

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ověření proudové zatížitelnosti kabelu

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin LAPKA**
Osobní číslo: **E13B0282P**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Ověření proudové zatížitelnosti kabelu**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte přehled platných norem zabývajících se problematikou proudové zatížitelnosti kabelů.
2. Identifikujte nedostatky výpočtu proudové zatížitelnosti.
3. Experimentálně porovnejte proudovou zatížitelnost u dodaných kabelů s výpočtem dle platných norem.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran


Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:


1. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Čermák**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2016**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015.

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena především na určení maximálního dovoleného proudu u kabelu běžně používaného v silových rozvodech nízkého napětí. Dovolенý proud je určen z platných norem a následně byl dovolený proud experimentálně ověřen.

Klíčová slova

ČSN 33 2000, ČSN IEC 287, kabel, dovolený proud, výpočet dovoleného proudu, měření teploty

Abstrakt

Bachelor thesis is focused on determining the maximal permitted current in the cable commonly used in low voltage power distribution. Allowable current is determined by the applicable standards, and subsequently the allowed current was experimentally verified.

Key words

ČSN 33 2000, ČSN IEC 287, cable, permissible current, calculating the allowable current, temperature measurement

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 29.5.2016

Martin Lapka

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalovi Čermákovi za cenné profesionální rady, věnovaný čas, metodické vedení práce a pomoc při měření. Firmě Kabex a.s. za poskytnutí kabelu potřebného k měření.

Obsah

ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
POPIS KABELU	13
1.1 POPIS OZNAČENÍ	13
1.2 TECHNICKÉ PARAMETRY	13
1.3 GEOMETRICKÉ ROZMĚRY	13
1.4 TEPELNÁ VODIVOST	14
1.5 POUŽITÍ	14
2 REŠERŠE PLATNÝCH NOREM	15
2.1 ČSN 33 2000–5–523 DOVOLENÉ PROUDY	15
2.1.1 <i>Seskupení obsahující více než jeden obvod</i>	15
2.1.2 <i>Počet zatížených vodičů</i>	15
2.1.3 <i>Paralelní vodiče</i>	16
2.1.4 <i>Změny podmínek uložení na trase</i>	17
2.2 ČSN 33 2000–5–524 PRŮŘEZY VODIČŮ	17
2.2.1 <i>Průřez nulového vodiče</i>	17
2.3 PŘÍLOHA B NORMY ČSN 33 2000-5	18
2.3.1 <i>Okolní teplota</i>	18
2.3.2 <i>Tepelný odpor půdy</i>	18
2.3.3 <i>Seskupení v elektroinstalačních trubkách, elektroinstalačních a protahovacích kanálech</i>	19
2.4 IEC 60287	19
2.4.1 <i>Kabely v zemi pro podmínky, kdy nedochází k vysušování půdy, nebo kabely na vzduchu</i>	19
AC KABELY	19
2.4.2 <i>Výpočet ztrát</i>	20
AC REZISTANCE JÁDRA	20
ČINITEL SKIN EFEKTU YS	20
ČINITEL EFEKTU PŘIBLÍŽENÍ YP PRO TŘÍŽILOVÉ KABELY A PRO TŘI JEDNOŽILOVÉ KABELY	21
2.4.3 <i>Výpočet tepelného odporu</i>	21
KABELY S OBVODOVOU IZOLACÍ	21
TEPELNÝ ODPOR VNĚJŠÍHO OBALU	21
TEPELNÝ ODPOR OKOLNÍHO PROSTŘEDÍ	22
3 VÝPOČET DOVOLENÉHO PROUDU	22
3.1 VÝPOČET DOVOLENÉHO PROUDU PODLE ČSN 33 2000 – 5 - 523	22
3.2 VÝPOČET DOVOLENÉHO PROUDU PODLE ČSN IEC 287	23
3.2.1 <i>DC rezistance jádra</i>	23
3.2.2 <i>Činitel skin efektu ys</i>	23
3.2.3 <i>Činitel přiblížení efektu přiblížení yp pro třížilové kabely</i>	24
3.2.4 <i>AC rezistance jádra</i>	24
3.2.5 <i>Tepelný odpor T1</i>	24
3.2.6 <i>Tepelný odpor T3</i>	24
3.2.7 <i>Tepelný odpor T4</i>	24
3.2.8 <i>Výpočet dovoleného proudu</i>	25
4 MĚŘENÍ OTEPLENÍ	25
4.1 POSTUP MĚŘENÍ	26
4.2 VÝPOČET MĚŘENÍ	27
4.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	27
4.3.1 <i>Samostatný kabel</i>	27
4.3.2 <i>Uspořádání kabelů do trojúhelníka</i>	29

4.3.3	<i>Uspořádání kabelů do řady</i>	31
4.4	POROVNÁNÍ TŘÍ USPOŘADÁNÍ.....	33
4.4.1	<i>Oblast lineárního nárůstu tepla</i>	34
4.4.2	<i>Oblast exponenciálního nárůstu tepla</i>	36
4.4.3	<i>Oblast ustálení</i>	38
ZÁVĚR		40
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ		41
PŘÍLOHY		1

Úvod

Kabely jsou v technických zařízeních hojně používané, hlavně v oboru elektrotechniky. Kabely slouží k rozvodu elektrické energie, ale také k přenosu informací a signálů. Kabely rozdělujeme podle použití na napěťové hladiny, v praxi se používají kabely od malého napětí až po velmi vysoké napětí. Kabely pro nízké napětí, vysoké napětí a velmi vysoké napětí se používají v distribuční soustavě a k rozvodu elektrické energie v domácnostech a průmyslu. Kabely na malé napětí se používají v elektronice pro přenos signálů a informací.

Kabely na nízké napětí prošly během elektrifikace společnosti značným vývojem a s nimi i normy na rozvod elektrické energie a provedení kabelů. Kabely určené na nízké napětí se vyrábějí v různých konfiguracích, ať už z pohledu počtu žil, průřezu jádra, použití materiálu jádra nebo provedení izolace. Hlavním problémem je u kabelů oteplení izolace z důvodu průchodu proudu jádrem. Při nadměrném oteplení izolace ztrácí své izolační vlastnosti a může dojít ke zkratu. Druhů kabelových izolací je velké množství, existují izolace s různou maximální teplotou, oheň nešířící izolace nebo izolace neuvolňující při hoření nebezpečné látky.

Bakalářskou práci jsem rozdělil do čtyř částí. První část popisuje vlastnosti dodaného kabelu firmou Kabex a. s., druhá část se zabývá přehledem platných norem pro tuto problematiku, a to normami ČSN 33 2000 a ČSN IEC 287. Třetí část je zaměřena na výpočet dovoleného proudu pro dodaný kabel, výpočet je proveden podle obou norem. Čtvrtá část představuje experimentální měření průchodu dovoleného proudu a ověření platnosti norem. Cílem práce je zjistit, zda dodaný kabel firmou Kabex a. s. splňuje platné normy v oblasti proudové zatížitelnosti a ohřevu izolace kabelu zapříčiněného průchodem proudu. Práce má dále za cíl zjistit nedostatky platných norem v oblasti zjištění dovoleného proudu.

Seznam symbolů a zkratek

CXKE	Bezhalogenový oheň nešířící kabel s měděným jádrem
AC.....	Střídavý elektrický proud
DC.....	Stejnoseměrný elektrický proud
HELB.....	Havárie s roztržením vysokoenergetického potrubí
PE	Uzemňovací vodič
PEN.....	Ochranný vodič
ČSN	Česká státní norma
IEC.....	Mezinárodní elektrotechnická norma
I	Proud protékající jedním vodičem [A]
$\Delta\theta$	Dovolené oteplení jádra nad teplotu okolí [K]
R	AC rezistance jádra na jednotku délky jádra při jeho nejvyšší teplotě [Ω/km]
W_d	Dielektrické ztráty na jednotku délky izolace obklopující jádro [W/m]
T_1	Tepelný odpor mezi jedním jádrem a pláštěm vztažený na jednotku délky [K.m/W]
T_2	Tepelný odpor polštáře mezi pláštěm a pancířem vztažený na jednotku délky [K.m/W]
T_3	Tepelný odpor vnějšího obalu kabelu vztažený na jednotku délky [K.m/W]
T_4	Tepelný odpor mezi povrchem kabelu a okolním prostředím [K.m/W]
n	Počet proudovodných jader v kabelu (jader o stejné velikosti a stejně zatížených)
λ_1	Poměr celkových ztrát v kovovém plášti k celkovým ztrátám ve všech jádrech tohoto kabelu
λ_2	Poměr celkových ztrát v pancíři k celkovým ztrátám v jádru ve všech jádrech tohoto kabelu
R'	DC rezistance jádra při nejvyšší pracovní teplotě [Ω/m]
y_s	Činitel skin efektu
y_p	Činitel efektu přiblížení
f	Kmitočet sítě [Hz]
d_c	průměr jádra [mm]

R_o	DC rezistence jádra při 20 °C [Ω/m]
α_{20}	Teplotní součinitel elektrické rezistivity při 20 °C na Kelvin
θ	Nejvyšší pracovní teplota ve stupních Celsia (dle typu použité izolace)
x_s	Argument Besselovy funkce pro výpočet skin efektu
x_p	Argument Besselovy funkce pro výpočet činitele přiblížení
d_c	Průměr jádra [mm]
s	Vzdálenost mezi osami jader
ρ_T	Měrný tepelný odpor materiálu [K.m/W]
G	Činitel geometrie
t_3	Tloušťka obalu [mm]
D'_a	Vnější průměr pláště [mm]
D_e^*	Vnější průměr kabelu [m]
h	Součinitel tepelných ztrát [$W/m^2 K^{5/4}$]
$\Delta\theta_s$	Oteplení povrchu kabelu na teplotu okolí [K]
PVC	Polyvinylchlorid
XLPE	Zesítený polyethylen
EPR	Zesítený etylen - propylen
$I_{dov 25^\circ C}$	Dovolený proud při teplotě 25 °C
$I_{dov 23^\circ C}$	Dovolený proud při teplotě 23 °C
$I_{dov 20^\circ C}$	Dovolený proud při teplotě 20 °C
t	Teplota okolí
PTC 1000	Pozistor s hodnotou odporu 1000 Ω při 0 °C

1 Popis kabelu

1.1 Popis označení

Firma Kabex a. s. dodala kabel na ověření proudové zatížitelnosti kabelu. Dodaný kabel je typu 1 – CXKE – R 3x1.5/0/-/. Z označení je zřejmé, že se jedná o kabel o jmenovitém napětí 0,6/1 kV, měděné jádro je třídy 1. Izolace jádra je tvořena síťovaným polyethylenem, jádra jsou uspořádána do kabelu. Plášť kabelu je z bezhalogenového oheň nešířícího polymeru. Z hlediska požární odolnosti je kabel oheň nešířící. V kabelu jsou tři jádra, každé o průřezu 1,5 mm². Barevné provedení žil je modrá, hnědá a zelenožlutá. Barva pláště je oranžová. [1]

1.2 Technické parametry

Jmenovité napětí: 0,6/1 kV AC

Zkušební napětí mezi žilami: 4 kV AC 5min

Izolační odpor: 1000 M Ω ·km

Teploty okolí (pevné uložení): - 40°C až + 90°C

Teploty okolí (při instalaci): - 5°C až + 50°C

Minimální poloměr ohybu (pevné uložení): 10 x průměr kabelu

Maximální činný odpor jádra: 12,1 Ω /km [1]

1.3 Geometrické rozměry

Pro výpočet dovoleného proudu bylo nutné zjistit přesné rozměry dodaného kabelu. Kabel byl změřen vždy na sedmi místech, výsledné hodnoty byly zprůměrovány. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 Geometrické rozměry kabelu

	Průměr jádra	Průměr žíly	Šířka výplň. směsi	Poloměr výplň. směsi	Šířka pláště	Průměr pláště
Rozměry [mm]	1,38	2,83	0,88	7,81	1,25	10,00
	1,35	2,85	0,81	7,45	1,28	9,99
	1,37	2,79	0,98	7,66	1,09	10,01
	1,41	2,79	0,80	7,65	1,15	10,02
	1,38	2,80	0,83	7,58	1,12	9,98
	1,36	2,81	0,97	7,78	1,24	10,00
	1,35	2,81	0,89	7,85	1,29	10,01
Aritmetický průměr [mm]	1,37	2,81	0,88	7,68	1,20	10,00

1.4 Tepelná vodivost

Pro určení tepelného odporu izolace musíme znát tepelnou vodivost izolace kabelu.

Hodnoty tepelné vodivosti jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2 Tepelná vodivost izolace

Popis	Materiál	Tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Jádro	Měď	386
Žilová směs	KBX XLPE 110	0,33
Výplňová směs	KBX FILL 200	0,34
Plášťová směs	KBX HM4 301	0,382

1.5 Použití

Kabel je možné použít v silových rozvodech ve stavbách, kde jsou kladeny vyšší nároky na ochranu osob, zařízení, konstrukcí a materiálů. Oheň nešířící a bezhalogenové kabely se používají hlavně v prostorech s větší koncentrací osob, např. ve veřejných prostorech, hotelích, nemocnicích, tunelových stavbách. Kabel je také možné použít v mokřem i suchém prostředí. Konstrukce kabelu splňuje požadavky pro speciální provedení v elektrárnách, konkrétně požadavky normy řady HD 604, kabel je otestován pro životnost 40 let a havárii typu HELB¹. Kabely je také možno pokládat do výbušného prostředí Zóna 1 a 2, při dodržení podmínek jiskrové bezpečnosti. [1]

¹ Havárie, při níž dojde k náhlému roztržení vysokoenergetického potrubí, např. potrubí s přehřátou párou. Kabely na tyto havárie jsou při zkouškách vystaveny termodynamickému šoku a podmínkám podobným při odstraňování havárie. [8]

2 Rešerše platných norem

2.1 ČSN 33 2000–5–523 Dovolené proudy

Proud procházející vodičem za normálních provozních podmínek nesmí být větší než takový, aby nebyla překročena teplotní mez izolace vodiče nebo kabelu. Pro izolované vodiče a kabely bez pancíře jsou dovolené proudy uvedeny podle způsobu uložení v tabulce (A 52.3). Tyto údaje je nutno upravit korekčními součiniteli (příloha B). [2]

Hodnoty dovolených proudů lze také určit podle normy IEC 60287, zkouškou nebo výpočtem s použitím uznávané a potvrzené metody. V některých případech se musí vzít v potaz charakter zatížení při uložení kabelů v zemi s měrným tepelným odporem půdy. [2]

2.1.1 Seskupení obsahující více než jeden obvod

Při seskupení izolovaných vodičů nebo kabelů se stejnou provozní teplotou můžeme uplatnit redukční součinitele z tabulky (B 52.17 a 52.21). Pokud jsou v seskupení obsaženy kabely nebo izolované vodiče s různou maximální dovolenou provozní teplotou, musí být dovolené proudy určeny podle kabelu nebo izolovaného vodiče s nejnižší maximální provozní teplotou. V úvahu musíme vzít redukční součinitel pro dané seskupení. Pokud kabel nebo izolovaný vodič nebude používán na více než 30% svého maximálního zatížení, nemusíme s tímto kabelem nebo vodičem počítat pro určení redukčního součinitele seskupení. [2]

2.1.2 Počet zatížených vodičů

V obvodu se uvažují počty vodičů vedoucích zatěžovací proud, při předpokladu vodičů ve vícefázových obvodech vedoucích vyvážené proudy se nulový vodič nebere v potaz. Proudové zatížení čtyřžilového kabelu ve třífázovém obvodu se bere stejné jako třížilového s žilami stejného průřezu. Pokud jsou tedy u čtyř a pětižilových kabelů zatíženy pouze tři vodiče, dovoluje se větší proud. Tento předpoklad neplatí, pokud proud obsahuje třetí harmonickou složku nebo její násobky, zastoupenou více než 15%. [2]

Pokud nulový vodič kabelu vede proud z důvodu nevyváženosti zatížení jednotlivých fázových vodičů, je vyvinuté teplo stejné jako při průchodu proudu fázovými vodiči zatíženými souměrně. V takovém případě se průřez vodičů volí podle nejvyššího proudu

ve fázových vodičích. Pro nulový musí být dodržena podmínka nepřekročení tepelné meze izolace. [2]

Při zatížení nulového vodiče proudem, o který není snížen proud fázovými vodiči, musíme s tímto proudem počítat při určování dovoleného proudu. Vznik tohoto proudu mohou zapříčinit násobky třetí harmonické složky. Pokud je podíl těchto složek větší než 15% proudu základní harmonické, musí být průřez nulového vodiče minimálně stejný jako průřez fázových vodičů. V příloze E normy ČSN 33 2000-5-52 jsou uvedeny odpovídající redukční součinitele a tepelné účinky pro vyšší harmonické proudy. [2]

Ochranné vodiče PE se neuvažují, vodiče PEN se počítají stejně jako nulové vodiče.[2]

2.1.3 Paralelní vodiče

V případě, že je v síti zapojeno více fázových vodičů nebo vodičů PEN paralelně (vodiče jsou ze stejného materiálu, stejného průřezu, stejné délky a nemají žádné odbočky) musíme učinit tato opatření:

- *“Paralelní vodiče jsou vícežilové kabely nebo kroucené jednožilové kabely nebo izolované vodiče*
- *Paralelní vodiče jsou nezkroucené jednožilové vodiče nebo izolované vodiče v uspořádání do trojúhelníka nebo v rovinném uspořádání a jejich průřez je menší nebo rovný 50 mm^2 pro měděná jádra nebo 70 mm^2 pro hliníková jádra*
- *Paralelní vodiče jsou nezkroucené jednožilové kabely nebo izolované vodiče v uspořádání do trojúhelníka nebo v rovinném uspořádání a jejich průřez je větší než 50 mm^2 pro měděná jádra nebo 70 mm^2 pro hliníková jádra a je zvolena speciální sestava vhodná pro tato uspořádání. Takovéto sestavy jsou založeny na vhodných seskupeních a mezerách mezi různými fázemi nebo polaritami. Uvedeno v ČSN 33 2000-5-52 příloha H.“*

Převzato z [2]

Při nesplnění těchto podmínek je nutno dbát na rozdělení zatěžovacího proudu tak, aby nebyla překročena mez tepelného namáhání izolace. Pokud není možné optimální rozdělení proudů nebo je potřeba použití čtyř a více paralelních vodičů, použijeme přípojnicové rozvody. [2]

2.1.4 Změny podmínek uložení na trase

Pokud je na různých částech trasy vedení různý odvod tepla, je třeba dovolený proud počítat podle místa s nejhorším odvodem tepla. [2]

2.2 ČSN 33 2000-5-524 Průřezy vodičů

Nejmenší hodnoty průřezu vodičů vedení (fázové vodiče ve střídavých a krajní vodiče ve stejnosměrných sítích) jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 3 Průřezy vodičů

Typ vedení		Použití obvodu	Vodič	
			Materiál	Průřez v mm ²
Pevná instalace	Kabely a izolované vodiče	Silové a světelné obvody	měď	1,5
			hliník	10
	Holé vodiče	Signalizační a ovládací obvody	měď	0,5
			Silové obvody	měď
		Signalizační a ovládací obvody		hliník
			Spojení pomocí ohebných izolovaných vodičů a kabelů	Zvláštní použití
Pro jakékoliv jiné aplikace	0,75			
Obvody malých napětí pro zvláštní aplikace	0,75			

Převzato z [3]

2.2.1 Průřez nulového vodiče

Průřez nulového vodiče musí být stejný s fázovým vodičem, v případě jednofázového rozvodu při jakémkoliv průřezu nebo v obvodech s více vedeními, kde průřez nepřesáhne 16 mm² u měděných vodičů a 25 mm² u hliníkových vodičů. [3]

Pokud třífázové obvody povedou proud obsahující třetí harmonickou složku a její liché násobky a celkové zkreslení je 15 – 33%, průřez nulového vodiče bude stejný jako průřez fázových vodičů. Při celkovém zkreslení větším než 33% se při použití vícežilového kabelu použije stejný průřez fázových vodičů a nulového vodiče. Průřez se zvolí tak, aby byl kabel schopen vést 1,45 násobek běžného proudu. Při použití jednožilového kabelu může být průřez vodičů vedení menší než průřez nulového vodiče, počítá se se zatížením

vodiče vedení běžným proudem a nulového vodiče 1,45 x běžného proudu. V případě použití fázových vodičů o průřezu větším než 16 mm² pro měď a 25 mm² pro hliník, může být průřez nulového vodiče menší než průřez fázových za podmínky, že zatížení při normálním provozu je vyvážené a podíl třetí harmonické a jejích lichých násobků není větší než 15% obsahu proudu. Další podmínkou je ochrana nulového vodiče před nadproudy podle ČSN 33 2000-5-52, oddíl 431.2, jeho průřez není menší než 16 mm² pro měď a 25 mm² pro hliník. [3]

2.3 Příloha B normy ČSN 33 2000-5

2.3.1 Okolní teplota

Dovolené proudy uvedené v tabulkách přílohy B pro jednotlivé způsoby uložení počítají s těmito referenčními teplotami. Při uložení izolovaného vodiče nebo kabelu na vzduchu je referenční teplota 30°C, pro uložení v zemi nebo v trubkách uložených v zemi 20°C. [4]

V případě, že je okolní teplota uložení izolovaných vodičů nebo kabelů jiná než referenční teplota, je nutné provést úpravu dovolených proudů podle korekčních součinitelů uvedených příloze B normy ČSN 33 2000-5-52, tabulky B 52.14 a B 52.15. Hodnoty z tabulek B 52.14 a B 52.15 neberou v úvahu oteplení v důsledku slunečního záření a infračerveného záření, v případě vystavení tomuto záření je možné pro výpočet dovolených proudů použít výpočty ze souboru IEC 60287. Při uložení kabelů v zemi není nutné korekci provádět, pokud teplota okolní půdy překračuje referenční hodnoty maximálně o 5 K několik málo týdnů v roce. [4]

2.3.2 Tepelný odpor půdy

V tabulkách v příloze B normy ČSN 33 2000-5-52 jsou uvedeny dovolené proudy pro kabely uložené v zemi. Tyto dovolené proudy jsou počítány pro tepelný odpor země 2,5 K·m/W. Tato hodnota se používá celosvětově. V případě velmi suché půdy je tepelný odpor větší než 2,5 K·m/W, pak musí být provedeno snížení dovolených proudů nebo musí být okolí kabelu nahrazeno vhodnějším materiálem. [4]

2.3.3 Seskupení v elektroinstalačních trubkách, elektroinstalačních a protahovacích kanálech

Pro seskupení izolovaných vodičů nebo kabelů různých průřezů v elektroinstalačních trubkách, elektroinstalačních a protahovacích kanálech se redukční součinitel seskupení určí podle vztahu:

$$F = \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (2.1)$$

kde

F je redukční součinitel seskupení;

n počet vícežilových kabelů nebo obvodů v seskupení.

Výpočtem této rovnice se omezí nebezpečí přetížení malých průřezů v seskupení, ale také hrozí, že u větších průřezů nebude využita plná kapacita vodičů. Tomuto omezení se vyhneme kladením kabelů stejných průřezů do jednoho seskupení. [4]

2.4 IEC 60287

Při výpočtu dovolených proudů kabelů uložených v zemi se při počítání částečného vysušování půdy musí počítat i s možností, kdy se půda nevysušuje. Z výpočtu se použije menší hodnota. [5]

2.4.1 Kabely v zemi pro podmínky, kdy nedochází k vysušování půdy, nebo kabely na vzduchu

AC kabely

Dovolený proud se odvozuje z výrazu pro oteplení nad teplotu okolí.

$$\Delta\theta = \left(I^2 R + \frac{1}{2W_d} \right) T_1 + [I^2 R(1 + \lambda_1) + W_d] n T_2 + [I^2 R(1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d] n (T_3 + T_4) \quad (2.2)$$

Dovolený proud vypočteme podle vzorce:

$$I = \left[\frac{\Delta\theta - W_d [0,5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)]}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right]^{0,5} \quad (2.3)$$

V případě použití čtyřžilového kabelu se dovolený proud uvažuje jako pro třížilový kabel, pokud je čtvrtý vodič používán jako ochranný. V případě využití čtvrtého vodiče jako středního platí tento dovolený proud pro použití se symetrickou zátěží. [5]

2.4.2 Výpočet ztrát

AC rezistance jádra

AC rezistance na jednotku délky při nejvyšší pracovní teplotě se určí podle vzorce:

$$R = R' (1 + y_s + y_p) \quad (2.4)$$

Činitel skin efektu y_s

Vzorec pro určení činitele skin efektu:

$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0,8x_s^4} \quad (2.5)$$

kde

$$x_s^2 = \frac{8\pi f}{R} 10^{-7} k_s \quad (2.6)$$

Hodnoty k_s jsou uvedeny v tabulce 2 normy ČSN IEC 287-1-1. [5]

Činitel efektu přiblížení y_p pro třížilové kabely a pro tři jednožilové kabely

Vzorec na určení činitele efektu přiblížení pro kabely s kruhovými jádry:

$$y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0,8x_p^4} \left(\frac{d_c}{s}\right)^2 \left[0,312 \left(\frac{d_c}{s}\right)^2 + \frac{1,18}{\frac{x_p^4}{192 + 0,8x_p^4} + 0,27} \right] \quad (2.7)$$

kde

$$x_p^2 = \frac{8\pi f}{R} 10^{-7} k_p \quad (2.8)$$

Hodnoty k_p jsou uvedeny v tabulce 2 normy ČSN IEC 287-1-1. [5]

2.4.3 Výpočet tepelného odporu

Kabely s obvodovou izolací

Tepelný odpor T_1 mezi jedním jádrem a pláštěm se určí podle vzorce:

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot G \quad (2.9)$$

Tepelný odpor vnějšího obalu

U většiny kabelů má vnější obal tvar soustředěných vrstev a tepelný odpor T_3 se vypočte podle vzorce:

$$T_3 = \frac{1}{2\pi} \cdot \rho_T \cdot \ln \left(1 + \frac{2 \cdot t_3}{D_a} \right) \quad (2.10)$$

Tepelný odpor okolního prostředí

Hodnota tepelného odporu okolního prostředí T_4 pro kabely uložené na vzduchu a chráněné před slunečním světlem se určí podle vzorce:

$$T_4 = \frac{1}{\pi \cdot D_e^* \cdot h \cdot (\Delta\theta_s)^{1/4}} \quad (2.11)$$

kde

$$h = \frac{Z}{(D_e^*)^g} + E \quad (2.12)$$

Hodnoty Z , E , g jsou uvedeny v tabulce 2 normy ČSN IEC 287-2-1. [6]

3 Výpočet dovoleného proudu

3.1 Výpočet dovoleného proudu podle ČSN 33 2000-5-523

Níže je uvedený přepočtený dovolený proud na okolní teplotu 23°C, dovolený proud je vypočtený pro samostatný kabel uložený na vzduchu. Při výpočtu jsem použil tabulky přílohy B 52.12 a 52.14 přepočítací součinitelé z [2].

Tab. 4 Tabulka B.52.12

Hodnoty dovolených proudů v ampérech, izolace XLPE, referenční okolní teplota: 30°C		
Jmenovitý průřez vodičů [mm ²]	Dva zatížené vodiče kabelu	Tři zatížené vodiče kabelu
1,5	26	23
2,5	36	32
4	49	42

Převzato z [2]

Tab. 5 Tabulka B.52.14

Přepočítací součinitele pro okolní teploty vzduchu odlišné od 30°C		
Okolní teplota [°C]	Izolace	
	PVC	XLPE a EPR
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1,00	1,00
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91

Převzato z [2]

Referenční hodnota proudu pro tři zatížené vodiče je 23 A, okolní teplota je 23°C.

$$I_{dov25^{\circ}\text{C}} = 23 \cdot 1,04 = 23,92 \text{ A}$$

$$I_{dov20^{\circ}\text{C}} = 23 \cdot 1,08 = 24,84 \text{ A}$$

$$I_{dov23^{\circ}\text{C}} = 23 \cdot \left\{ \left[\left(\frac{1,08 - 1,04}{5} \right) \cdot 3 \right] + 1,04 \right\} = 24,47 \text{ A}$$

3.2 Výpočet dovoleného proudu podle ČSN IEC 287

Dovolený proud vypočteme z rovnice (1.1). Nejprve musíme vypočítat dílčí proměnné, které dosadíme do rovnice. Při výpočtu jsem vycházel z tabulek a údajů uvedených v [5] [6].

3.2.1 DC rezistance jádra

$$\begin{aligned} R' &= R_o [1 + \alpha_{20}(\theta - 20)] = 3,83 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 3,93 \cdot 10^{-3} \cdot (90 - 20)] \\ &= 4,884 \cdot 10^{-3} \Omega/m \end{aligned}$$

3.2.2 Činitel skin efektu y_s

$$x_s^2 = \frac{8 \cdot \pi \cdot f}{R'} \cdot 10^{-7} \cdot k_s = \frac{8 \cdot \pi \cdot 50}{4,884 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{-7} \cdot 1 = 0,026$$

$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0,8 \cdot x_s^4} = \frac{0,026^2}{192 + 0,8 \cdot 0,026^2} = 3,52 \cdot 10^{-6}$$

3.2.3 Činitel přiblížení efektu přiblížení y_p pro třížilové kabely

$$x_p^2 = \frac{8 \cdot \pi \cdot f}{R'} \cdot 10^{-7} \cdot k_p = \frac{8 \cdot \pi \cdot 50}{2,198 \cdot 10^{-8}} \cdot 10^{-7} \cdot 1 = 0,026$$

$$y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0,8 \cdot x_p^4} \cdot \left(\frac{d_c}{s}\right)^2 \cdot \left[0,312 \cdot \left(\frac{d_c}{s}\right)^2 + \frac{1,18}{\frac{x_p^4}{192 + 0,8 \cdot x_p^4} + 0,27} \right]$$

$$= \frac{0,026^2}{192 + 0,8 \cdot 0,026^2} \cdot \left(\frac{1,37}{3}\right)^2$$

$$\cdot \left[0,312 \cdot \left(\frac{1,37}{3}\right)^2 + \frac{1,18}{\frac{0,026^2}{192 + 0,8 \cdot 0,026^2} + 0,27} \right] = 3,26 \cdot 10^{-6}$$

3.2.4 AC rezistance jádra

$$R = R' \cdot (1 + y_s + y_p) = 4,884 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 3,52 \cdot 10^{-6} + 3,26 \cdot 10^{-6})$$

$$= 4,884 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

3.2.5 Tepelný odpor T_1

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot G = \frac{2,85}{6,28} \cdot 2,15 = 0,976 K \cdot m/W$$

3.2.6 Tepelný odpor T_3

$$T_3 = \frac{1}{2\pi} \cdot \rho_T \cdot \ln\left(1 + \frac{2 \cdot t_3}{D_a}\right) = \frac{1}{2\pi} \cdot 3,636 \cdot \ln\left(1 + \frac{2 \cdot 1,2}{8,8}\right) = 0,138 K \cdot m/W$$

3.2.7 Tepelný odpor T_4

$$h = \frac{Z}{(D_e^*)^g} + E = \frac{0,21}{0,01^{0,6}} + 3,94 = 7,273$$

$$T_4 = \frac{1}{\pi \cdot D_e^* \cdot h \cdot (\Delta\theta_s)^{1/4}} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,01 \cdot 7,273 \cdot 1} = 4,386 \text{ K} \cdot \text{m/W}$$

3.2.8 Výpočet dovoleného proudu

Výpočet dovoleného proudu je pro samostatný kabel uložený na vzduchu. Hodnotu dielektrických ztrát W_d pro NN a VN kabely s XLPE izolací zanedbáváme, taktéž zanedbáváme T_2 , λ_1 a λ_2 , tyto hodnoty se týkají pancíře a kovového pláště, který měřený kabel neobsahuje.

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

$$= \left[\frac{67 - 1 \cdot [0,5 \cdot 0,976 + 3 \cdot (0 + 0,138 + 4,386)]}{4,884 \cdot 10^{-3} \cdot 0,976 + 3 \cdot 4,884 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1 + 3 \cdot 4,884 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot (0,138 + 4,386)} \right]^{0,5}$$

$$= 24,854 \text{ A}$$

4 Měření oteplení

Měření oteplení kabelu jsem prováděl v laboratoři elektrických přístrojů, oteplení kabelu jsem měřil celkem 3x. Nejdříve měření samostatného kabelu, uspořádání tří kabelů v řadě těsně vedle sebe a uspořádání tří kabelů do trojúhelníka. Dovolенý proud pro měřený kabel jsem zjistil z normy ČSN 33 2000-5-523 Dovolенé proudy a upravil pomocí přepočítacích koeficientů na okolní teplotu 23 °C. Dovolенý proud pro měřený kabel o průřezu 1,5 mm² jsem vypočítal 24,47 A. Tento proud platí pro samostatný kabel uložený na vzduchu, pro uspořádání kabelů v řadě a v trojúhelníku jsem proud pro porovnání neměnil. Teplotu kabelu jsem měřil dvoukanalovou metodou pomocí senzorů teploty PTC 1000 vyrobených v Tesla Blatná a. s. Dále jsem použil hradlo, A/D převodník a přístroj Keithley 2700. Teplotu jsem také měřil termokamerou FLIR i7. Kabel byl napájen z proudového zdroje MEGGER.

4.1 Postup měření

Na kabel jsem přes tepelně vodivou pastu připevnil teplotní senzory, celkem jsem ke kabelu připevnil 16 senzorů. Interval měření teploty byl nastaven na 16 vteřin. Během měření jsem změřil všechny tři varianty uspořádání. Kabel jsem připojil k proudovému zdroji MEGGER a nastavil proud 24,47A. Proud protékající kabelem ohříval jádro, tím vzrůstal jeho odpor a proud bylo nutné upravovat. Každých patnáct minut jsem kabel vyfotografoval termokamerou. Po čase přibližně jedné hodiny se teplota ustálila a dále už se nezvyšovala.



Obr. 4. 1 Demonstrativní foto měření oteplení

4.2 Výpočet měření

Zjištěný odpor senzorů PTC 1000 bylo nutné převést na teplotu. Teplotní závislost odporu pro teplotní rozsah 0 °C až 400 °C je vyjádřena rovnicí:

$$R = 1000 \cdot (1 + At + Bt^2) \quad (4.1)$$

Kde

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{°C}^{-1}$$

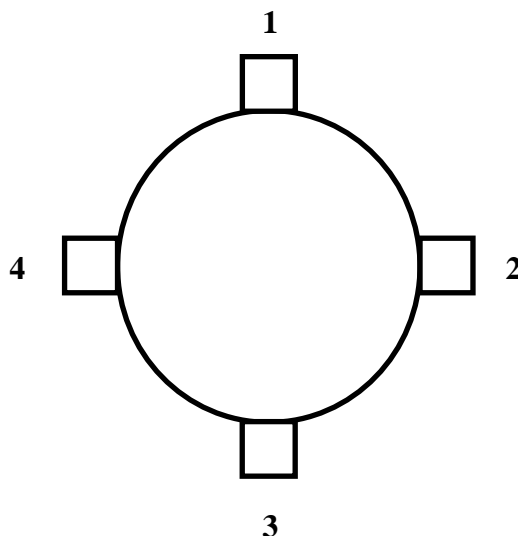
$$B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{°C}^{-2}$$

Převzato z [7]

4.3 Výsledky měření

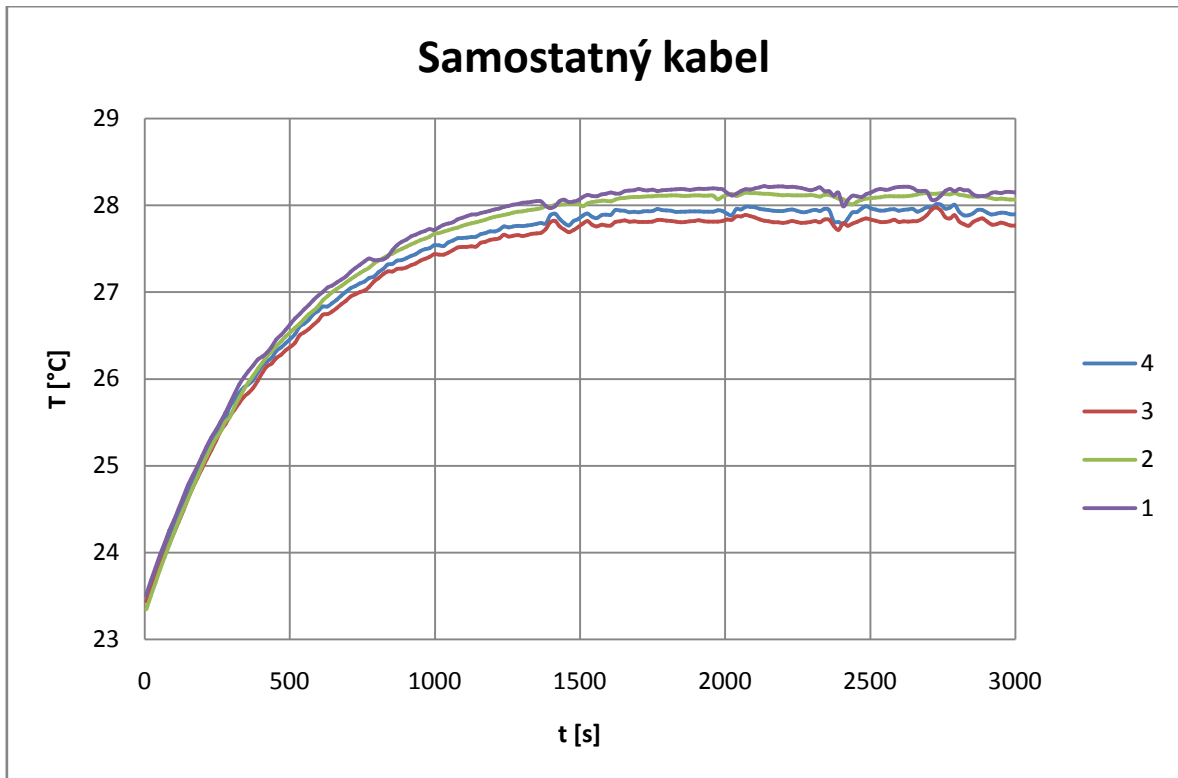
Jednotlivé senzory teploty na kabelech jsem pro přehlednost očísloval, čísla senzorů v nákresech jsou stejná s čísly označující jednotlivé křivky v grafech.

4.3.1 Samostatný kabel

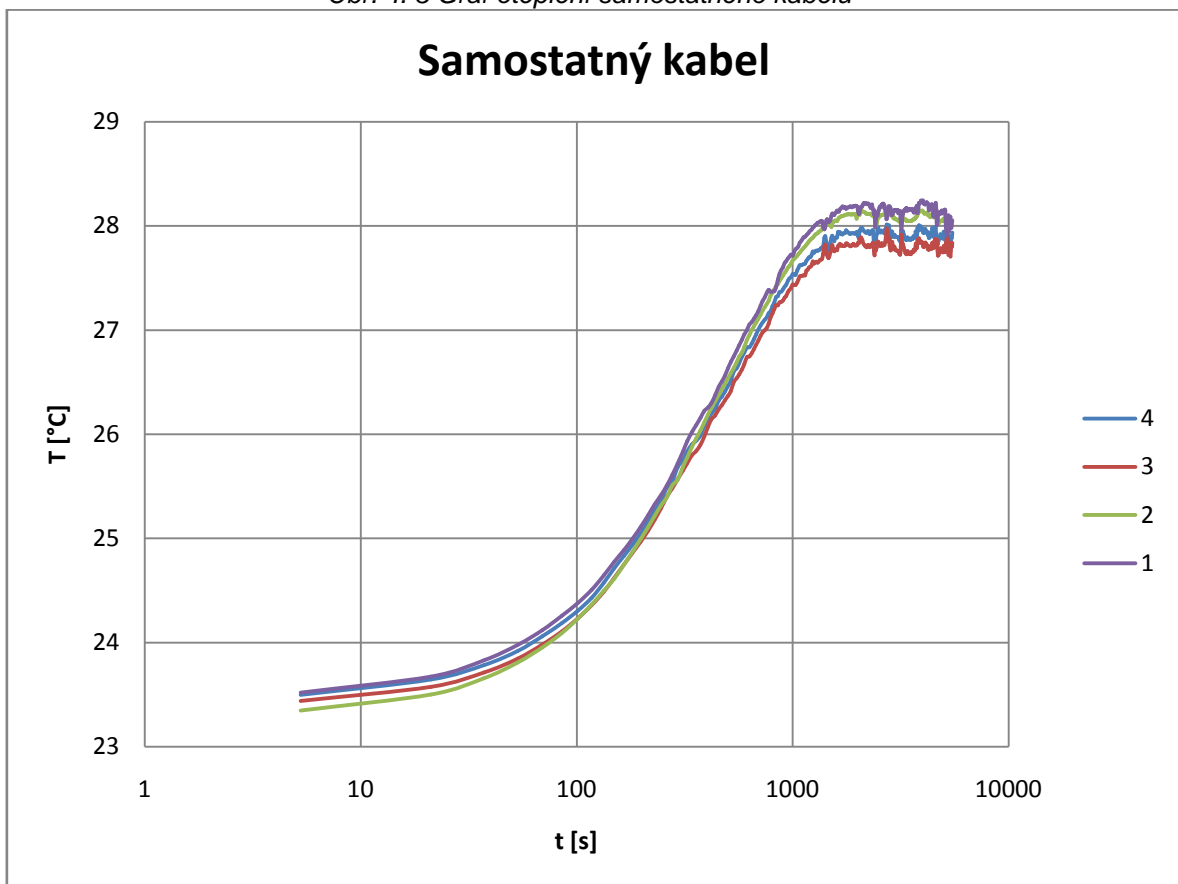


Obr. 4. 2 Nákras pozic teplotních senzorů na kabelu

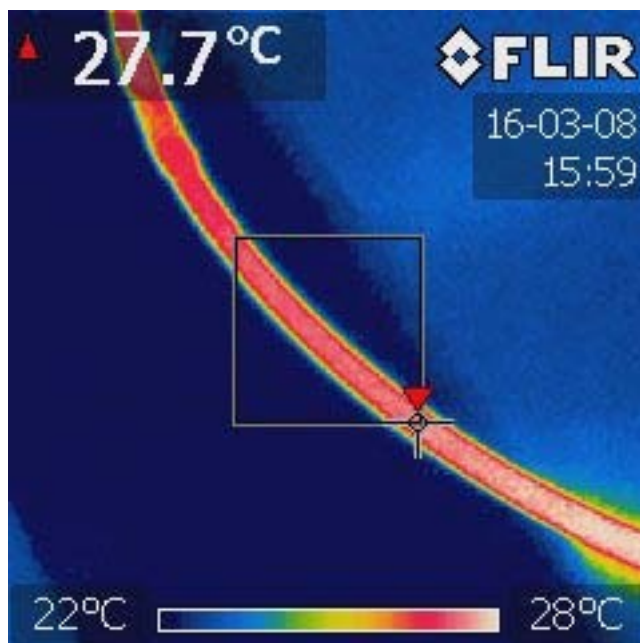
Na Obr. 4.3 a 4.4 je vidět oteplení kabelu při průchodu dovoleného proudu 24,47 A. Maximální dosažená teplota je 28 °C a je dosažena po cca 25 minutách, kabel už se dále neotepluje. Kolísání teploty v ustáleném stavu je způsobeno pohybem vzduchu v místnosti, například otevíráním dveří apod.



Obr. 4. 3 Graf oteplení samostatného kabelu



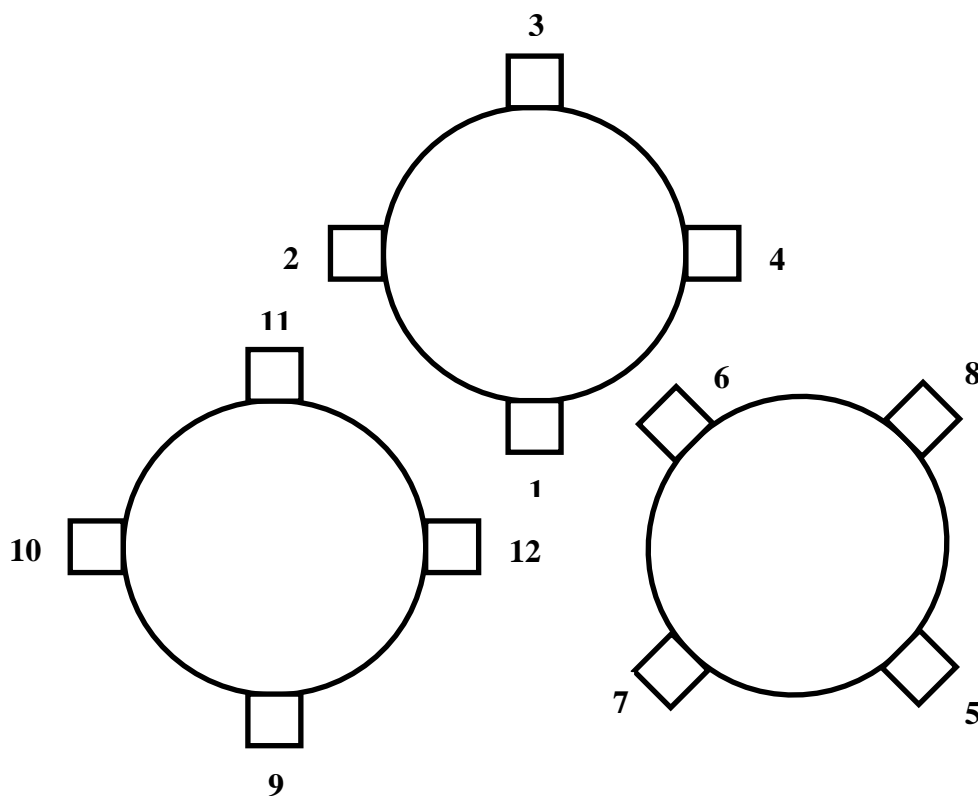
Obr. 4. 4 Graf oteplení samostatného kabelu s logaritmickou časovou osou



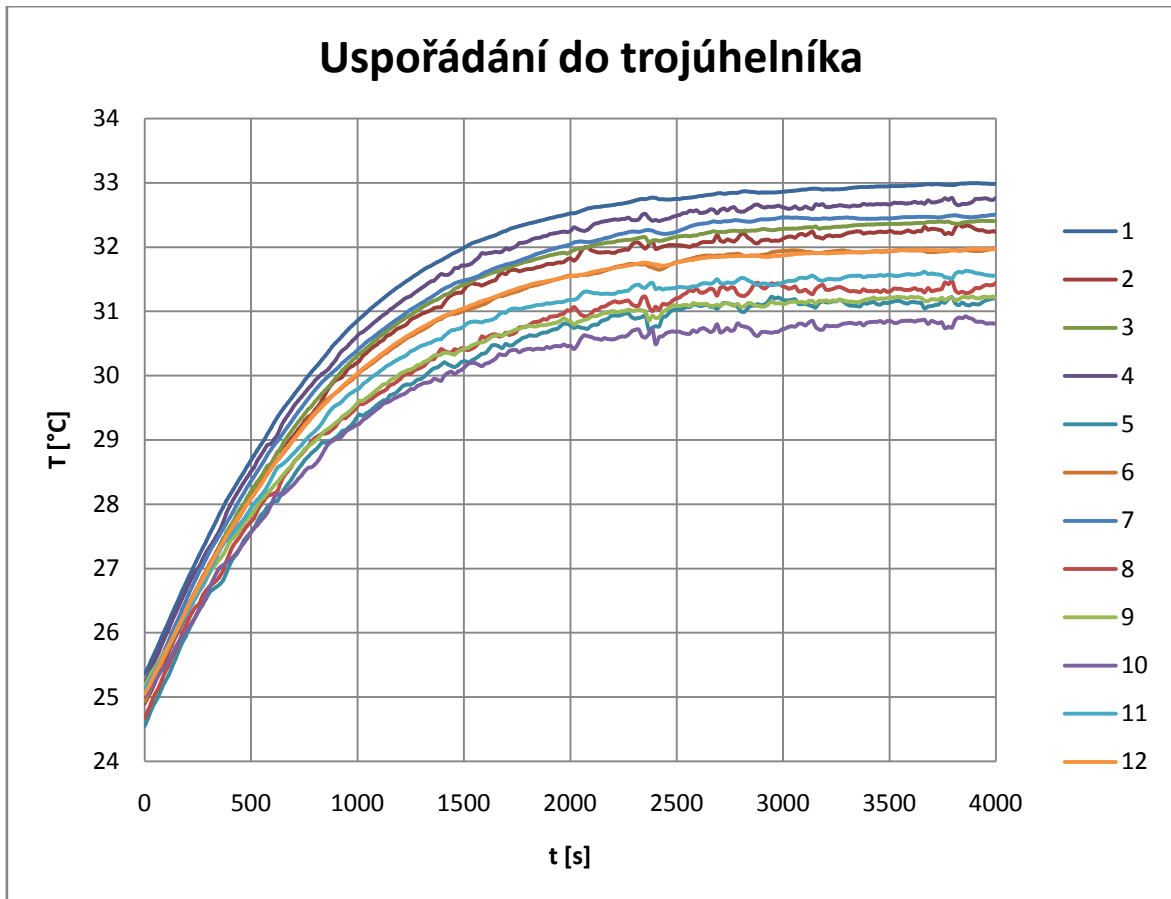
Obr. 4. 5 Snímek z termokamery při dosažení největšího oteplení

4.3.2 Uspořádání kabelů do trojúhelníka

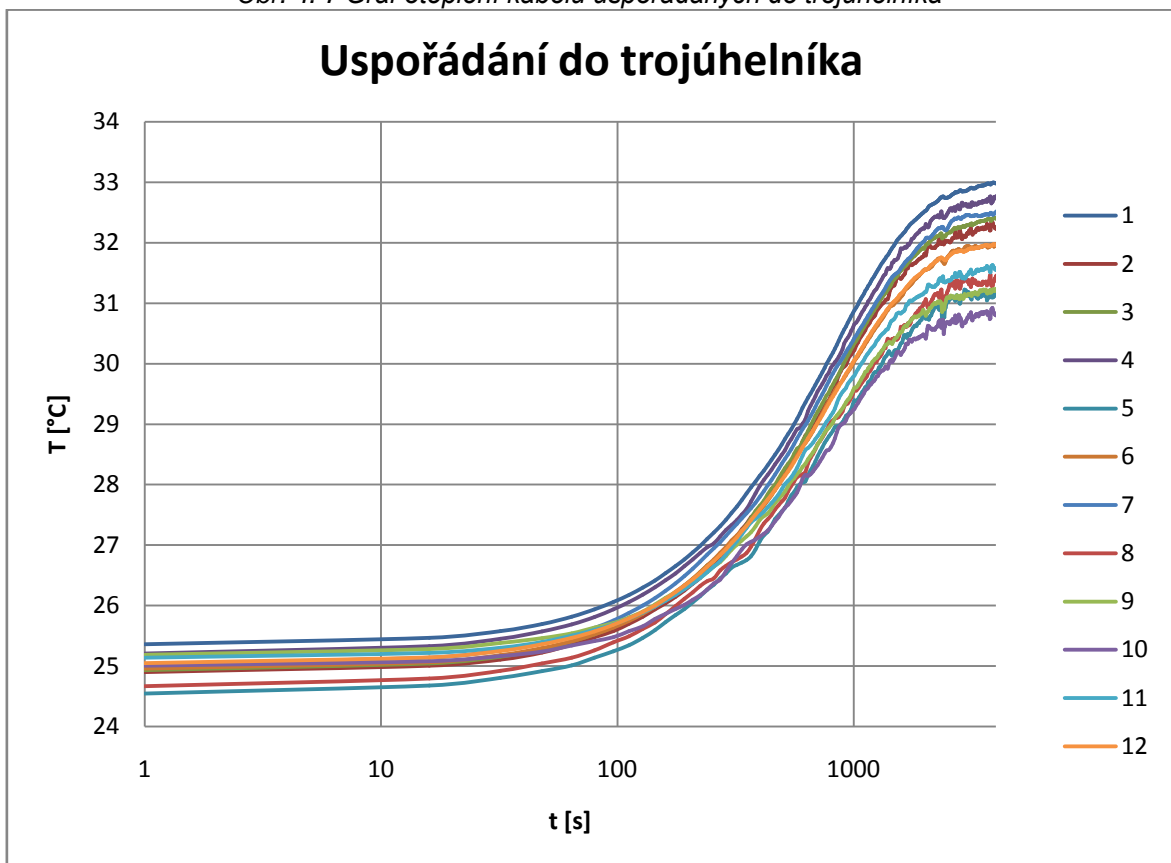
Na Obr. 4.7 a 4.8 je znázorněno oteplení kabelu při geometrickém uspořádání do trojúhelníka. Maximální dosažená teplota je přibližně 32 °C, teplota se v různých místech liší, k ustálení dojde po cca 50 minutách. Je vidět, že senzor číslo 1, který byl umístěn uprostřed uspořádání, naměřil nejvyšší teplotu a není ovlivněn vnějšími vlivy.



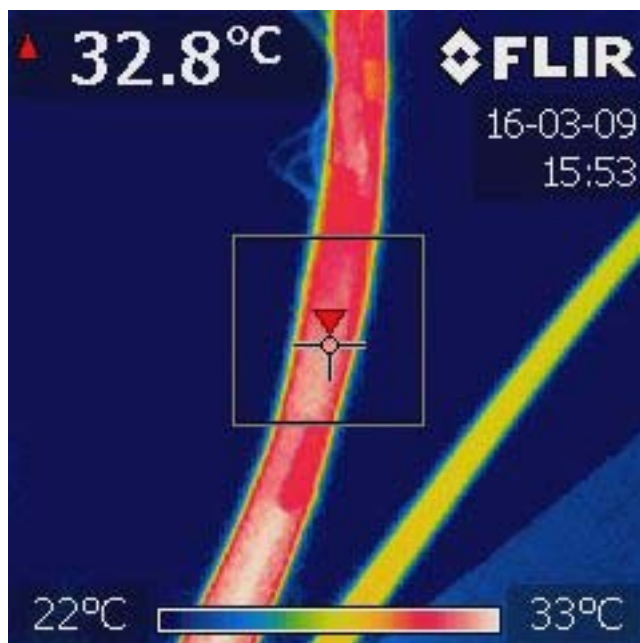
Obr. 4. 6 Návrh pozic senzorů v uspořádání do trojúhelníka



Obr. 4. 7 Graf oteplení kabelů uspořádaných do trojúhelníka



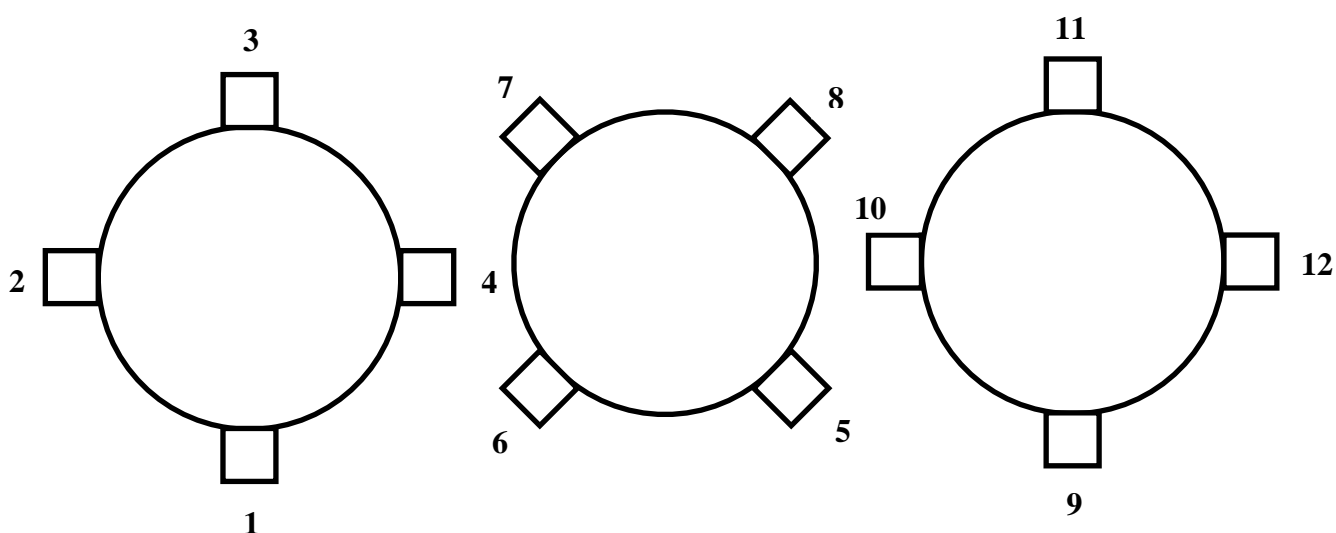
Obr. 4. 8 Graf oteplení při uspořádání do trojúhelníka s logaritmickou časovou osou



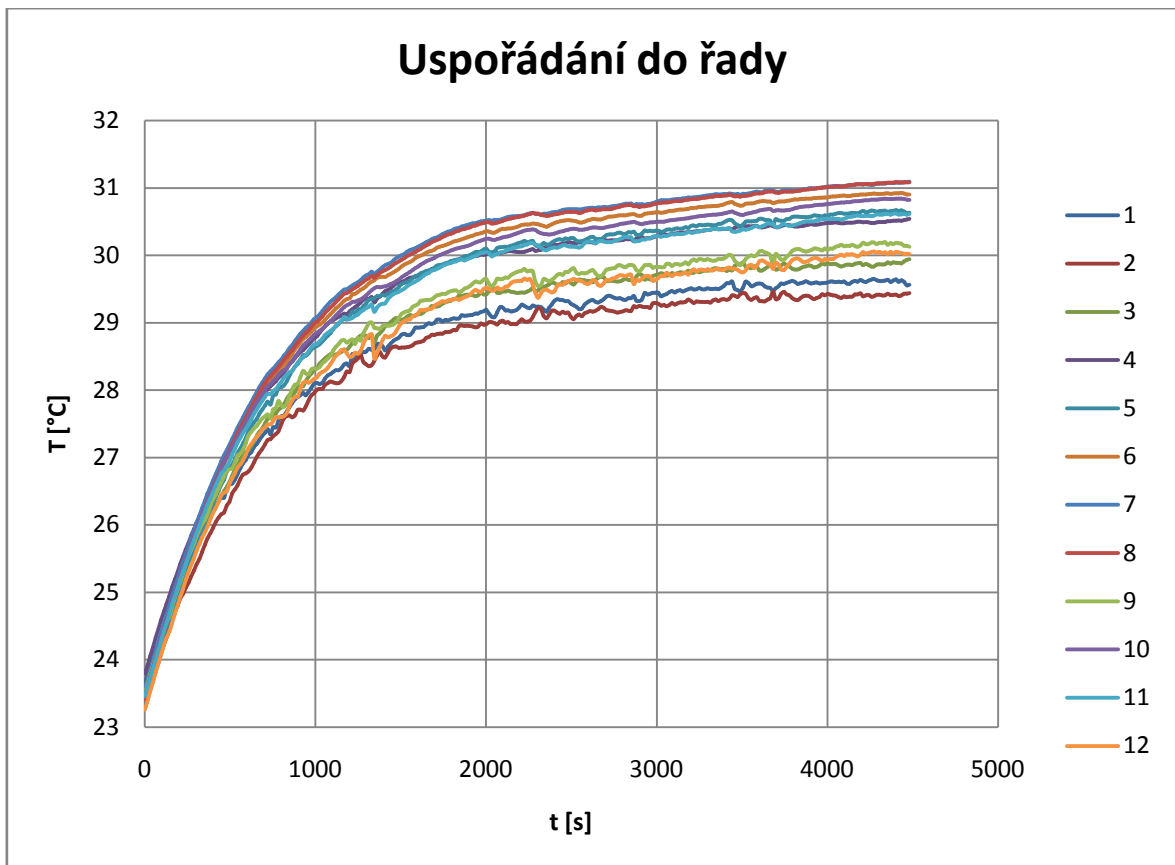
Obr. 4. 9 Snímek z termokamery kabelů uspořádaných do trojúhelníka při největším oteplení

4.3.3 Uspořádání kabelů do řady

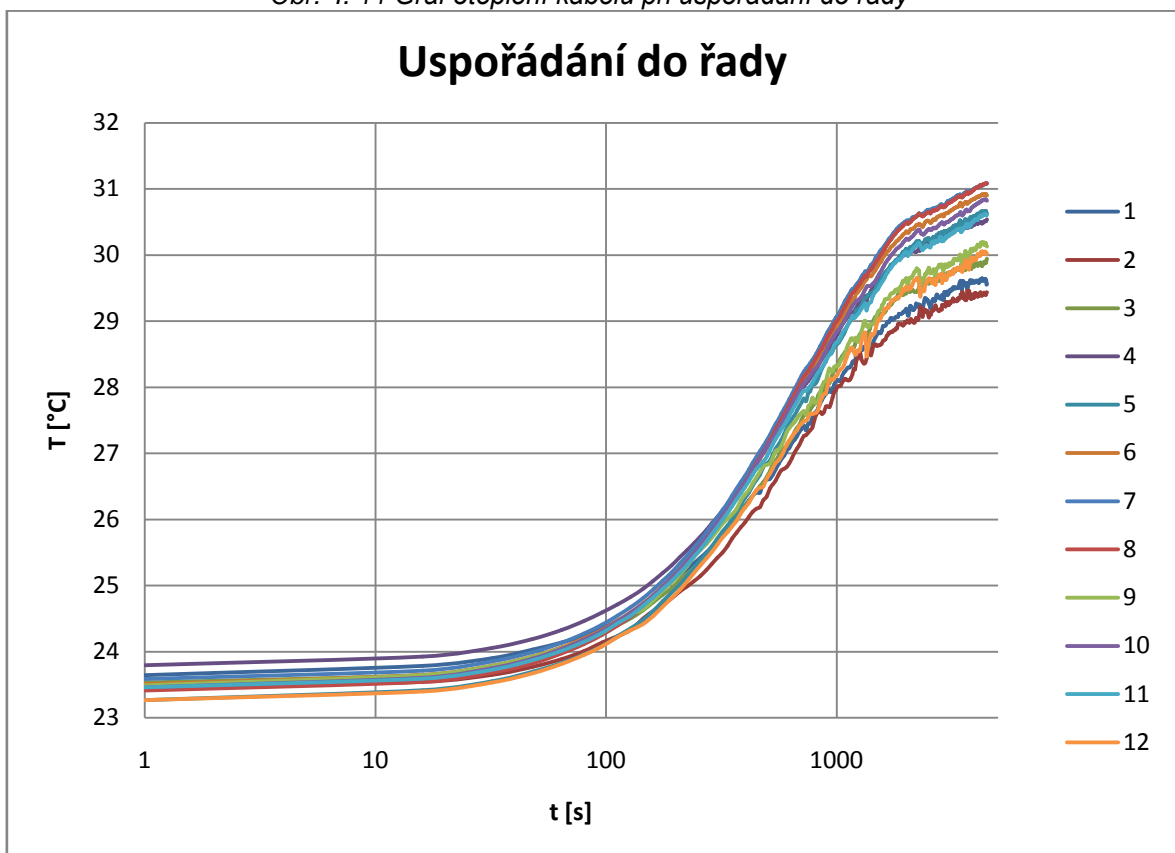
Na Obr 4.11 a 4.12 je vidět oteplení kabelů uspořádaných do řady vedle sebe, maximální dosažená teplota opět závisí na místě měření, je to přibližně 30 °C. Tato teplota byla dosažena přibližně po 70 minutách a dále už se nezvyšovala. Zvlnění křivek v grafu je opět způsobeno vnějšími vlivy. Senzory ukryté v uspořádání tyto vlivy nezaznamenaly.



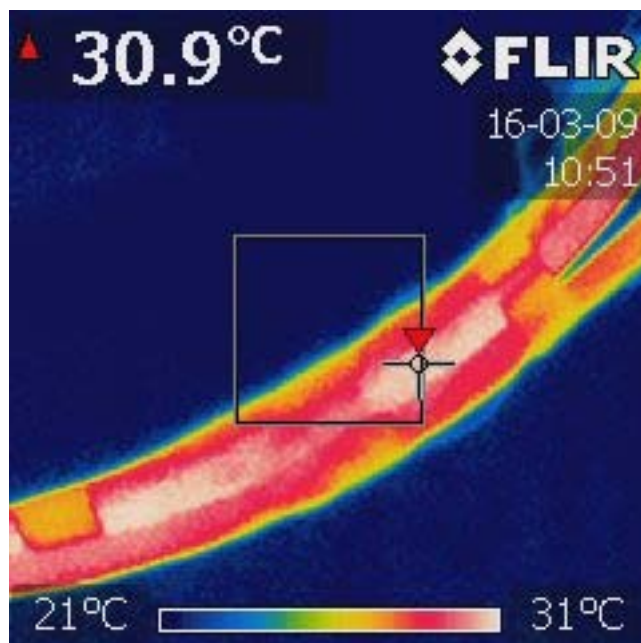
Obr. 4. 10 Náskres pozic senzorů při uspořádání do řady



Obr. 4. 11 Graf oteplení kabelů při uspořádání do řady



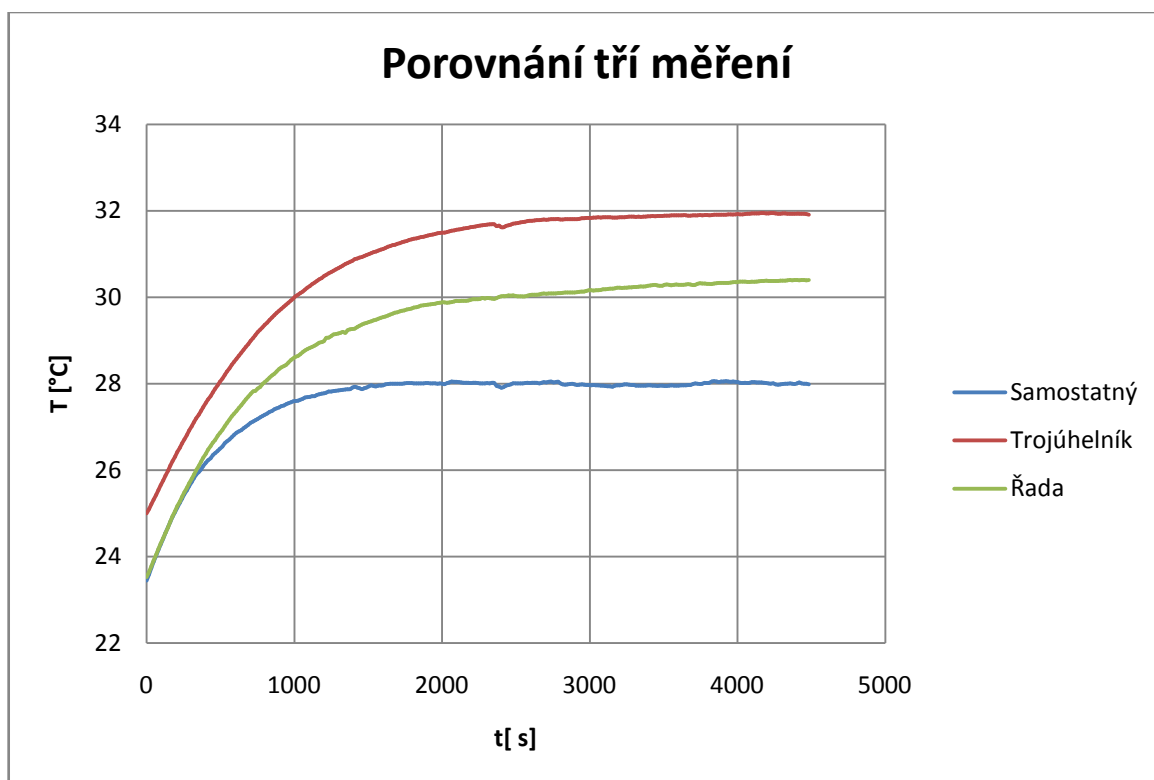
Obr. 4. 12 Graf oteplení při uspořádání do řady s logaritmickou časovou osou



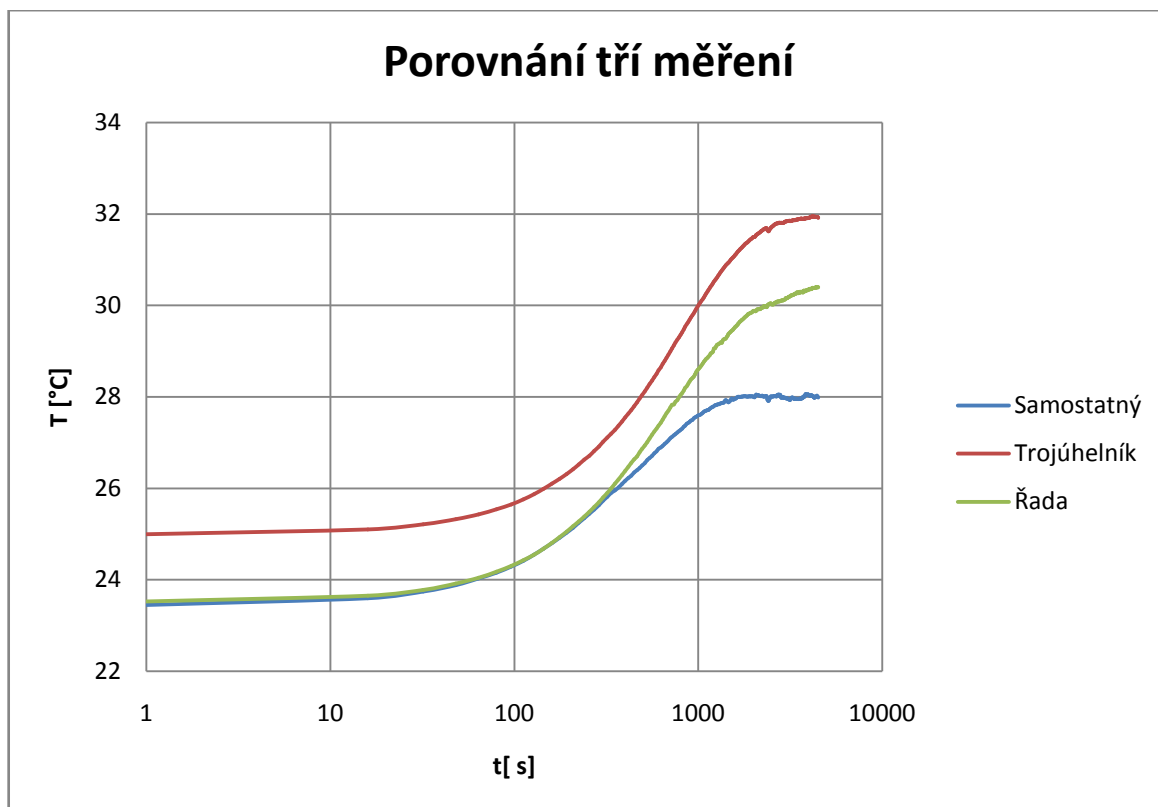
Obr. 4. 13 Snímek z termokamery tří kabelů uspořádaných v řadě

4.4 Porovnání tří uspořádání

V této kapitole jsem porovnal všechna tři měřená uspořádání. Hodnota pro každé uspořádání je průměr hodnot získaných z jednotlivých senzorů při měření daného uspořádání.



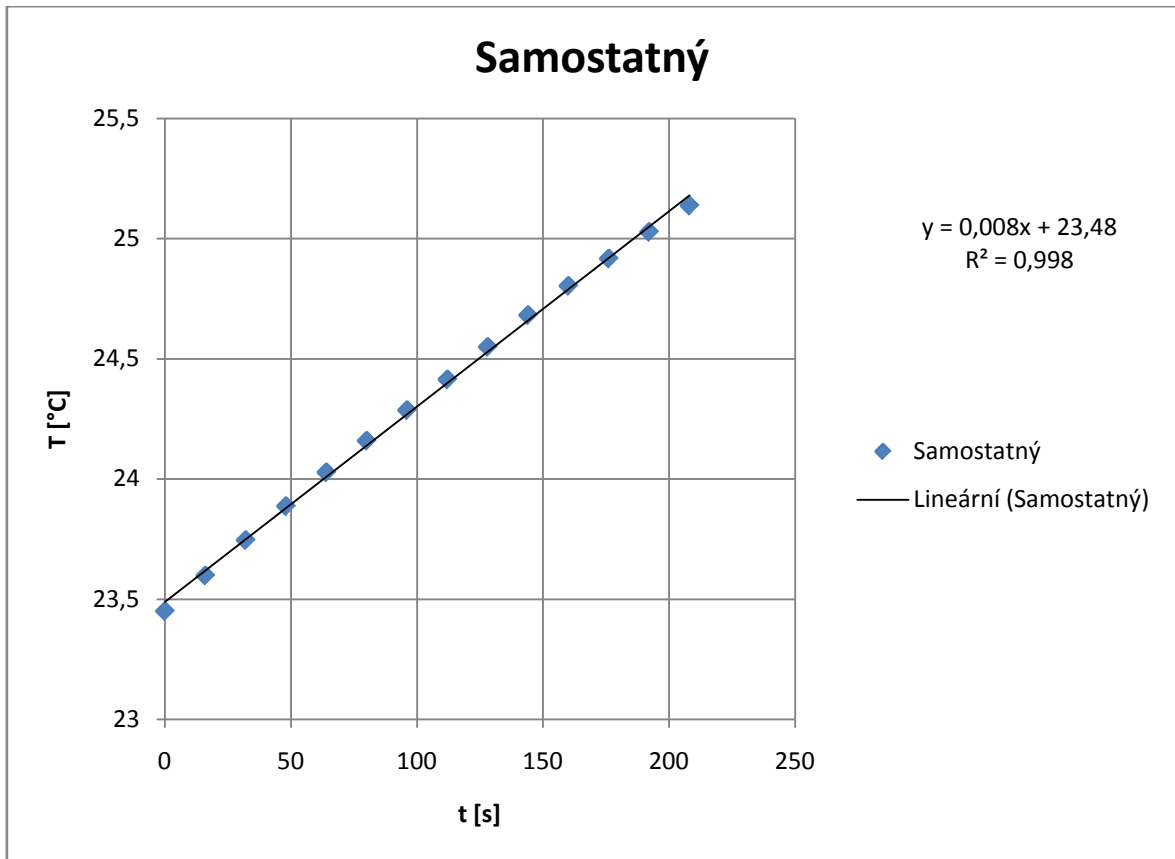
Obr. 4. 14 Graf porovnávající všechny tři měřené varianty uspořádání



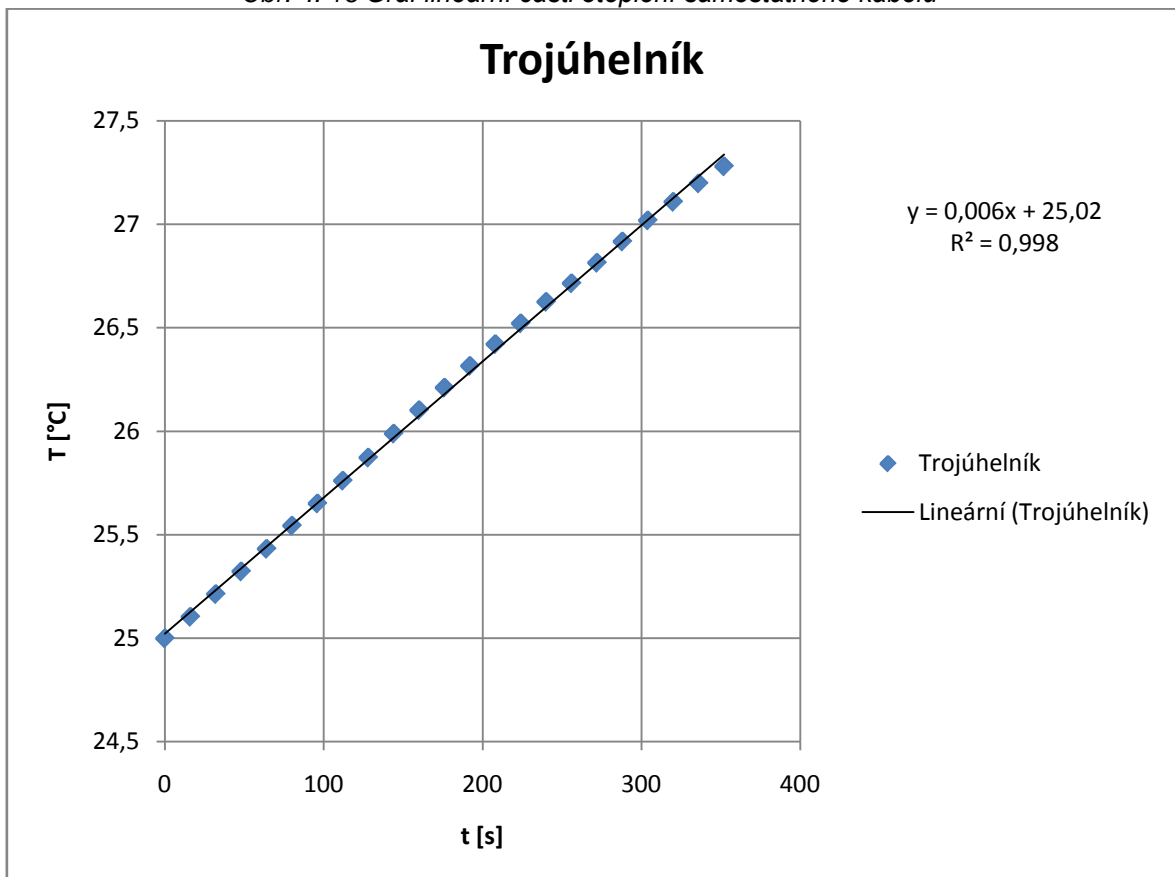
Obr. 4. 15 Graf porovnávající tři měřené varianty s logaritmickou časovou osou

4.4.1 Oblast lineárního nárůstu tepla

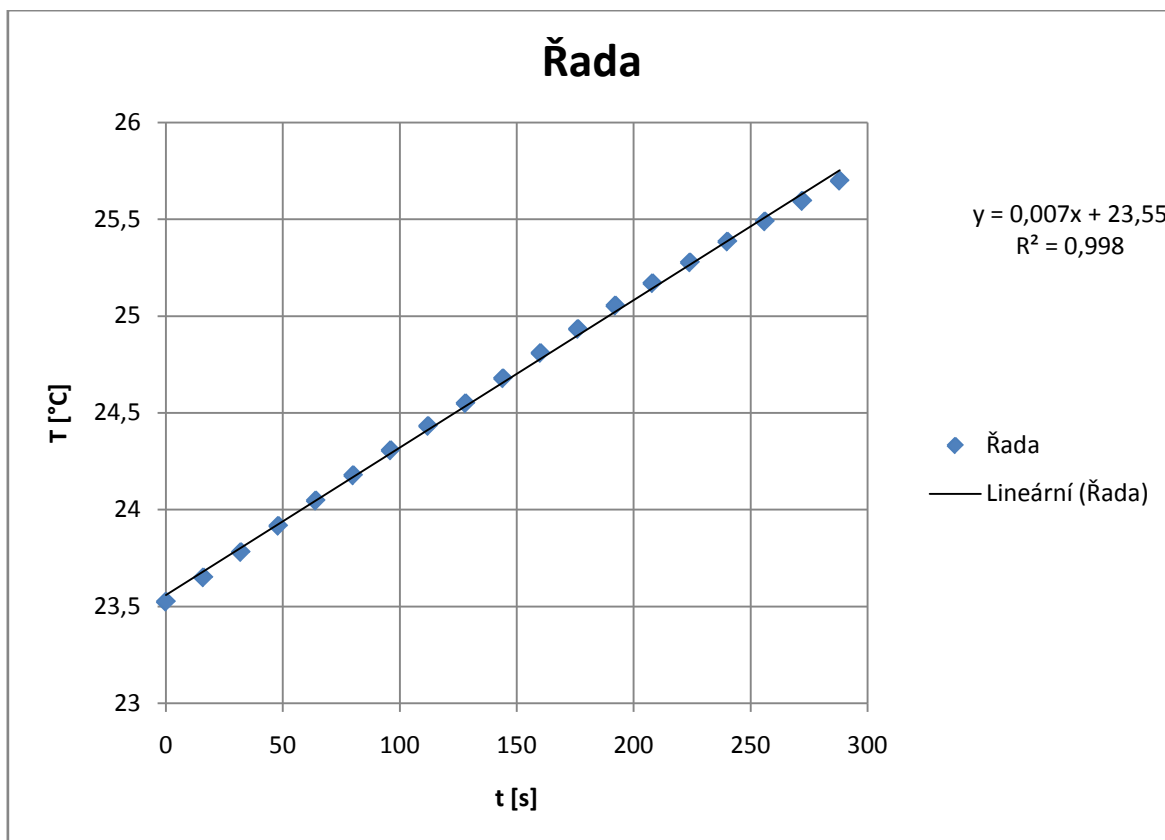
V oblasti lineárního nárůstu teploty dochází k akumulaci tepla v kabelu a k prostupu tepla na povrch, ale ještě nedochází k vyzařování tepla do okolí. Tento děj je z pohledu měření poměrně krátký. Z grafů je vidět, že každé uspořádání má tuto dobu jinou. Nejdelší dobu lineárního růstu teploty mají kabely uspořádané do trojúhelníka, nejkratší dobu prostupu tepla má samostatný kabel. Směrnice přímky mají všechny tři varianty skoro stejné, liší se v tisícinách. Data pro proložení jsem vybíral podle chyby ve spolehlivosti proložení, pro lineární oblast to jsou data ze začátku křivek, tedy od začátku měření až do pěti minut v případě uspořádání do trojúhelníka.



Obr. 4. 16 Graf lineární části oteplení samostatného kabelu



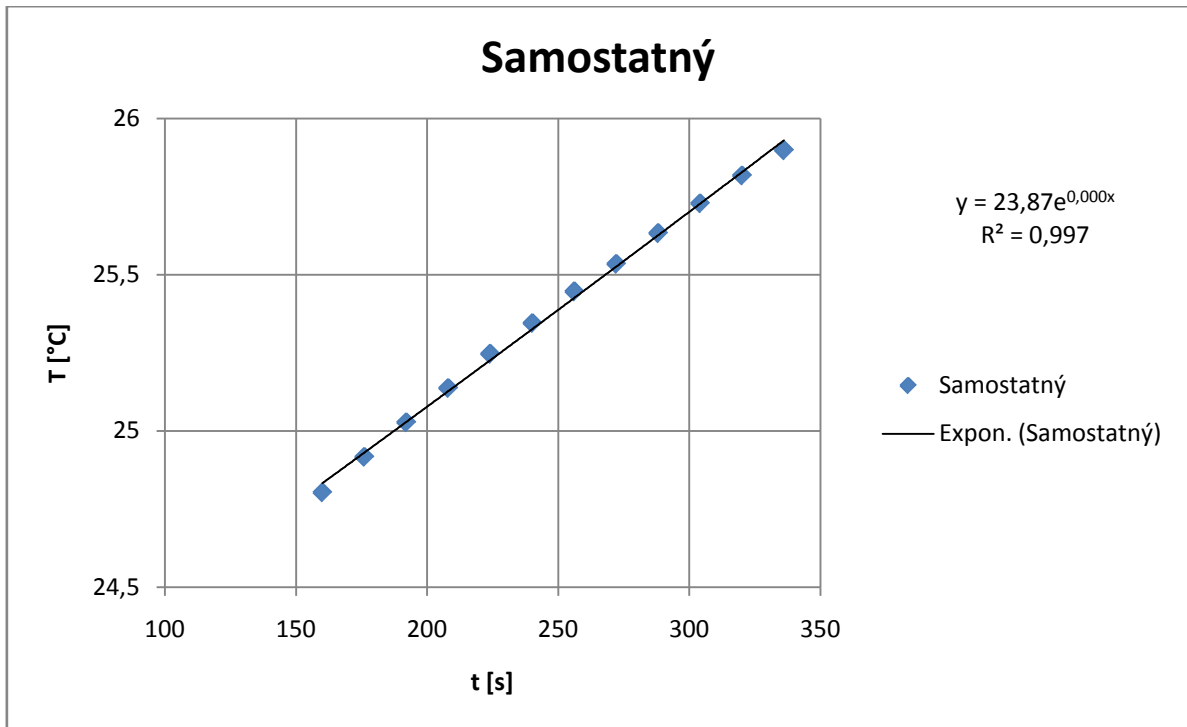
Obr. 4. 17 Graf lineární části tří kabelů uspořádaných do trojúhelníka



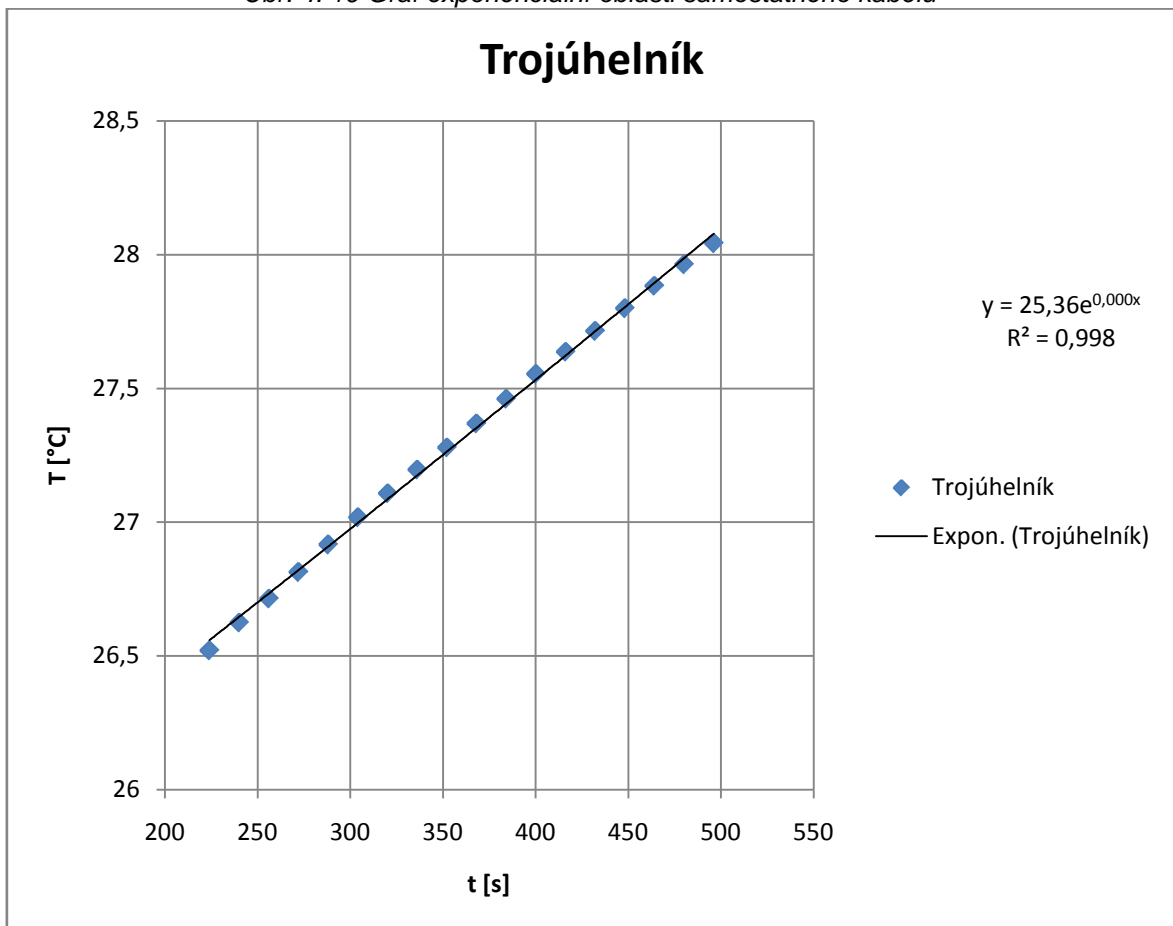
Obr. 4. 18 Graf lineární části tří kabelů v řadě

4.4.2 Oblast exponenciálního nárůstu tepla

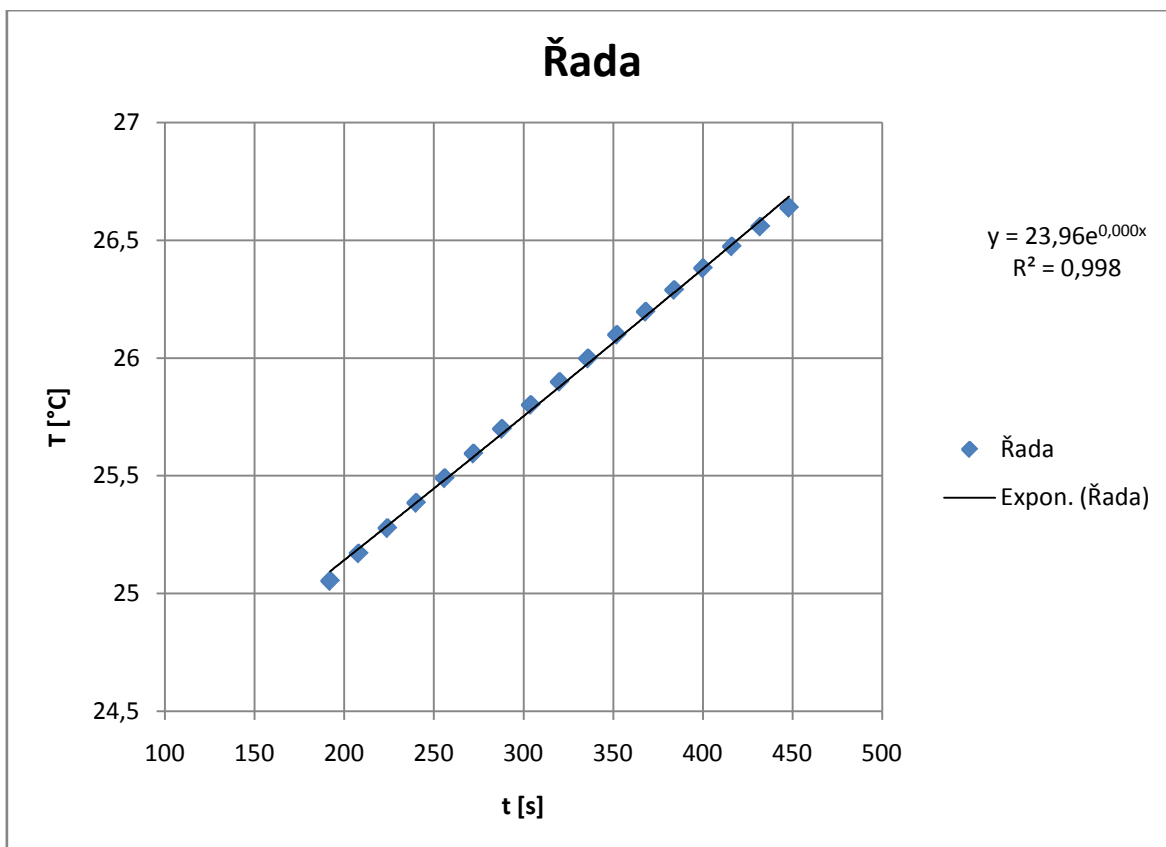
V oblasti exponenciálního nárůstu teploty dochází k sálání tepla z kabelu a tím k jeho ochlazování. Nárůst sálání tepla z kabelu je omezený jeho plochou. Doba trvání tohoto děje je u samostatného kabelu kratší než u trojúhelníka a řady tří kabelů, které mají tuto dobu přibližně stejnou. Koeficienty A jsou u samostatného kabelu a tří kabelů v řadě podobné, uspořádání do trojúhelníka má koeficient odlišný. Hodnoty pro proložení jsem vybíral podle chyby spolehlivosti proložení, jsou to hodnoty od přibližně tří minut do osmi minut.



Obr. 4. 19 Graf exponenciální oblasti samostatného kabelu



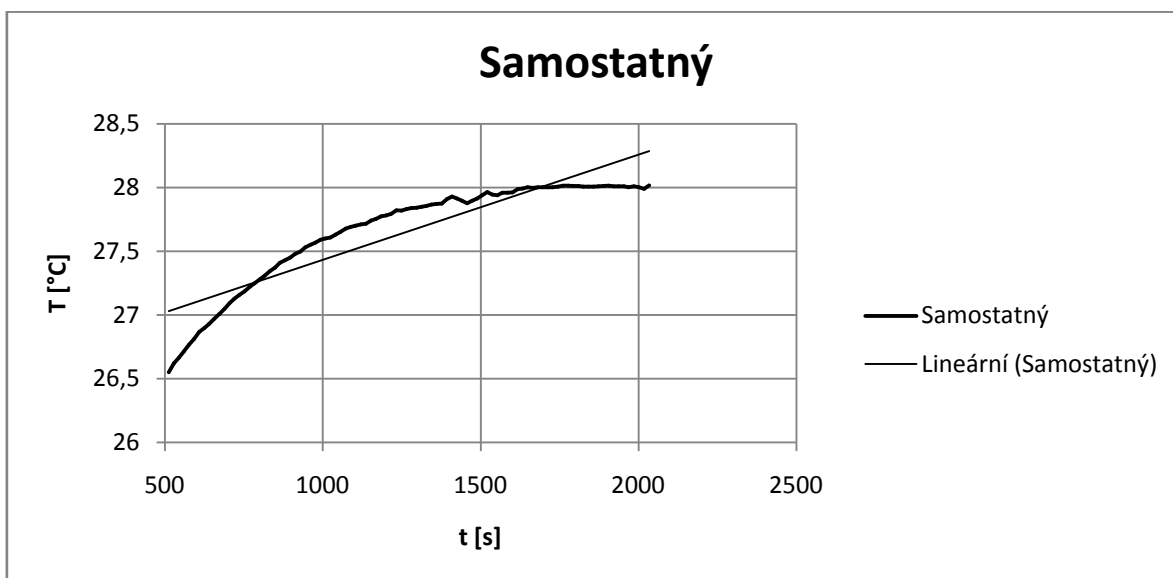
Obr. 4. 20 Graf exponenciální oblasti kabelů v trojúhelníku



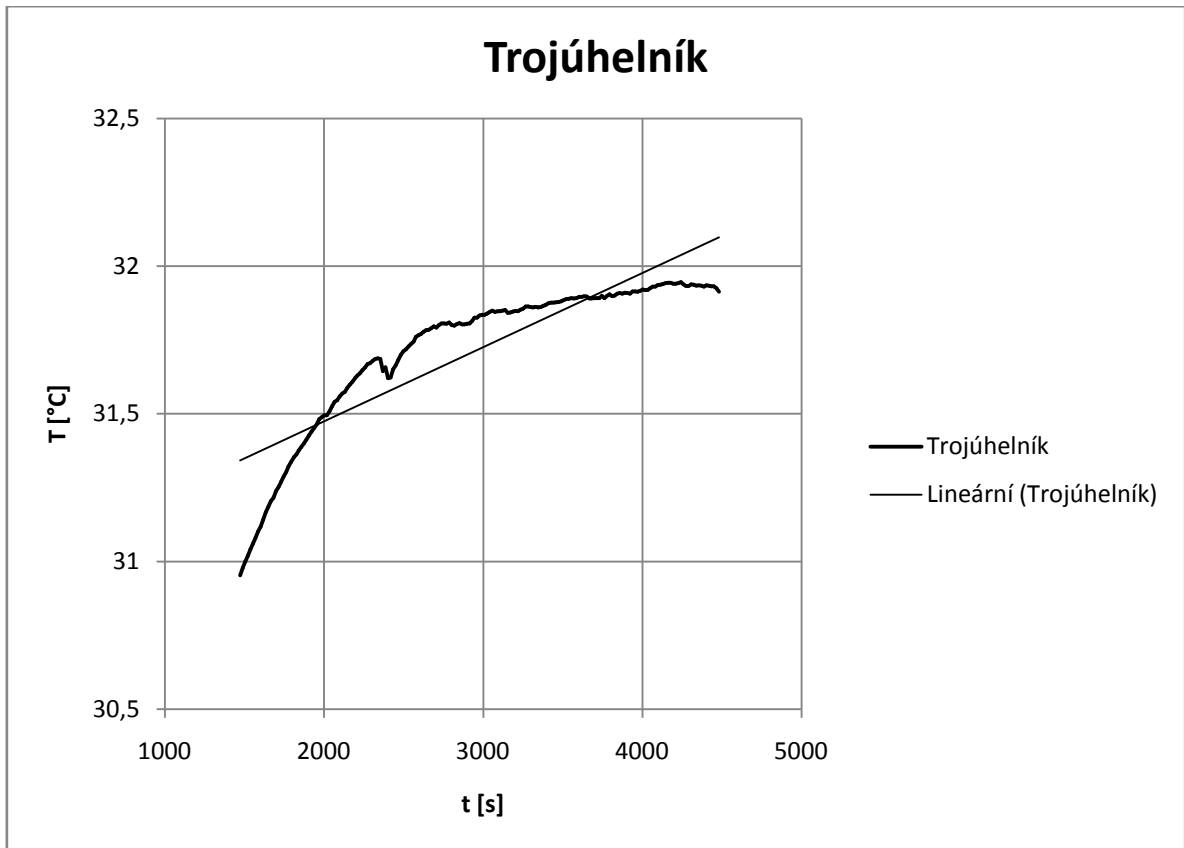
Obr. 4.21 Graf exponenciální oblasti tří kabelů v řadě

4.4.3 Oblast ustálení

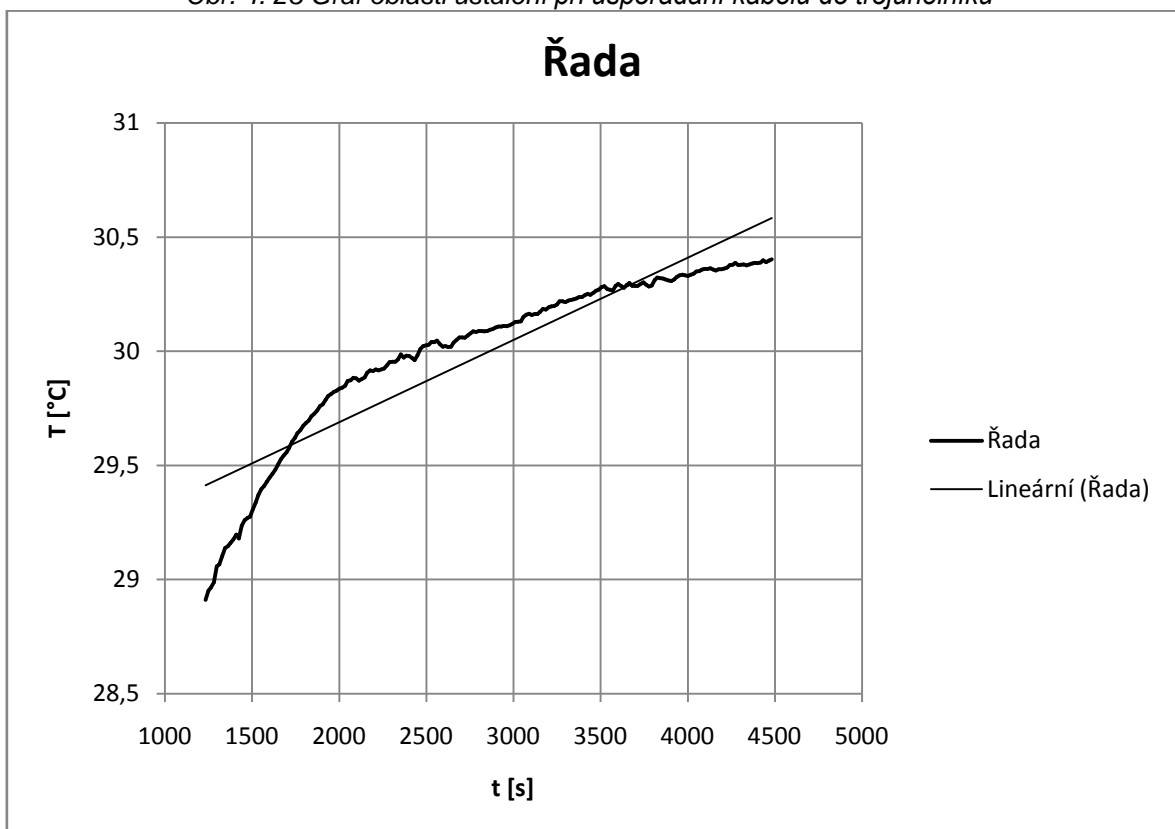
Z grafů porovnávajících ustálení je vidět, že nejrychleji dosáhne nejvyšší teploty při maximálním dovoleném proudu samostatný kabel, také nejstrměji dosáhne ustálené teploty. Naopak nejdéle trvá ustálení u tří kabelů uspořádaných v řadě, také mají nejpozvolnější ustálení.



Obr. 4.22 Graf oblasti ustálení u samostatného kabelu



Obr. 4. 23 Graf oblasti ustálení při uspořádání kabelů do trojúhelníku



Obr. 4. 24 Graf oblasti ustálení při uspořádání tří kabelů vedle sebe

Závěr

Platné normy zabývající se problematikou proudové zatížitelnosti kabelů bych rozdělil do dvou kategorií, na výpočtové a tabulkové. Tabulkovými normami bych nazval normy ČSN, v těchto normách jsou hodnoty dovolených proudů uvedeny v tabulkách podle rozměrů a počtu jader. Tyto hodnoty se nadále upravují pomocí koeficientů podle způsobu uložení kabelů, seskupení většího počtu kabelů nebo z důvodu zvýšené okolní teploty. Nevýhodou těchto norem je výpočet dovoleného proudu pouze pro kabely a způsoby uložení definované v normě. V normě nejsou uvedené dovolené proudy pro mnohožilové kabely a další speciální kabely. Výpočtovou normou bych nazval normu na výpočet dovoleného proudu zpracovanou mezinárodní elektrotechnickou komisí. Podle této normy je možné dovolený proud kabelem vypočítat přesně podle vlastností použitých materiálů v kabelu a okolních podmínkách. Tento výpočet pro samostatný kabel uložený na vzduchu je uveden v kapitole 3.2. Výpočet podle této normy také využívá tabulky s koeficienty, ale v mnohem menší míře než norma ČSN. Nevýhodou této normy je její nedokončenost v oblasti právě speciálních kabelů a aplikací, tato oblast se stále zkoumá. Při porovnání dovolených proudů získaných z obou norem lze říci, že rozdíl 0,3 A ve výpočtu je zanedbatelný.

Při uspořádání kabelů do trojúhelníka bylo dosaženo nejvyšší teploty, nejnižší teplotu měl samostatně umístěný kabel. Toto větší oteplení je zřejmě způsobeno nepřepočtením dovoleného proudu pro uspořádání do trojúhelníka, tento přepočet by jistě dovolený proud snížil. Všechna měřená uspořádání kabelů se nepřiblížila kritické teplotě 90 °C, která platí pro zesíťovaný polyethylen. Kabel tedy vyhověl nárokům normy a v oblasti proudové zatížitelnosti je předimenzovaný.

Na základě informací dostupných z katalogu a experimentálního měření kabelu byly objeveny nedostatky jak v provedení kabelu, tak v postrádání některých důležitých informací v katalogovém listu dodavatele kabelu. Jedná se zejména o chybné uvedení průměru kabelu, průměr by měl být 12 mm, ale ve skutečnosti je 10 mm, a neuvedení proudové zatížitelnosti kabelu v katalogu. V příloze je ofocený katalog firmy Kabex a.s., obrázky 5.1 a 5.2.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Katalog kabelů firmy Kabex a.s.* [online]. [cit. 2016-05-6]. Dostupné z: <http://data.kabex.quonia.cz/ke-stazeni/KATALOG.pdf>
- [2] ČSN 33 2000–5–523 Elektrická zařízení Část 5 – Výběr a stavba elektrických zařízení Oddíl 523 Dovolené proudy
- [3] ČSN 33 2000–5–523 Elektrická zařízení Část 5 – Výběr a stavba elektrických zařízení Oddíl 524 Průřezy vodičů
- [4] ČSN 33 2000–5–523 Elektrická zařízení Část 5 – Výběr a stavba elektrických zařízení Příloha B
- [5] ČSN IEC 287-1-1 – Elektrické kabely – Výpočet dovolených proudů – Část 1: Rovnice pro výpočet dovolených proudů (100% zatížitelnost) a výpočet ztrát – Oddíl 1: Všeobecně
- [6] ČSN IEC 287-2-1 – Elektrické kabely – Výpočet dovolených proudů – Část 2: Tepelný odpor – Oddíl 1: Výpočet tepelného odporu
- [7] *Katalogový list firmy Tesla Blatná a.s.* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: http://www.tesla-blatna.cz/soubory/katalogovy_list_ptlk.pdf
- [8] *Katalog zařízení LOCA, Příloha č. 1, Centrum výzkumu Řež s.r.o.* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <https://www.vhodne-uverejneni.cz/index.php?m=xenorders&h=orderdocument&a=download&document=257500&r=https%3A%2F%2Fwww.vhodne-uverejneni.cz%2Fzakazka%2Fsusen-zarizeni-pro-simulaci-tezke-havarie-je-nove-generace-loc>

Přílohy

silový kabel oheň nešířící bezhalogenový

1-CXKE-R

technická specifikace



Konstrukce

1. Jádro
2. Izolace
3. Separátor
4. Výplň
5. Plášť

Cu jádra třídy 1 nebo 2 dle IEC 60228
XLPE

oheň nešířící bezhalogenová
oheň nešířící bezhalogenová polymerní směs



Použití

Silové kabely oheň nešířící a bezhalogenové se používají v silových rozvodech v prostorách, kde jsou kladeny vysoké nároky na ochranu osob, zařízení, konstrukcí a materiálů např. ve veřejných prostorách, nákupních centrech, v nemocnicích, v hotelech, tunelových stavbách. Lze je využít v prostředí suchém i mokřem. Konstrukce splňuje požadavky norem řady HD 604 - speciální provedení pro elektrárny. Tyto kabely jsou otestovány pro životnost 40 let a havárii typu HELB. Kabely mohou být uloženy v prostředí s nebezpečím výbuchu Zóna 1, 2 při dodržení podmínek jiskrové bezpečnosti dle IEC 60079-11.

Technické parametry

Jmenovité napětí	0,6/1 kV AC
Zkušební napětí mezi žilami	4 kV AC 5 min
Izolační odpor	> 1000 MΩ.km
Teploty okolí (pevné uložení)	- 40° C až + 90° C
Teploty okolí (během instalace)	- 5° C až +50° C
Minimální poloměr ohybu(pevné uložení)	10 x průměr kabelu

Základní charakteristiky

Samozhášivý	EN 60332-1-2
Odolný proti vertikálnímu šíření plamene	EN 60332-3-22
Bezhalogenové, nízká korozivita plynů při hoření	EN 50267-2-3
Nízká hustota kouře při hoření	EN 61034-2
Barevné značení žil	HD 308 S2
Barva pláště	oranžová

Odvozené varianty

Nejběžnější odvozené varianty:

- 1-CXFE-R - se stíněním AIPET fólií a příložným drátkem
- 1-CXFE-R /st/ - se stíněním AIPET fólií a příložným drátkem a se samostatným stíněním prvků AIPET fólií a příložným drátkem
- 1-CXFOE-R /sto/ - se stíněním CuSn opletem a příložným drátkem a se samostatným stíněním prvků opletem a příložným drátkem
- 1-CXKE-R /ZE/ - s lehkým pancéřem
- CPDex PR** - varianta s nízkým uvolňováním tepla při požáru

Poznámka: další odvozené varianty viz kódové značení silových kabelů




























CE výrobek je v souladu se směrnicí EU 73/023/EEC pro nízké napětí

Data v katalogovém listu jsou majetkem Kabelovny Kabex® a. s. Je zakázáno je kopírovat a používat k jinému účelu, než ke kterému byl list vydán.



Kabelovna Kabex® a. s., Politických vězňů 84, 345 62 Holýšov
tel.: 377 010 520, e-mail: kabex@kabex.cz, www.kabex.cz

18

Obr. 5. 1 Katalog firmy Kabex a.s.[1]

silový kabel oheň nešířící bezhalogenový

I-CXKE-R

typ kabelu	výrobní délka (m)	průměr kabelu (mm)	hmotnost kabelu (kg/km)	max. činný odpor jádra Ω/km
I-CXKE-R				
2x1	3000	9,5	115	18,1
3x1	3000	10	135	18,1
4x1	3000	10,5	155	18,1
5x1	3000	11,5	175	18,1
7x1	3000	12,5	215	18,1
2x1,5	2000	11	150	12,1
3x1,5	2000	12	200	12,1
4x1,5	2000	12	200	12,1
5x1,5	2000	13	230	12,1
7x1,5	2000	14	280	12,1
12x1,5	2000	17	425	12,1
19x1,5	1500	20	610	12,1
2x2,5	1500	11,5	180	7,41
3x2,5	1500	12,5	215	7,41
4x2,5	1500	13	250	7,41
5x2,5	3500	14	290	7,41
7x2,5	1500	15	360	7,41
12x2,5	1500	18	540	7,41
19x2,5	1000	22	815	7,41
2x4	1000	13	240	4,61
3x4	1000	13,5	280	4,61
4x4	3250	14,5	340	4,61
5x4	1000	15,5	395	4,61
7x4	1000	16,5	485	4,61
12x4	1000	21,5	800	4,61
2x6	1500	14	300	3,08
3x6	1500	14,5	350	3,08
4x6	150	16	430	3,08
5x6	2250	17	510	3,08
3x10	750	18	560	1,83
4x10	750	19,5	705	1,83
5x10	1000	22	860	1,83
3x16	1500	19	720	1,15
4x16	1250	21	920	1,15
5x16	1000	22,5	1110	1,15
3x25	1000	24,5	1160	0,727
4x25	750	27	1470	0,727
5x25	500	30	1810	0,727
3x35	750	27	1520	0,524
4x35	500	30	1900	0,524
5x35	500	33	2370	0,524
3x50	500	30,5	2010	0,387
4x50	250	34	2550	0,387
5x50	250	37	3110	0,387
3x70	250	35	2750	0,268
4x70	250	38	3570	0,268
5x70	250	42	4350	0,268

rozměrové varianty

průřez žily (mm ²)	počet žil
0,5	1-70
0,75	1-70
1	1-70
1,5	1-70
2,5	1-70
4	1-40
6	1-40
10	1-25
16	1-25
25	1-15
35	1-15
50	1-7
70	1-7
95	1-5
120	1-3
150	1
185	1
240	1
300	1



Obr 5. 2 Katalog firmy Kabex a.s. [1]