

# Vodivé polymery

P. Veřtát

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

vertatp@gmail.com

## Abstrakt

Cílem mé práce bylo zasvětit posluchače do základů problematiky vodivých polymerů, seznámit jej s polyanilinem, technikou měření na vzorcích a s výsledky mnou uskutečněného měření.

## 1 Úvod

Polymery jsou všeobecně známy jako izolanty. Existují však konjugované polymery, které mohou vykazovat vysokou vlastní elektrickou vodivost. Umožňuje ji konjugace v molekulární struktuře. Kromě toho je nezbytným předpokladem přítomnost pohyblivých nosičů náboje, které transport po konjugovaném řetězci zprostředkovávají. [1]

Strukturně nejjednodušším konjugovaným polymerem je polyacetylen. Když tenký polyacetylenový film dopujeme parami jodu, vzroste el. vodivost filmu přibližně milionkrát. Z polymerního řetězce je odejmut elektron. Po přenesení elektronu z řetězce polyacetylenu k molekule jodu, která se nabije záporně, nese polyacetylenová molekula kladný pohyblivý náboj. Podstatný rozdíl mezi dopováním anorganických a organických polovodičů spočívá v tom, že u anorganických látek dokážeme výrazně ovlivnit elektrické vlastnosti materiálu již při stopových koncentracích dopující látky, u polymerů jsou potřeba řádově vyšší koncentrace. [1]

Pro transport elektrického náboje je určujícím momentem přeskok nositelů mezi jednotlivými řetězci. Tento transport je silně závislý na uspořádání makromolekul.

## 2 Polyanilin

Typické řetězce jsou složeny z mnoha anilinových konstitučních jednotek. Elektrická vodivost polyanilinu je srovnatelná s vodivostí běžných polovodičů. Polyanilin existuje v řadě forem, které se liší stupněm oxidace či protonace. Při odebrání či dodávání elektronů chemickou či elektrochemickou oxidací a redukcí lze získat formy s různou chemickou strukturou, stabilitou, zbarvením a elektrickými vlastnostmi. Důležitou reakcí je protonace polyanilinu. Jestliže je dárce protonu vhodná anorganická či organická kyselina, vzroste vodivost polyanilinu v rozmezí osmi až deseti řádů. Vyšších vodivostí lze dosáhnout mechanickým namáháním polyanilinových filmů či vláken. [1]

## 3 Měření vodivosti

V laboratoři Katedry makromolekulární fyziky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze jsem měřil vodivost polymerů. Polymery jsou do laboratoře dodávány lisované v tabletách. Způsob přípravy neumožňuje dost dobře dodávat tablety vždy stejné tloušťky, proto je vždy třeba ji přesně změřit.

Při měření vodivosti je třeba počítat s několika problémy. Vodivost se mění od vzorku ke vzorku (není možné vytvořit dva identické vzorky), vzorek není zcela homogenní, vodivost se mění s teplotou a tlakem. Měření silně ovlivňují kontakty, proto je třeba užívat zvláštních metod (čtyřbodové měření, van der Pauwova metoda aj.)

## 4 Van der Pauwova metoda

Tato metoda umožňuje měřit rezistivitu tenkého vzorku jakéhokoliv tvaru. Metoda vyžaduje, aby byly kontakty co nejbližší okrajům vzorku, aby byly rovnoměrně rozděleny, aby byl povrch vzorku spojitý (nesmí se vyskytovat díry uprostřed atd.) a aby měl ve všech místech stejnou tloušťku.

Pro rezistivitu pak platí:

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \frac{(R_{12,34} + R_{23,41})}{2} F,$$

kde  $d$  je tloušťka vzorku,  $F$  je korekční faktor,  $R$  naměřený odpor přičemž užíváme značení  $R_{12,34} = U_{34}/I_{12}$ , kde  $U_{34} = U_3 - U_4$  apod. [2]

## 5 Naměřené hodnoty

Pro příklad uvádím naměřené hodnoty rezistivity jednotlivých vzorků měřených van der Pauwovou metodou při různých proudech procházejících vzorky za pokojové teploty v tabulkách 1 a 2.

Tabulka 1 Vzorek: 250-S1-2009-7 tloušťka vzorku: 0,1372cm

$\rho$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$I$ [mA]
4,45749E-01 $\pm$ 1,39699E-05	1
4,45658E-01 $\pm$ 1,67286E-05	1
4,45784E-01 $\pm$ 3,88355E-05	2
4,45589E-01 $\pm$ 6,04648E-05	5
4,45329E-01 $\pm$ 1,33784E-04	10

Z prvních dvou řádků hodnot vidíme, jak rozdílné hodnoty dostaneme i když opakujeme měření při stejném proudu znovu později.

Po tomto měření jsem posunul kontakty blíže středu a naměřil:

$\rho$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$I$ [mA]
4,39142E-01 $\pm$ 3,68409E-05	1

Poté jsem posunul kontakty mezi původní polohu a polohu blíže středu a naměřil:

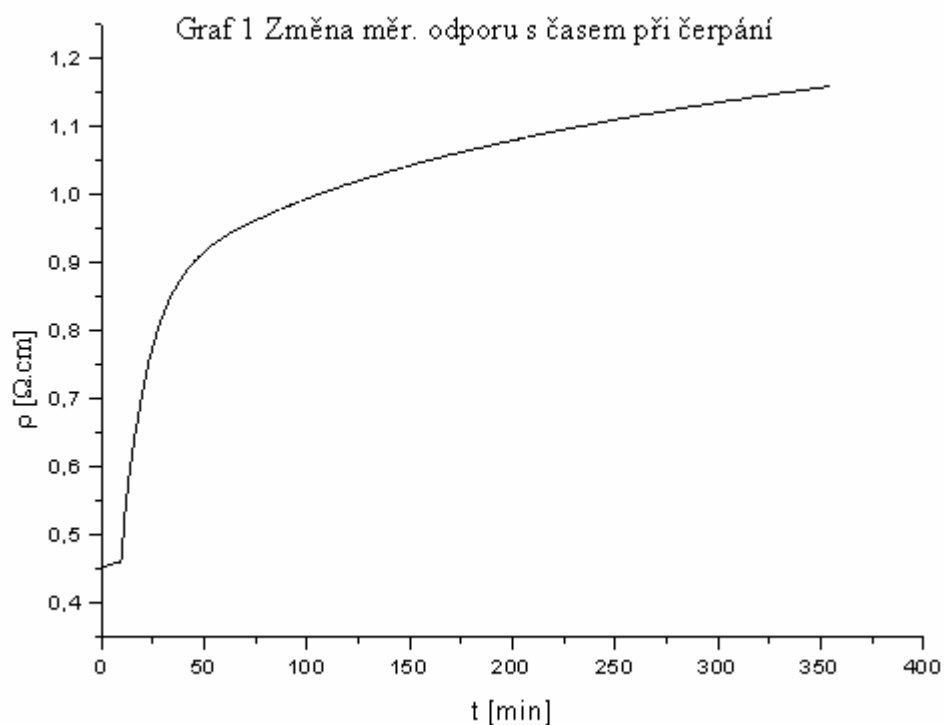
$\rho$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$I$ [mA]
4,42775E-01 $\pm$ 3,01986E-05	1

Z měření je tedy dobře vidět, že poloha kontaktů měření značně ovlivňuje.

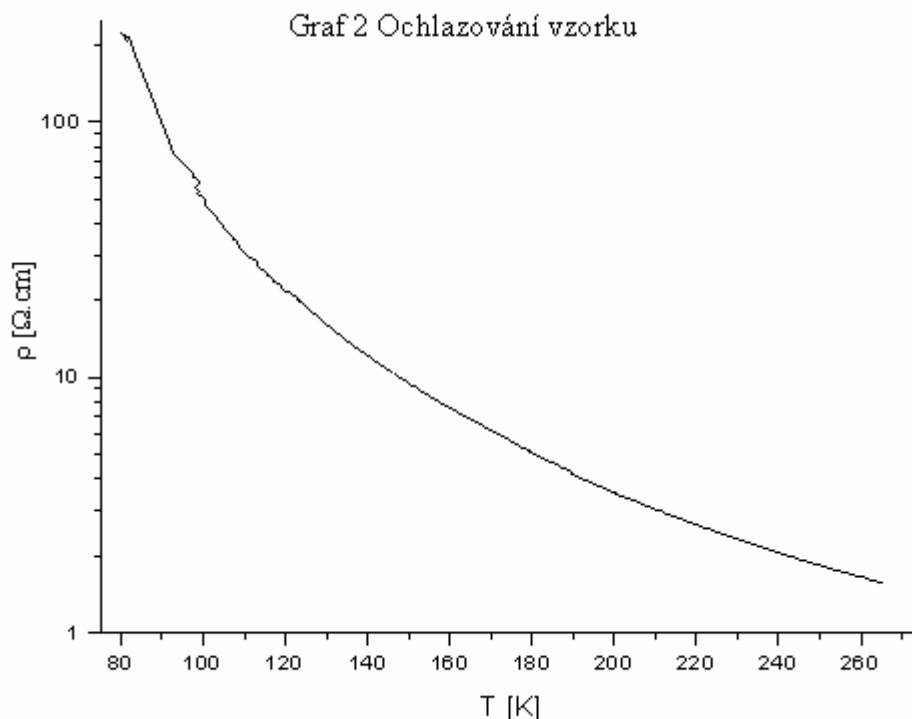
Tabulka 2 Vzorek: 250-S1-2009-10 tloušťka vzorku: 0,1401cm

$\rho$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$I$ [mA]
$4,51349\text{E-}01 \pm 2,98121\text{E-}05$	1
$4,51320\text{E-}01 \pm 4,00479\text{E-}05$	5
$4,51150\text{E-}02 \pm 1,02899\text{E-}04$	10

Důležité je rovněž zkoumat závislost rezistivity na teplotě. Pro toto měření se vzorek umístí do kryostatu, ze kterého je nejprve odčerpáván vzduch. Měření bylo provedeno na vzorku 250-S1-2009-10. V grafu 1 vidíme závislost měrného odporu na čase při čerpání. Měrný odpor lehce roste.



Poté je vzorek ochlazován až na teplotu kapalného dusíku. Grafické zpracování naměřených hodnot lze vidět v grafu 2.



Osa y grafu 2 má logaritmickou škálu. Vidíme, že při ochlazování roste měrný odpor o dva řády. Při oteplování vzorku má křivka závislosti stejný charakter.

## 6 Závěr

Shrnul jsem své poznatky o vodivých polymerech a seznámil čtenáře s technikou měření vodivosti pomocí van der Pauwovy metody. Pomocí této metody jsem měřil měrný odpor několika vzorků za pokojové teploty.

Výsledky ukazují tabulky výše uvedené. Dále byla měřena závislost měrného odporu na teplotě vzorku. Měření probíhalo v kryostatu a grafické zpracování naměřených dat lze vidět v grafech 1 – 2.

## 7 Poděkování

Velmi rád bych poděkoval Katedře makromolekulární fyziky MFF UK, zejména panu RNDr. Janu Prokešovi, CSc. za milou spolupráci a trpělivost, kterou s mou osobou měl.

## Reference

- [1] J. Prokeš a kol., *Vodivé polymery. Inteligentní materiály pro nové století*. Vesmír 80 (2001) 35-8.
- [2] S. Roth, *One-Dimensional Metals: Physics and Materials Science*. VCH Publishers, Weinheim, New York (1995)