

## Měření elektrických vlastností polymerních kompozitů

### Úkol měření:

1. Změřte odpor souboru vzorků polymerního kompozitu (nízkohustotní polyetylen s objemovou koncentrací sazí v intervalu 0 – 20%). K měření použijte program *KOMPOZIT*, nainstalovaný na řídicím PC.
2. Vypočítejte objemovou resistivitu jednotlivých vzorků. Nakreslete graf  $\rho = f(\text{obj. \% } N_C)$ . Stanovte perkolační práh kompozitu.
3. Změřte teplotní závislost vzorku topného kabelu temperovaného v teplotním kalibrátoru ISOTECH Venus 2140 v teplotním intervalu  $-5^\circ\text{C}$  až  $+50^\circ\text{C}$ .
4. Vysvětlíte teplotní závislost odporu kompozitu porovnejte ji s kovy (tab.1) na základě směrnice křivky a velikosti teplotního koeficientu odporu.

### Tabulky naměřených hodnot:

Koncentrace sazí $N_C$	Obj.%	0	3	3,5	4	4,5	5
Odpor vzorku $R$	$\Omega$	$5,8 \cdot 10^{14}$	$7,11 \cdot 10^{14}$	$1,39 \cdot 10^{14}$	$1,26 \cdot 10^{12}$	$2,29 \cdot 10^{12}$	$1,35 \cdot 10^{11}$
Resistivita vzorku $\rho$	$\Omega\text{m}$	$2,63 \cdot 10^{16}$	$3,74 \cdot 10^{16}$	$6,2 \cdot 10^{15}$	$6,41 \cdot 10^{13}$	$1,04 \cdot 10^{14}$	$6,03 \cdot 10^{12}$
Koncentrace $N_C$	Obj.%	6	7	8	9	15	20
Odpor vzorku $R$	$\Omega$	$3,06 \cdot 10^{10}$	$1,78 \cdot 10^9$	$3,11 \cdot 10^5$	$3,71 \cdot 10^5$	$5,89 \cdot 10^3$	$2,39 \cdot 10^3$
Resistivita vzorku $\rho$	$\Omega\text{m}$	$1,61 \cdot 10^{12}$	$9,37 \cdot 10^{10}$	$1,53 \cdot 10^7$	$1,54 \cdot 10^7$	$2,23 \cdot 10^5$	$8,93 \cdot 10^4$

$$\rho = \frac{\left( \frac{\pi \cdot D_{ef.}^2}{4} \right)}{h} R$$

kde  $D_{ef.}$  je efektivní průměr měřící elektrody ( $5,4 \cdot 10^{-2}$  m),  $h$  je tloušťka vzorku (m) a  $R$  je objemový odpor vzorku ( $\Omega$ ). Tloušťka vzorku byla vždy pro výpočet změřena mikrometrem.

Topný kabel		$\alpha_R$ ( $\text{K}^{-1}$ ):								
Odpor $R$	$\Omega$	169	172	172	177	179	184	186	189	193
Teplota $\vartheta$	$^\circ\text{C}$	-7	-5	-3	0	3	5	7	10	13
Odpor $R$	$\Omega$	201	205	213	220	227	232	244	259	267
Teplota $\vartheta$	$^\circ\text{C}$	15	17	20	23	25	27	30	33	35

$$\alpha_R = \frac{R - R_0}{R_0(T - T_0)} = \frac{241 - 175}{175(30 - 0)} = 0,0126 \text{ K}^{-1}$$

**Graf:** - Grafy viz. Vložené listy.

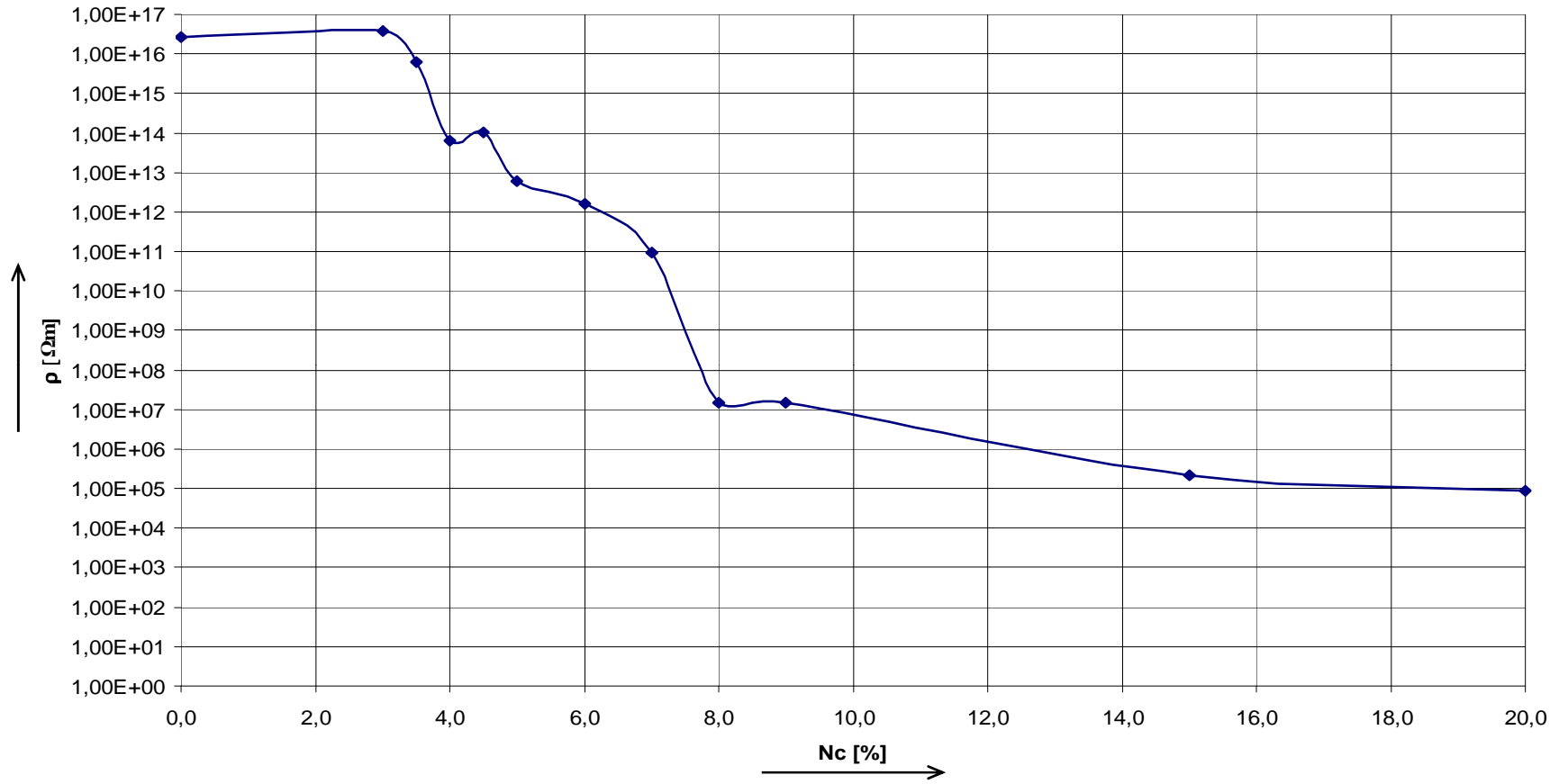
### ***Hodnocení měření:***

Měřením a následným výpočtem jsme dospěli k závislosti objemové rezistivity na koncentraci plnidla (nizkomolekulární, elektricky vodivé). Zde je možno pozorovat, že od určité koncentrace (perkolační práh) má kompozit charakter vodiče. Na základě tohoto předpokladu určuji perkolační práh kompozitu na cca 7% koncentrace plnidla. Je docela dobře možné, že tato hranice by se dala dle grafu dát třeba ještě o kousíček dál. Měření je totiž ovlivněno (zvláště při měření vyšších rezistivit) chybou, kdy již při malém změnění pracovního prostředí dochází ke změně hodnot. Snažili jsme se to eliminovat čekáním, až se kapacita kabelu vybije, což ale trvá přes veliké odpory poměrně dlouho. To, že charakteristika není úplně jako „učebnicový“ teoretický průběh je způsobeno např. tím, že jsme v průběhu měření pohnuli s přírodním kabelem, tím jsme změnilí hodnotu jeho kapacity, a tak se změnila i hodnota impedance (před úplným ukončením přechodového děje vybíjení kapacity kabelu se vždy jedná obecně o impedanci, ne o odpor kompozitu, co měříme). Graf by také bylo možno ještě lépe proložit křivkou, a tak by se vzhledově průběh zlepšil, přiblížil učebnicovému.

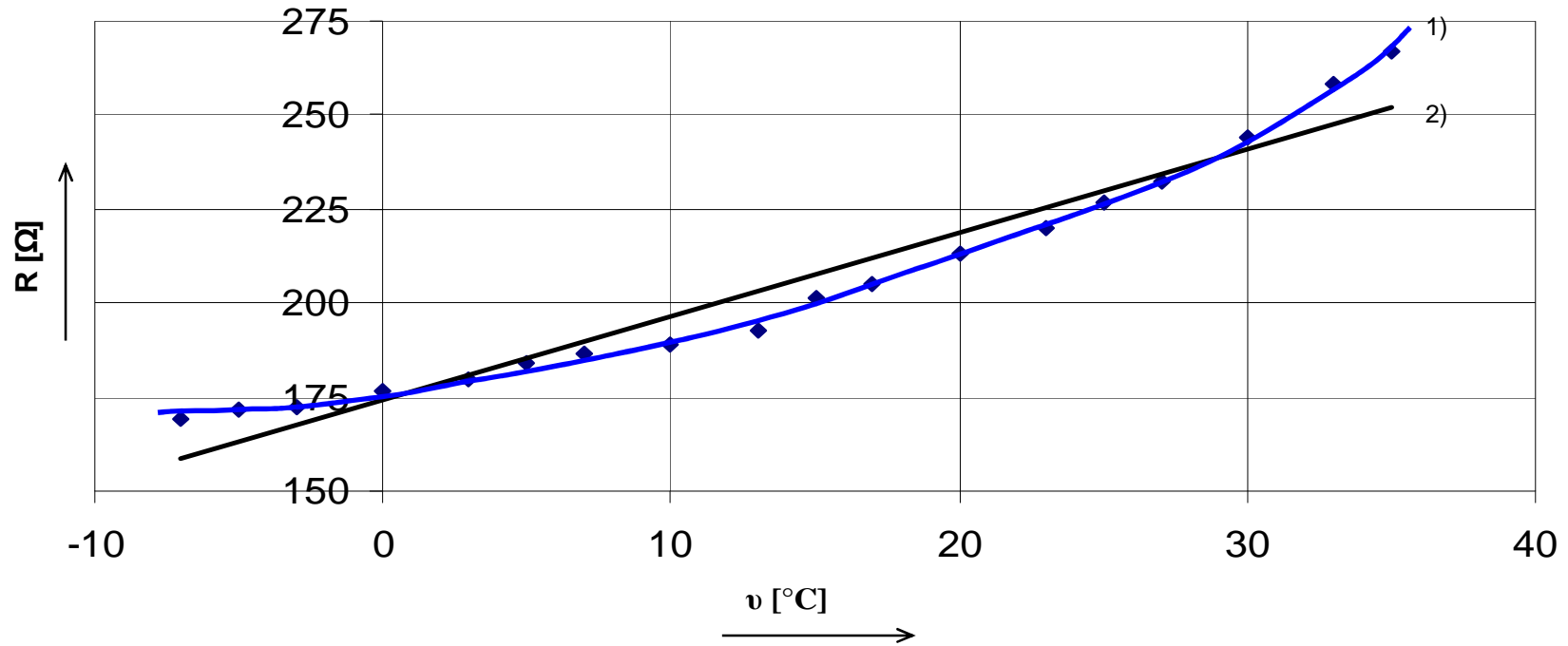
Porovnáme-li teplotní závislost odporu kompozitu s kovy na základě velikosti teplotního koeficientu odporu (kovy:  $\alpha_c$  okolo  $4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ; kompozity dle našeho měření:  $\alpha_c$  okolo  $12 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ), docházíme k závěru, že kompozity stejně jako kovy při ohřívání zvyšují svoji rezistivitu a navíc jsou cca o řád na teplotě „závislejší“.

Co se týče tvaru grafu závislosti odporu kompozitu na teplotě, je vidět slabě kvadratická závislost (úsečka v grafech č.1). Ale pokud bychom aproximovali jenom pomocí jednoho teplotního koeficientu (nebudeme uvažovat u teplotní závislosti kvadratický člen)(a tak při našem měření postupujeme), pak lze považovat tuto závislost za lineární (úsečka v grafech č.2). Je ale pravděpodobné, že užití kvadratického teplotního koeficientu odporu by mělo větší význam na přesnost spíše u kompozitů než u běžných kovů.

Závislost  $\rho$  na  $N_c$



Závislost R na u



křivka 1) - jedna možnost proložení bodů, pravděpodobně lepší než úsečkou 2

úsečka 2) - pokud bychom body proložili lineárně. Takto by ale linearizace vypadala spíše pro měření kovů - viz. Hodnocení měření