoda rozměrového vyjádření funkčních závislostí mezi veličinami

Tato metoda může vést k jednoduchému řešení až na bezrozměrovou konstantu

Rozměr fyzikální veličiny Q je určen rozměrovým součinem

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \Theta^\varepsilon N^\xi J^\eta$$

kde L, M, T, \dots jsou rozměrové symboly základních fyzikálních veličin

$\alpha, \beta, \gamma, \dots$ jsou rozměrové exponenty

Hledaná funkční závislost mezi veličinami je obecně vyjádřena

$$f = f(a, b, c, \dots)$$

V rozměrové rovnici se všechny veličiny vyjádří ve tvaru rozměrových součinů s neznámými exponenty

$$\dim f = k \cdot (\dim a)^x \cdot (\dim b)^y \cdot (\dim c)^z \dots$$

Z exponentů u příslušných základních rozměrů se sestaví soustava rovnic

Řešením soustavy rovnic jsou pak exponenty, které určují hledanou funkční závislost

Odvození z rozměrové analýzy

Velikost průřezu S vodiče je funkcí pěti proměnných

$$S = S(\rho, c, t, \vartheta, I)$$

$$m^2 = k \cdot (kg \cdot m^3 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2})^x \cdot (kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} \cdot K^{-1})^y \cdot s^z \cdot K^u \cdot A^v$$

Porovnáním exponentů dostaneme soustavu rovnic:

kg:	$0 = x + y$
m:	$2 = 3x - y$
s:	$0 = -3x - 2y + z$
A:	$0 = -2x + v$
K:	$0 = -y + u$

Soustava rovnic má řešení

$$x = \frac{1}{2} \quad y = -\frac{1}{2} \quad z = \frac{1}{2} \quad u = -\frac{1}{2} \quad v = 1$$

Pro velikost průřezu S vodiče pak platí vztah

$$S = konst.. \rho^{\frac{1}{2}} \cdot c^{-\frac{1}{2}} \cdot t^{\frac{1}{2}} \cdot \vartheta^{-\frac{1}{2}} \cdot I$$

$$S = k \cdot \sqrt{\frac{\rho}{c \cdot \vartheta}} \cdot I \cdot \sqrt{t}$$

Užitečný vztah dostaneme po úpravě pro proudovou hustotu J :

$$\frac{S}{I} = k \cdot \sqrt{\frac{\rho}{c \cdot \vartheta}} \cdot \sqrt{t}$$

a odtud

$$J = k' \cdot \sqrt{\frac{c \cdot \vartheta}{\rho}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}}$$

Odkaz na diagram na obr. pro závislost hospodárné proudové hustoty na době plných ztrát.

Dimenzování z hlediska zkratových proudů

Teplo vyvinuté ve vodiči

$$Q = \int_0^{t_k} R(\vartheta) i_k^2(t) dt$$

kde ,

R je rezistance vodiče

t_k je doba trvání zkratu

i_k je zkratový proud

Substituce časově proměnného zkratového proudu **ekvivalentním oteplovacím proudem** I_{ke}

$$I_{ke} = \sqrt{\frac{1}{t_k} \int_0^{t_k} i_k^2(t) dt}$$

I_{ke} je možno určit jako násobek počátečního rázového zkratového proudu

$$I_{ke} = k_e I_k'' \quad , \quad k_e \text{ se určí z tabulek}$$

Teplo vyvinuté při zkratu je

$$Q = R(\vartheta) I_{ke}^2 t_k$$

$$Q = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} cV d\vartheta$$

kde

c je měrná tepelná kapacita objemu vodiče ($\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$)

V je objem vodiče

$$I_{ke}^2 \cdot t_k = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \frac{cV}{R(\vartheta)} d\vartheta$$

Teplotní závislost rezistance je vyjádřena vztahem

$$R(\vartheta) = R_{20} \frac{\vartheta_f + \vartheta}{\vartheta_f + 20}$$

kde

α je teplotní odporový součinitel materiálu vodiče

$\vartheta_f = \frac{1}{\alpha}$ je fiktivní teplota vodiče.

Dále dostaneme

$$I_{ke}^2 \cdot t_k = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_k} \frac{cV}{R_{20}} \frac{\vartheta_f + 20}{\vartheta_f + \vartheta} d\vartheta = \frac{cV}{R_{20}} (\vartheta_f + 20) \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}$$

$$V = S \cdot l \quad R_{20} = \rho_{20} \cdot \frac{l}{S}$$

$$I_{ke}^2 \cdot t_k = \frac{cS^2}{\rho_{20}} (\vartheta_f + 20) \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1} = S^2 \cdot K^2$$

Vztah pro velikost průřezu vodiče, který vyhoví z hlediska namáhání zkratovými proudy v souladu s ČSN 33 3040

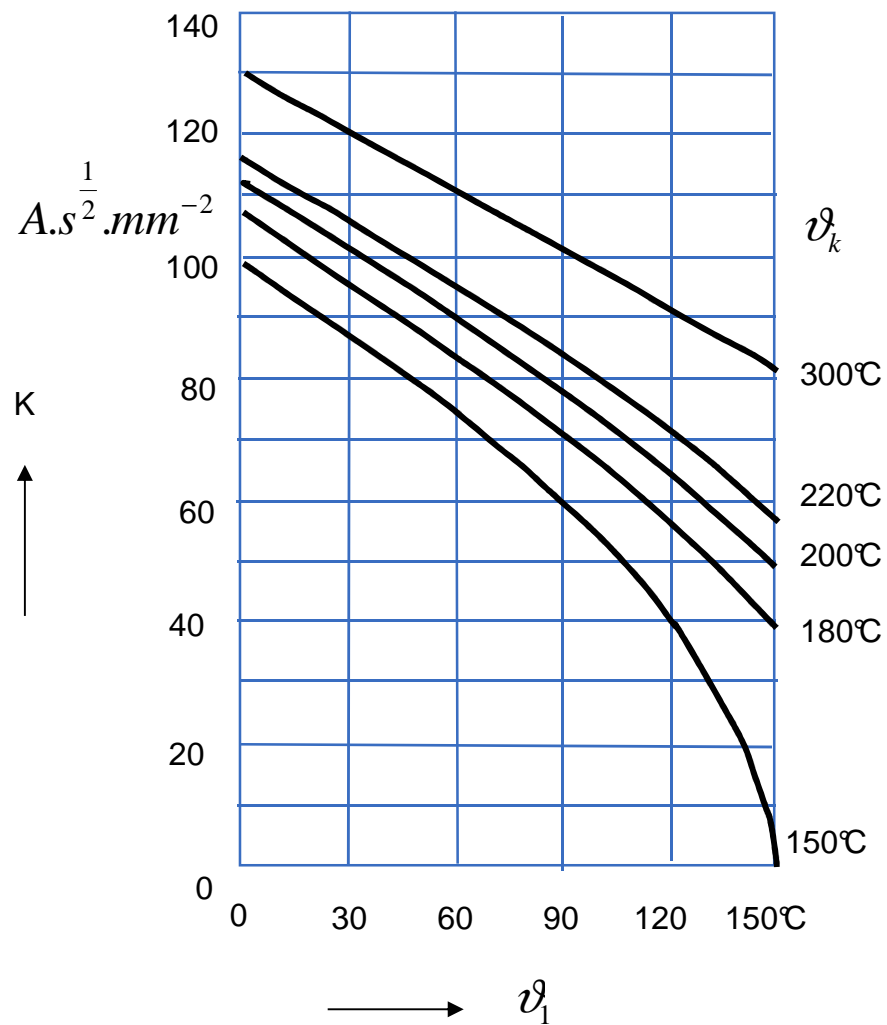
$$S = \frac{I_{ke} \sqrt{t_k}}{K}$$

Symbol K označuje materiálový parametr

$$K = \sqrt{\frac{c}{\rho_{20}} (\vartheta_f + 20) \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}} = K(c, \rho_{20}, \alpha, \vartheta_k, \vartheta_1)$$

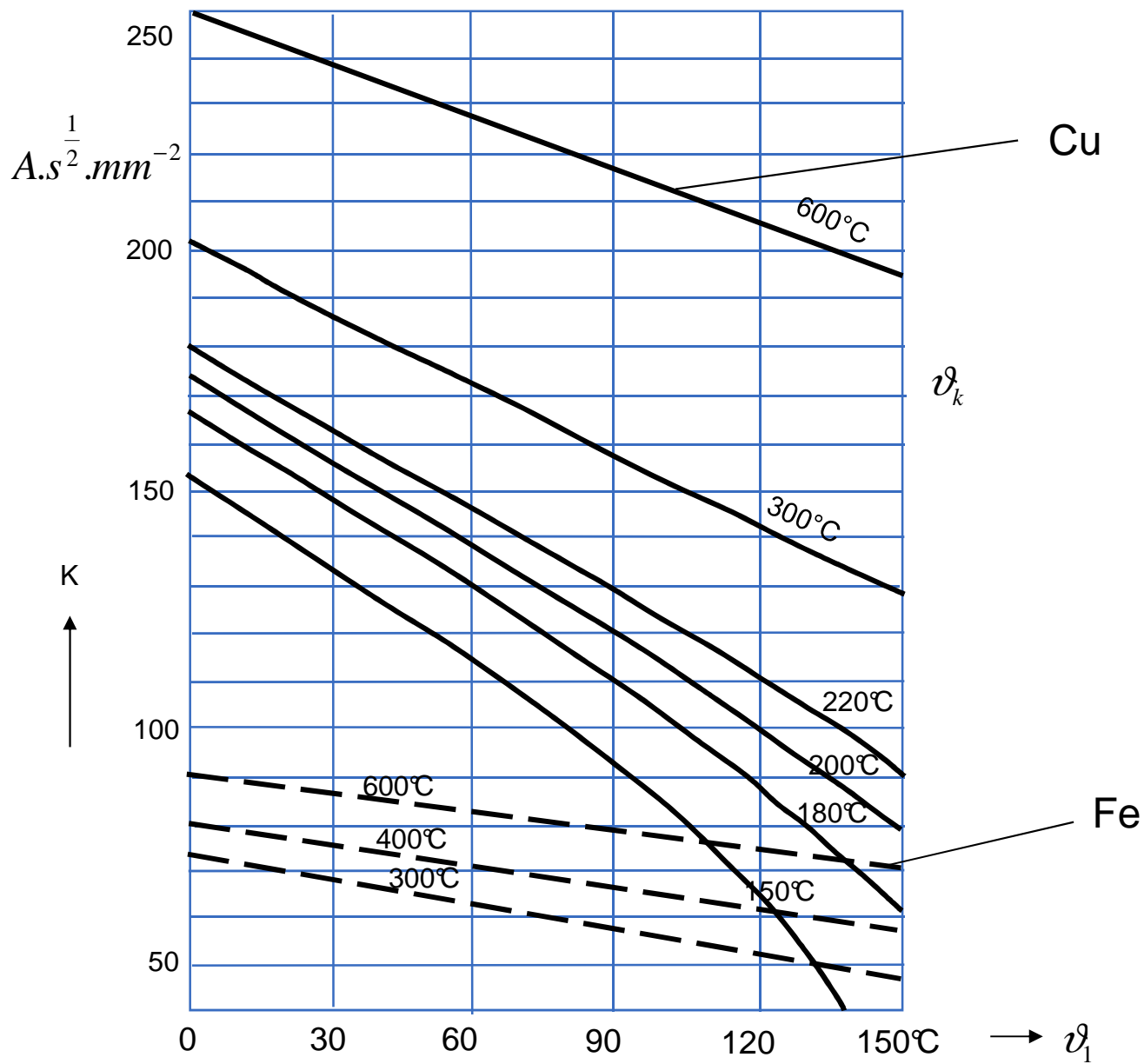
Parametr K se určuje buď výpočtem nebo z grafických pomůcek

Materiálová konstanta K



Odolnost průřezu vodiče
tepelnému namáhání
zkratovými proudy pro Al

Materiálová konstanta K



Odolnost průřezu vodiče vůči tepelnému namáhání zkratovými proudy pro Cu a Fe

Hospodárný průřez vedení

Návrh vodičů podle ekonomických zásad

Velikost **doby plných ztrát** τ_z

Vychází se ze závislosti hospodárné proudové hustoty na době plných ztrát (hodin za rok)

$$\int_0^T Ri^2(t)dt = RI_{\max}^2 \tau_z$$

$$\tau_z = \frac{\int_0^T i^2(t)dt}{I_{\max}^2} = T \frac{I_{ef}^2}{I_{\max}^2} = T \left(\frac{\xi I_{ef}}{I_{stř}} \right)^2$$

kde

T je sledované období (h)

$\xi = \frac{I_{stř}}{I_{\max}}$ je zatěžovatel (-)

$I_{stř}$, I_{ef} , I_{\max} jsou hodnoty zatěžovacích proudů (A)

Doba plných ztrát je doba, po kterou bychom museli vyrábět maximální ztrátový výkon, abychom vyrobili stejnou ztrátovou práci, jako při proměnlivém ztrátovém výkonu v celém sledovaném období.

Hospodárný průřez určený podle vztahu

$$S = k I_v \sqrt{\tau_z}$$

se kontroluje tehdy, jeli doba plných ztrát větší než 1000 h/rok a kde se životnost odhaduje alespoň na 10 let provozu.

S rostoucím zatěžováním vodiče hospodárná hustota klesá

Velikost **hospodárného průřezu vedení** se pak určuje z rovnice (viz rozměrová analýza)

$$S^2 K^2 = I_v^2 \tau_z = \frac{S^2}{k^2}$$

$$S = k I_v \sqrt{\tau_z}$$

kde

S je hospodárný průřez vedení (mm²)

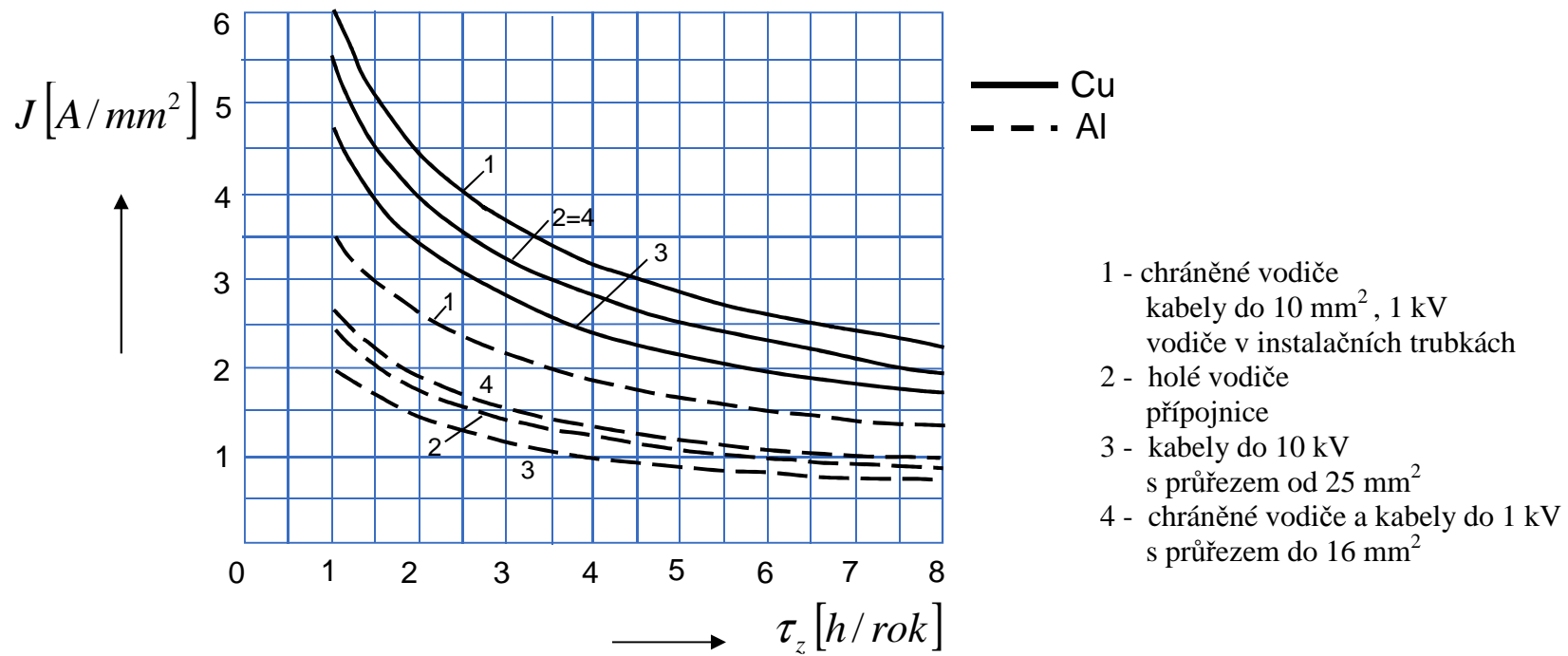
k je součinitel závislý na druhu vodiče (mm².A⁻¹)

I_v je výpočtový proud v (A)

τ_z je (relativní) doba plných ztrát (hodin/rok)

Hospodárná proudová hustota

$$J = \frac{konst}{\sqrt{\tau_z}}$$



Hospodárná proudová hustota $J = \frac{konst}{\sqrt{\tau_z}}$

Velikost součinitele k pro určení hospodárného průřezu

Druh vedení	Součinitel k ($\text{mm}^2 \cdot \text{A}^{-1}$)	
	Měděné vodiče	Hliníkové vodiče
Holé přípojnice	0,006	0,014
Kabely od 25 mm^2 výše do 10 kV	0,007	0,0168
Chráněné vodiče a kabely do 1kV o průřezu do 16 mm^2	0,006	0,0129
Chráněné vodiče a kabely do 10 mm^2 , 1kV nebo vodiče v instalačních trubkách	0,0053	0,009

Hospodárný provoz se kontroluje pro τ_z větší než 1000 hod/rok,
životnost zařízení alespoň 10 let provozu

Od kontroly hospodárnosti se upouští u světelných sítí navrhovaných z
hlediska úbytku napětí, u napájecích vedení k menším a drobným
spotřebičům

Dimenzování a jistění vedení v blízkosti hořlavých hmot s ohledem na přetížení vedení

Teplo vzniká průchodem proudu, tepelně izolační látka brání přechodu tepla z vodiče do okolního prostředí

Tepelně izolační látky jsou: izolace vodiče a samotné okolní prostředí

Míra omezování přechodu tepla (tepelného výkonu) do okolí je vyjádřena jako tepelný odpor (R_T) mezi jádrem vodiče a okolím.

Tepelný výkon P se vyjádří:
$$P = \frac{\Delta\vartheta}{R_T},$$

kde $\Delta\vartheta$ je teplotní rozdíl mezi jádrem vodiče a okolním prostředím ve $^{\circ}\text{C}$,

R_T je tepelný odpor.

Použitá analogie tepelných a elektrických veličin:

Teplota	ϑ	$^{\circ}\text{C}$	Elektrický potenciál	φ
Rozdíl teplot	$\Delta\vartheta$	$^{\circ}\text{C}$	napětí	U
Výkon	P	$\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$	proud	I
Tepelný odpor	R_T	$\text{J}^{-1}\cdot\text{K}\cdot\text{s}$	odpor	R
Tepelná kapacita	C_T	$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$	kapacita	C

V ustáleném stavu je výkon roven

$$P = R \cdot I^2$$

a protože

$$R \cdot I^2 = \frac{\Delta \vartheta}{R_T}$$

je proud

$$I = \sqrt{\frac{\Delta \vartheta}{R \cdot R_T}}$$

Jmenovitý proud vodičů se určuje tak, aby za určených podmínek použití (teploty okolí a způsobu uložení) jádro vodiče nepřesáhlo maximální dovolenou teplotu.

Pro hrubý odhad stačí vědět, že **ztrátový tepelný výkon** vodiče roste přibližně s **druhou mocninou proudu**.

Měření v praxi však ukazují, že tato závislost platí pouze pro holé vodiče. Pro izolované vodiče a kabely je tato závislost ještě nepříznivější. V praxi byla uznána úměra

$$\Delta \vartheta \approx I^{2,492}$$

Ukazuje se , že u kabelů lze uvažovat s úměrou

$$\Delta \vartheta \approx I^{2,25}$$

Příklad:

Při přetížení nesmí být překročena teplota 120°C, provozní teplota 70°C, teplota okolí 30°C. Zatížitelnost vodiče je 10 A
Jak velký může být maximální dovolený nadproud ?

$$\text{Provozní oteplení : } \Delta \vartheta_{prov} = 70 - 30 = 40^\circ C$$

$$\text{Oteplení při přetížení: } \Delta \vartheta_{př} = 120 - 30 = 90^\circ C$$

Dlouhodobý dovolený poměrný nadproud:

$$i = \left(\frac{\Delta \vartheta_{př}}{\Delta \vartheta_{prov}} \right)^{\frac{1}{2,25}} = 1,434$$

Dovolené proudové zatížení je

$$I_z = 14,34 A$$

Teplo vyvinuté ve vodiči se rovná jednak teplu předávanému povrchem vodiče do okolí, jednak teplu, které vodič, jeho izolace a částečně i okolí spotřebují na svoje ohřátí o $\Delta\vartheta$

$$Q = C_T \Delta\vartheta$$

Tepelný výkon věnovaný na ohřátí vodiče je derivací dodané tepelné energie podle času

$$\frac{dQ}{dt} = C_T \frac{d\Delta\vartheta}{dt}$$

Teplo vyvinuté průchodem proudu vodičem se rovná součtu tepla předávaného vodičem do okolí a tepla ohřívajícího vodič a jeho izolaci včetně nejbližšího okolí

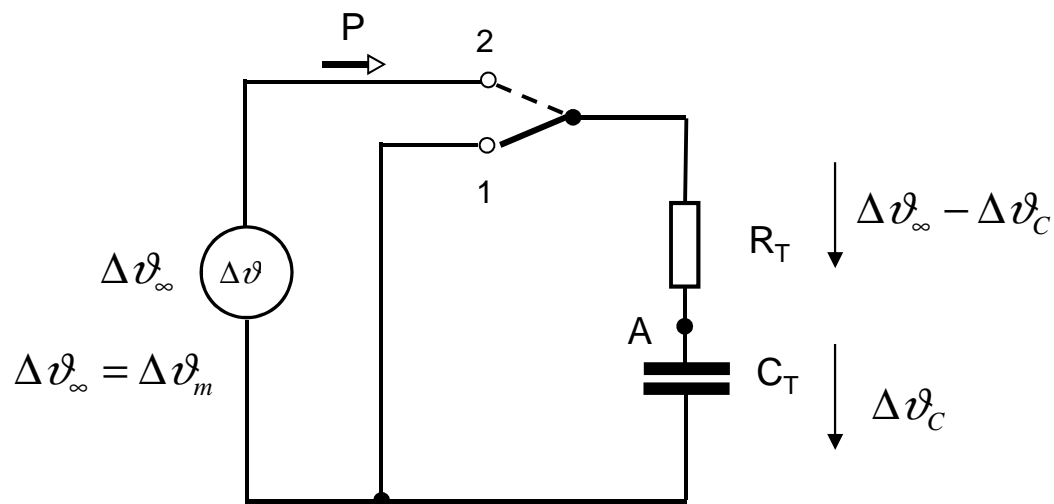
Rovnice pro přechodový děj charakterizující stav poté, kdy vodičem začal procházet proud, má tento tvar

$$P = RI^2 = \frac{\Delta\vartheta}{R_T} + C_T \frac{d(\Delta\vartheta)}{dt}$$

Jištění vedení z hlediska jeho oteplení

Zvýšení proudu ve vodiči odpovídá zvýšení ztrátového výkonu ve vodiči
Teplo se nerozptyluje jen do okolí, ale zahřívá vodič a izolaci vodiče

Časová oteplovací konstanta vodiče – je rovna době, za kterou by jeho teplota dosáhla konečné hodnoty ustáleného stavu v případě, kdy by se po celou dobu ohřevu vodiče žádný ztrátový výkon do okolí neodváděl a všechno by se věnovalo jenom na ohřev vodiče, jeho izolace i blízkého okolí.



Časová oteplovací konstanta $\tau = R_T \cdot C_T$

Analogické schéma oteplování vedení

Ustálený výkon je roven součtu výkonu potřebného k ohřevu vodiče a jeho izolace, kde hraje roli tepelná kapacita vodiče a izolace

$$\Delta P_1 = C_T \cdot \frac{d\Delta\vartheta_C}{dt}$$

a výkonu rozptýleného do okolí vodiče $\frac{\Delta\vartheta}{R_T}$,

kde R_T je tepelný odpor mezi jádrem vodiče a okolím. Tento výkon nesmí překročit hodnotu maximálního provozního oteplení, označme ji $\Delta\vartheta_m$, která je rovna

$$\Delta\vartheta_m = \Delta\vartheta_p \cdot \left(\frac{I}{I_p} \right)^{2,492}$$

Musí platit pro výkon (v bodě A)

$$C_T \frac{d\Delta\vartheta_C}{dt} + \frac{\Delta\vartheta_C - \Delta\vartheta_m}{R_T} = 0$$

$$C_T \frac{d\Delta\vartheta_C}{dt} + \frac{\Delta\vartheta_C}{R_T} = \frac{\Delta\vartheta_m}{R_T}$$

$$\tau \frac{d\Delta\vartheta_C}{dt} + \Delta\vartheta_C = \Delta\vartheta_m$$

Homogenní rovnice

$$\frac{d\Delta\vartheta_C}{dt} + \frac{\Delta\vartheta_C}{\tau} = 0$$

Řešíme separací proměnných

$$\frac{d\Delta\vartheta_C}{\Delta\vartheta_C} = -\frac{dt}{\tau}$$

Integrací dostaneme

$$\ln \Delta\vartheta_C = -\frac{1}{\tau}t + \ln C$$

$$\Delta\vartheta_C(t) = C \cdot e^{-t/\tau}$$

Partikulární integrál je roven ustálenému stavu oteplení $\Delta\vartheta_m$

Úplné řešení diferenciální rovnice je

$$\Delta\vartheta_c = C \cdot e^{-t/\tau} + \Delta\vartheta_m$$

Pro $t = 0$ je $\Delta\vartheta_c = 0$, $C = -\Delta\vartheta_m$. Pak tato diferenciální rovnice má řešení

$$\Delta\vartheta_c(t) = \Delta\vartheta_m \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

Výpočet oteplení se provádí podle vzorce

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_p \cdot (I/I_p)^{2,492} \cdot (1 - e^{-t_{odp}/\tau})$$

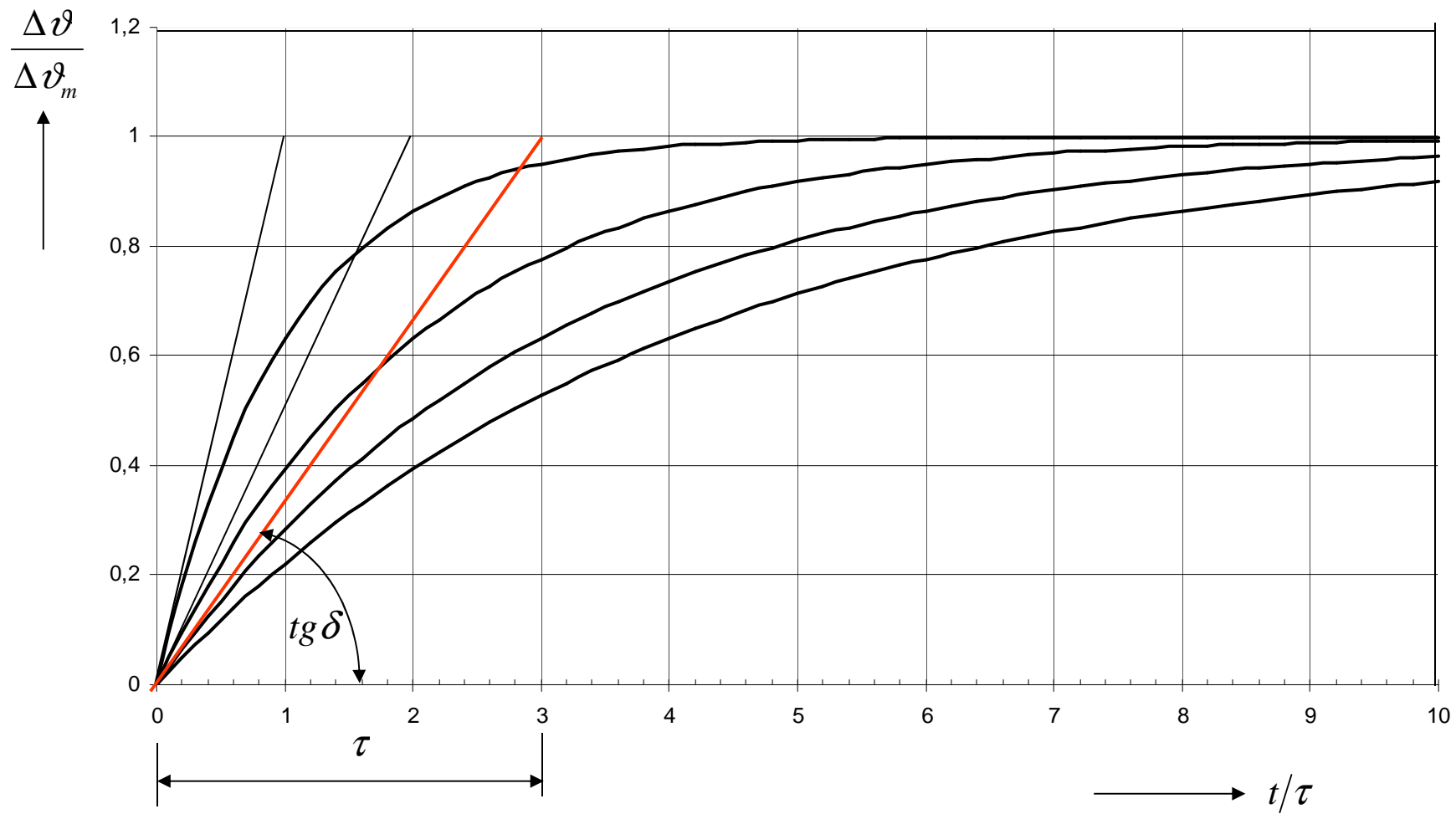
kde:

$\Delta\vartheta_p$ je maximální dovolené provozní oteplení,

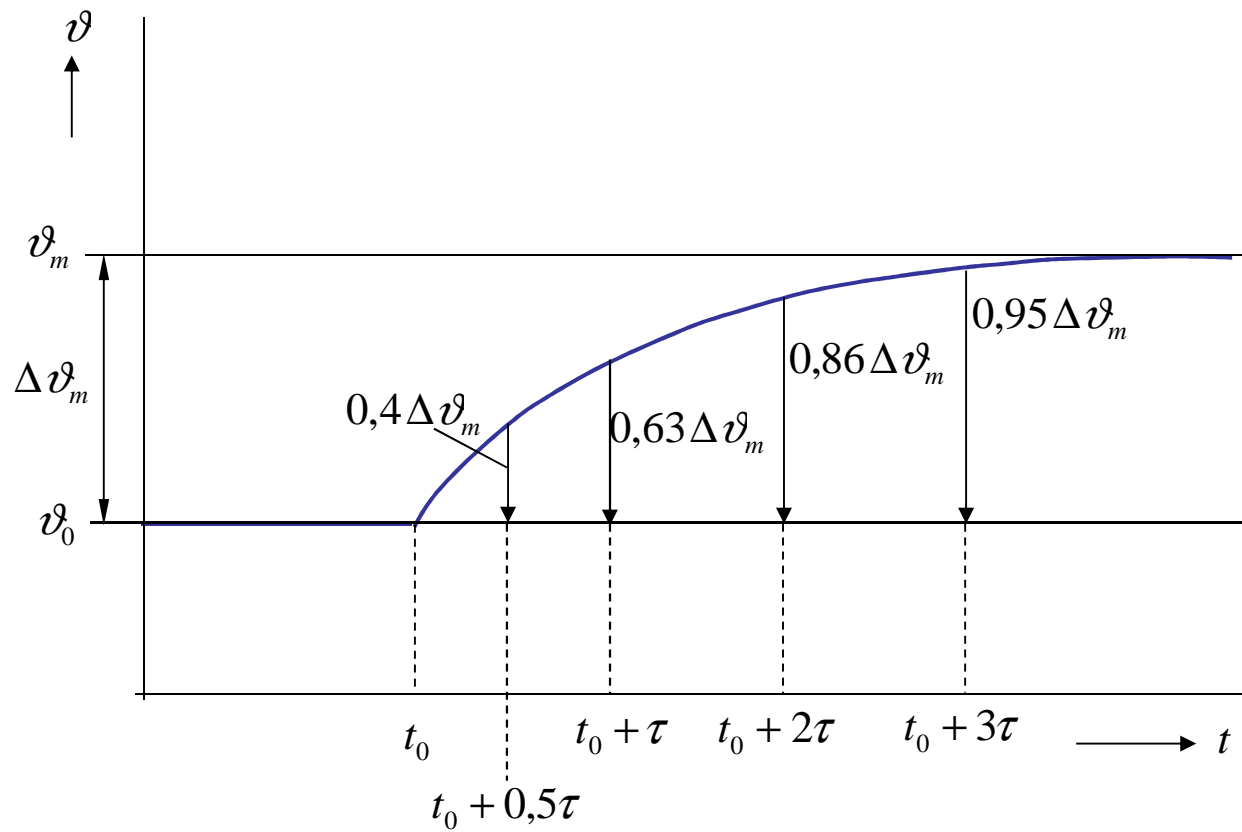
I_p je provozní proud

t_{odp} je doba odpojení

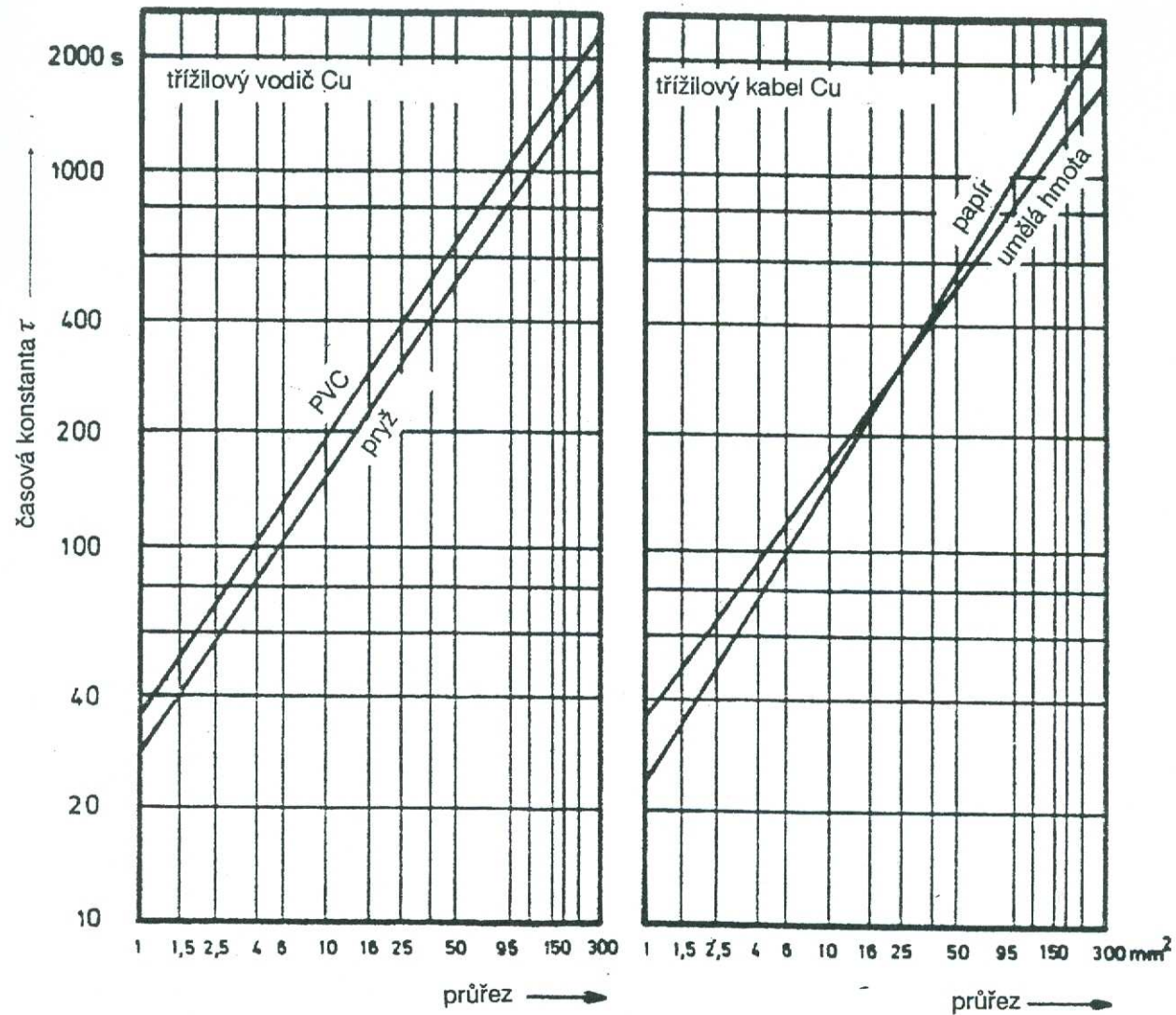
Nárůst oteplení podle vztahu $(1 - e^{-t/\tau})$



Charakteristiky jisticích prvků **omezují** nárůst teploty podle vztahu $(1 - e^{-t/\tau})$



Časový průběh oteplení vodičů a kabelů



Časová oteplovací konstanta τ pro třížilové vodiče a kabely s měděnými jádry

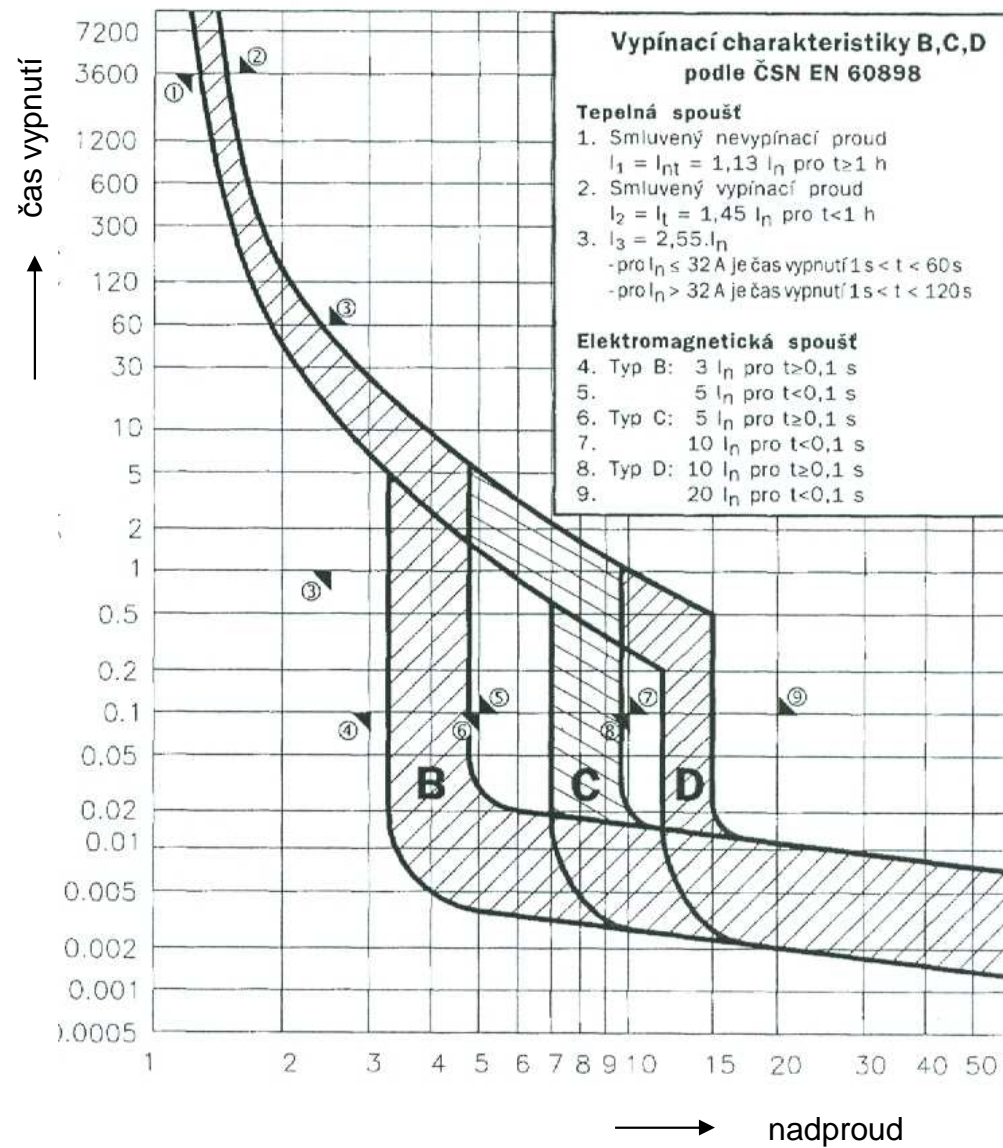
Využití časové oteplovací konstanty pro jištění vedení před přetížením

Máme určit, zda jsou k sobě správně přiřazeny jisticí prvky a vodiče, zda jistič vypne dříve, než teplota vedení přesáhne dovolenou teplotu při přetížení. Splnění tohoto požadavku se kontroluje pomocí ampérsekundové charakteristiky použitého jisticího prvku.

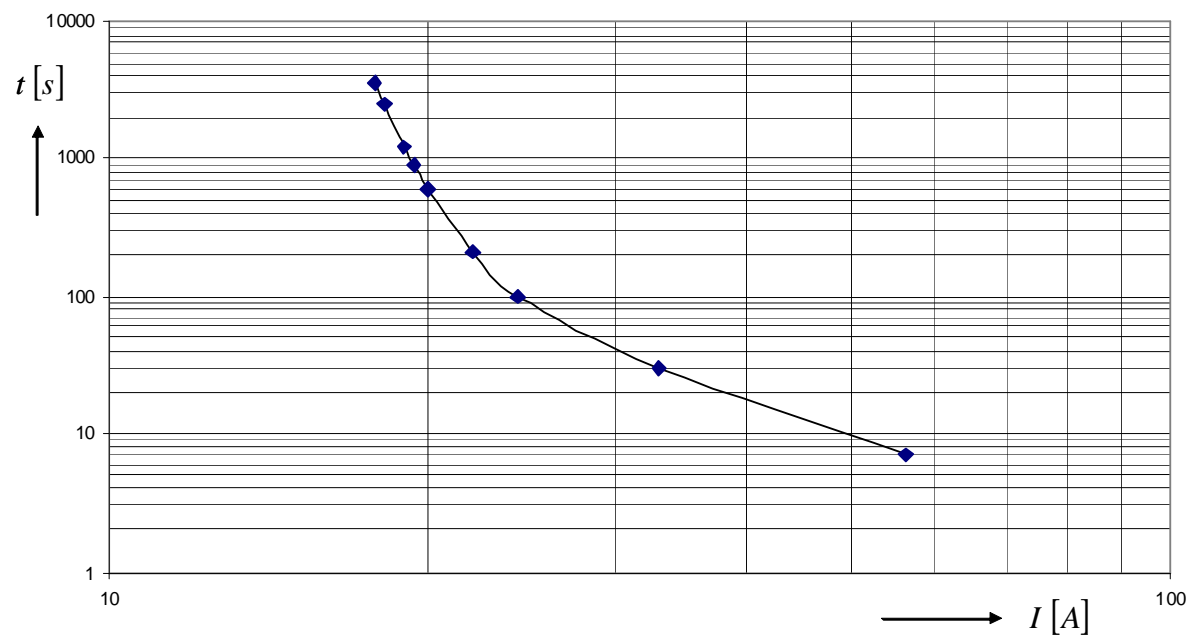
Jistič 13A, charakteristika B, tepelná spoušť

Vypínací charakteristika tepelné spouště

Bod charakteristiky	Proud [A]	čas odpojení [s]
1	17,8	3600
2	18,2	2500
3	19	1200
4	19,4	900
5	20	600
6	22	200
7	24,3	100
8	33	30
9	56,3	7



Výsek z charakteristiky tepelné spouště jističe o jmenovitém proudu 13 A,
charakteristika B



Příklad

Máme zkontrolovat jištění před přetížením kabelu CYKY3 Cx1,5 mm² uloženého v izolační stěně jehož trvalá zatížitelnost je $I_z = 14,5 A$,

časová oteplovací konstanta kabelu je 290 s, s jističem charakteristiky B se jmenovitým proudem 13 A, jehož charakteristika je vymezena vybranými body:

Bod	Proud [A]	Čas [s]
1	17,81	3600
2	19,435	900
3	24,3	100
4	56,3	7

Dále předpokládáme:

Teplota okolí je 30°C

Maximální dovolená teplota při normálním zatížení 70°C (dovolené oteplení je 40°C)

Maximální teplota při přetížení je 120°C (dovolení oteplení při přetížení je 90°C)

Výpočet pro jednotlivé body:

Pro bod 1)

$$\Delta \vartheta = \Delta \vartheta_{dov} \cdot \left(\frac{I}{I_z} \right)^{2,492} \cdot (1 - e^{-t/\tau}) = 40 \cdot (17,81/14,5)^{2,492} \cdot (1 - e^{-3600/290}) = 66,8^\circ C$$

Výraz v poslední závorce se ve výpočtu neprojeví, neboť doba vypnutí 3600 s je asi 12x větší než časová oteplovací konstanta kabelu. Teplota, kterou jádro kabelu dosáhne je

$$\vartheta = 30^\circ C + 66,8^\circ C = 96,8^\circ C$$

2) Pro 19,435 A a 900 s je oteplení 79,3°C a teplota je 109,3°C. (Bez působení jisticího prvku by trvalé oteplení dosáhlo hodnoty 83°C a teplota 113°C.)

3) Oteplení je 42,2°C a teplota je 72,2°C. Kdyby proud protékal trvale, oteplení by bylo 144,8 °C a teplota by byla 174,8°C, což je ne přípustné.

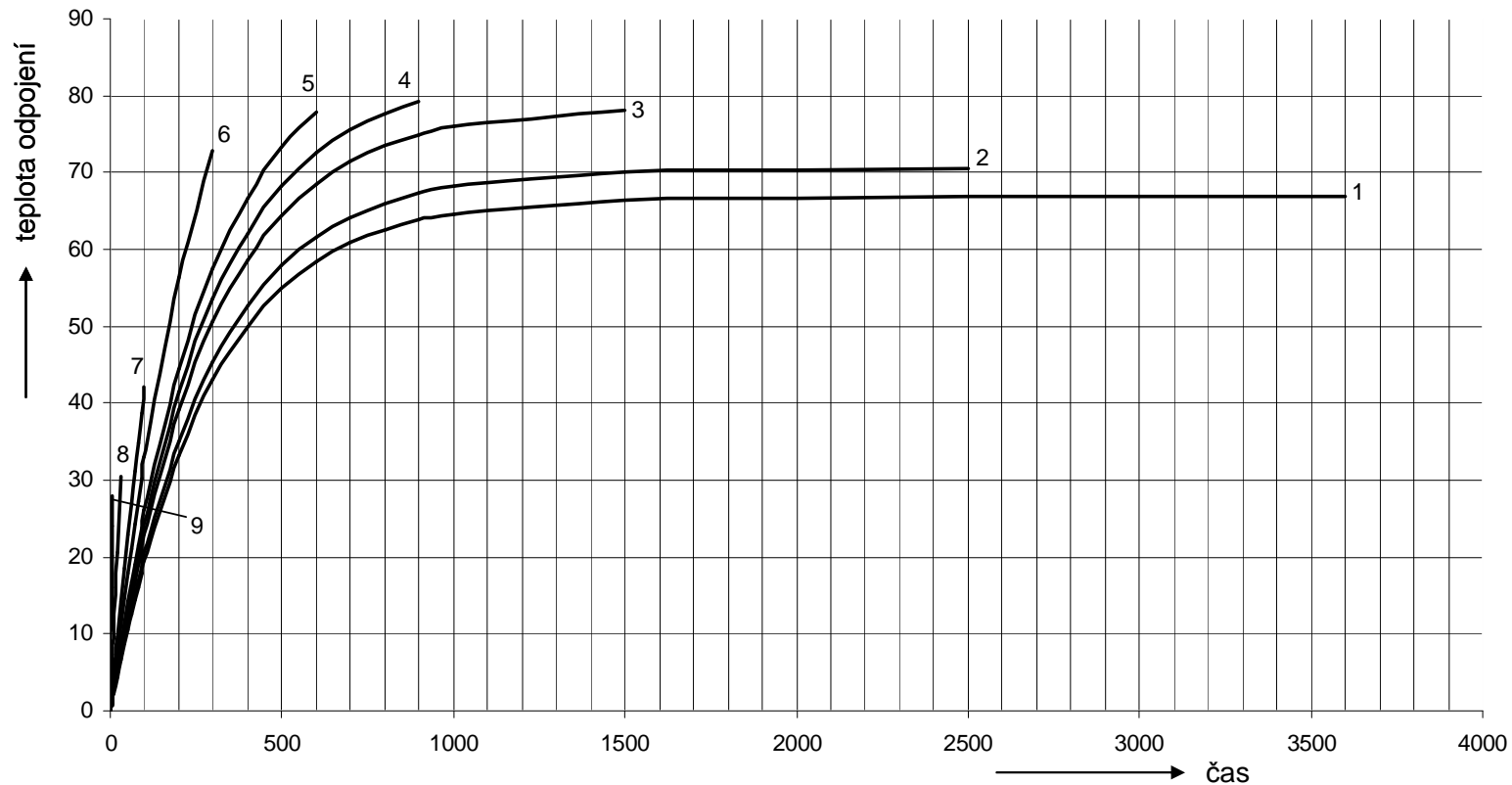
4) Oteplení 28°C a teplota 58°C. Bez působení jisticího prvku by trvalé oteplení bylo teoreticky 1175°C a teplota 1205°C. Došlo by k řetavení vodiče.

Ostatní hodnoty jsou uvedeny v tabulce

Vypočtené hodnoty pro 9 bodů tepelné spoště

Pořadí	Proud	Čas	Teplota odpojení	Výraz $40 \cdot (I/I_z)^{2,492}$	Výraz $(1 - e^{-t/\tau})$
1	17,8	3600	66,77	66,77	1
2	18,2	2500	70,32	70,47	0,998
3	19	1200	77,2	78,45	0,98
4	19,4	900	79,265	83	0,9551
5	20	600	77,885	89,145	0,8737
6	22	200	72,86	113,04	0,644
7	24,3	100	42,145	144,83	0,291
8	33	30	30,516	310,504	0,09828
9	56,3	7	28,03	1175,43	0,02385

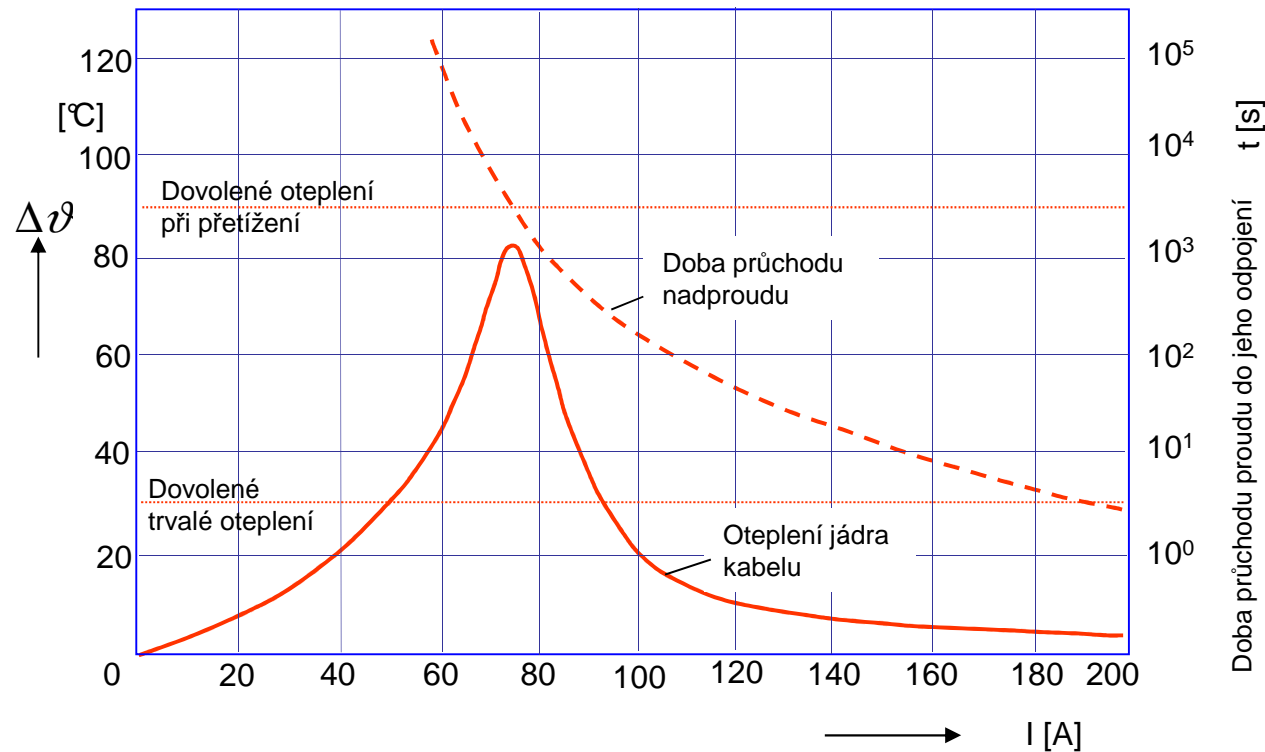
Oteplování je tím větší, čím větší je nadproud, který v okamžiku 0 začne kabelem procházet. Čím větší je nadproud, tím dříve dojde k jeho odpojení. Pro každý nadproud je maximální teplota dosažena v okamžiku odpojení



Na obrázku je soubor oteplovacích charakteristik pro různé nadproudy. Okamžik 0 odpovídá teplotě 30°C. Čím větší je nadproud, tím větší je oteplování, tím dříve dojde také k odpojení.

Pro každý nadproud je maximální teplota dosažena v okamžiku odpojení. **Velké nadproudy jsou odpojeny během několika sekund, takže teploty dosažené při těchto nadproudech jsou nižší, než při poměrně malých nadproudech.** Např. odpojení nadproudu o velikosti 145% jmenovitého proudu může trvat 1 až 2 hodiny. Průběh oteplování končí v okamžiku, kdy byl proud přerušen jističem s charakteristikou B

Závislost oteplení jádra kabelu na velikosti nadproudu je znázorněna na obrázku. Jádro kabelu se s velikostí proudu otepluje - jedná se o kabel CGTG 10 mm². Při jmenovitém proudu kabelu 50 A dosahuje oteplení 30°C, což je dovolené oteplení pro maximální provozní teplotu 60°C a teplotu okolí 30 °C. Časová oteplovací konstanta kabelu je přibližně 20 minut. K odpojení proudu dojde až přibližně za jednu hodinu (přibližně za 3 časové konstanty), při zvýšení proudu na 145%.



Oteplení jádra kabelu při jištění pojistkou s charakteristikou gG o jmenovitém proudu 50 A

Vypnutí za 1 hodinu omezí proud zhruba na 95%, oteplení se omezí na 88% oproti hodnotě bez jištění. Dále se projevuje vliv jištění výrazně. Můžeme odečíst rovněž dobu trvání nadproudu.

Uvedeným způsobem lze zjistit, zda je jisticí prvek k danému vodiči nebo kabelu zvolen správně.

Tepelná kapacita vodiče nebo kabelu se skládá z tepelné kapacity jádra vodiče nebo kabelu a z tepelné kapacity jeho izolace.

Materiál	Měrná tepelná kapacita c_T	Jednotka
Měď	3,47	$J.cm^{-3}.K^{-1}$
Hliník	2,37	$J.cm^{-3}.K^{-1}$
Izolace z plastu	Asi 2	$J.cm^{-3}.K^{-1}$

Výpočet tepelné kapacity:

$$C_T = c_T \cdot S \cdot l$$