

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**  
**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Analýza vlastností elektroizolačního materiálu na bázi  
sklo-slída-epoxid modifikovaného pomocí netkaných  
nanovláken**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin NEŠKODNÝ**  
Osobní číslo: **E14N0067P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektroenergetika**  
Název tématu: **Analýza vlastností elektroizolačního materiálu na bázi sklo-  
slída-epoxid modifikovaného pomocí netkaných nanovláken**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Na základě rešerše popište základní aspekty výroby a použití tkaných a netkaných vláknenných struktur v různých oborech lidské činnosti.
2. Na základě rešerše (i patentové) popište aktuální stav v oblasti aplikace netkaných nanovláken v elektroizolační technice.
3. Na dodaných vzorcích změřte vnitřní rezistivitu dle normy ČSN IEC 93.
4. Proveďte základní statistickou analýzu naměřených dat a na základě dostupné literatury interpretejte získané výsledky.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

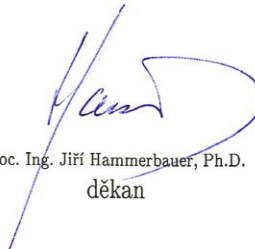
Seznam odborné literatury:

1. BURGER, Christian, Benjamin S. HSIAO, Benjamin CHU: Nanofibrous materials and their applications, Annual Review of Materials Research, 2006, vol. 36, no. 1, p. 333-368, DOI: 10.1146/annurev.matsci.36.011205.123537
2. HSIEH, F. : Nanofiber reinforced epoxy composite, Ohio, 2006, Master thesis, Russ College of Engineering and Technology at Ohio University
3. Elektronické informační zdroje (databáze SCIENCE DIRECT, Scopus, Interscience-Wiley apod.)


Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Radek Polanský, Ph.D.  
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 16. května 2016

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



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je analyzovat vlastnosti elektroizolačního materiálu na bázi sklo-slída-epoxid modifikovaného pomocí netkaných nanovláken. V řešení bylo použito metody měření vnitřní rezistivity, která je popsána v normě ČSN IEC 93. V práci je porovnám klasický elektroizolační materiál s modifikovaným elektroizolačním materiálem. Hlavním výsledkem je vliv modifikace elektroizolačního materiálu na velikost vnitřní rezistivity.

## **Klíčová slova**

Nanovlákná, Aplikace nanovláken, Elektrostatické zvlákňování, Vnitřní rezistivita

## **Abstract**

The aim of this thesis is to analyze the properties of electrical insulating materials based on mica glass-epoxy-modified using nonwoven nanofibers. The solution was used method of measuring the resistivity, which is described in the standard IEC 93. The paper will compare classical electrical insulating materials with modified electrical insulating material. The main result is the effect of modification of electrical insulating material on the size of the volume resistivity.

## **Key words**

Nanofibers, Applications nanofibers, Elektrospinning, Volume resistivity

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou 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 diplomové práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 11.5.2016

Martin Neškodný

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl, poděkovat vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Radku Polanskému Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení diplomové práce. Chtěl bych také poděkovat Ing. Jiřímu Chvojkovi Ph.D. za poskytnuté odborné články z oboru netkaných nanovláken. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mě podporovala ve studiu na vysoké škole.

## OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>11</b>
<b>1 NANOVLÁKNA</b> .....	<b>12</b>
1.1 DEFINICE NANOVLÁKEN .....	12
1.2 VÝROBA NANOVLÁKEN .....	12
1.3 VÝROBA NETKANÝCH NANOVLÁKEN .....	13
1.3.1 Elektrostatické zvlákňování nanovláken (Elektrospinning) .....	13
1.3.2 Paralelní desková geometrie .....	14
1.3.3 Nanospider .....	15
1.4 VÝROBA JEDNOTLIVÝCH NANOVLÁKEN .....	15
1.4.1 Elektrostatické zvlákňování s rotačním válcovým kolektorem .....	16
1.4.2 Elektrostatické zvlákňování s pomocným elektrickým polem .....	16
1.4.3 Elektrostatické zvlákňování s diskovým kolektorem .....	17
<b>2 APLIKACE NANOVLÁKEN</b> .....	<b>18</b>
2.1 OBECNÉ APLIKACE NANOVLÁKEN .....	18
2.1.1 Textilní aplikace .....	18
2.1.2 Filtry .....	19
2.1.3 Lékařské aplikace .....	19
2.1.4 Materiálové aplikace .....	20
2.1.5 Akustické aplikace .....	20
2.2 APLIKACE NANOVLÁKEN V ELEKTROTECHNICE A ENERGETICE .....	21
2.2.1 Lithiové baterie .....	21
2.2.2 Chemický snímač .....	21
2.2.3 Elektrody pro kondenzátory .....	22
2.2.4 Solární články .....	22
2.2.5 Palivové články .....	22
2.2.6 Skladování vodíku .....	22
2.2.7 Mechanické energetické články .....	22
2.3 NEVÝHODY NANOVLÁKEN .....	23



<b>3</b>	<b>MĚŘENÍ VNITŘNÍ REZITIVITY DLE ČSN IEC 93 .....</b>	<b>24</b>
3.1	DEFINICE VNITŘNÍ REZISTIVITY .....	24
3.2	VÝZNAM VNITŘNÍ REZISTIVITY .....	24
3.3	ZDROJE NAPĚTÍ .....	25
3.4	ZKUŠEBNÍ TĚLESA .....	25
3.5	MATERIÁLY ELEKTROD .....	25
3.5.1	<i>Vodivý stříbrný nátěr</i> .....	25
3.5.2	<i>Kov nanesený nastříkáním</i> .....	25
3.5.3	<i>Napařený nebo naprášený kov</i> .....	26
3.5.4	<i>Kapalné elektrody</i> .....	26
3.5.5	<i>Koloidní grafit</i> .....	26
3.5.6	<i>Vodivá guma</i> .....	26
3.5.7	<i>Kovová folie</i> .....	26
3.6	POSTUP ZKOUŠKY .....	26
3.7	USPOŘADÁNÍ ELEKTROD A VÝPOČET VNITŘNÍ REZISTIVITY .....	27
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>30</b>
4.1	VZORKY .....	30
4.2	VÝROBA VZORKŮ .....	31
4.3	MĚŘENÍ VZORKŮ .....	31
4.4	NAMĚŘENÉ HODNOTY VNITŘNÍ REZISTIVITY .....	33
4.5	STATISTICKÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ VNITŘNÍ REZISTIVITY .....	34
4.6	GRAFICKÉ POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ VNITŘNÍ REZISTIVITY .....	39
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>41</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>43</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>45</b>

## ÚVOD

Tématem diplomové práce je analýza vlastností elektroizolačních materiálů na bázi sklo-slída-epoxid, modifikovaného pomocí netkaných nanovláken. V následujících kapitolách vám bude vysvětlena výroba tkaných a netkaných vlákenných struktur. Dále se dozvíte o použití nanovlákných struktur v různých oborech lidské činnosti (lékařství, stavebnictví, elektrotechnika atd.), zejména zaměřené na aplikace v elektroizolační technice. Elektroizolační technika je velmi specifický obor bádání, u kterého je možné, že nebyly nanovlákné struktury nijak aplikačně zkoumány nebo aplikovány.

Hlavním tématem této diplomové práce je měření vnitřní rezistivity elektroizolačního materiálu s modifikacemi netkaných nanovláken. Měření vnitřní rezistivity je popsána v normě ČSN IEC 93, která je v zjednodušené formě vysvětlena v samostatné kapitole. Modifikace elektroizolačního materiálu je změna počtu vrstev a plošné hmotnosti netkaného nanovlákná.

Hlavním cílem diplomové práce je porovnat vliv jednotlivých modifikací na změnu velikosti vnitřní rezistivity v elektroizolačním materiálu. Dále porovnání vnitřní rezistivity elektroizolačního materiálu s modifikací a bez modifikace.

## Seznam symbolů a zkratk

**d<sub>1</sub>** ... rozměr chráněné (měrné) elektrody

**d<sub>2</sub>** ... rozměr vnitřních bodů ochranné elektrody

**d<sub>3</sub>** ... rozměr krajních bodů ochranné elektrody

**d<sub>4</sub>** ... rozměr ochranné elektrody

**g** ... rozměr mezery mezi chráněnou a ochrannou elektrodou

**h** ... tloušťka měřeného vzorku

**R<sub>x</sub>** ... Vnitřní odpor [ $\Omega$ ]

**A** ... Efektivní plocha chráněné elektrody [ $m^2$ ]

**h** ... Průměrná hloubka zkoušeného tělesa [m]

$\pi$  ... Ludolfovo číslo ( $\pi = 3,14159$ )

**d<sub>1</sub>** ... velikost chráněné (měrné) elektrody [m]

**g** ... velikost mezi chráněnou (měrnou) elektrodou a ochranou elektrodou [m]

**k** ... konstanta respektující uspořádání elektrod

**U** ... Přiložené napětí [V]

Značení vzorků je ve formátu x\_y\_z-t:

**x** ... plošná hmotnost [ $g \cdot m^{-2}$ ]

**y** ... počet vrstev [-]

**z** ... číslo desky [-]

**t** ... číslo vzorku [-]

**d** ... průměrná tloušťka [mm; cm]

**m** ... pořadí při měření tloušťky materiálu (1 – 5) [-]

**P** ... plošná hmotnost [ $g \cdot m^{-2}$ ]

**V** ... počet vrstev [-]

$\sigma$  ... směrodatná odchylka [přebírá jednotku]

**v** ... variační koeficient [-; %]

**I<sub>30</sub>** ... proud odečtený ve 30 minutě měření [A]

**$\rho_{v30}$**  ... Vnitřní rezistivita [ $\Omega \cdot cm$ ;  $\Omega \cdot m$ ]

# 1 NANOVLÁKNA

## 1.1 Definice nanovláken

Nanovlákná jsou ultra jemná vlákna z polymerního roztoku nebo polymerní taveniny, jejichž průměr se pohybuje v sub-mikronovém rozsahu, tedy v rozsahu do 1000 nm. Materiály pro výrobu nanovláken jsou syntetické polymery např. polyamidy a přírodní polymery např. celulóza. Obvyklé průměry nanovláken se pohybují mezi 100 až 1000 nm. Nanovlákná se používají v biomedicínských aplikacích (kožní štěpy), průmyslových aplikacích (vzduchové filtry), textilních aplikacích (mikro-bakteriální vlákna) a elektrotechnických aplikacích (solární články). Nanovláknenné vrstvy vynikají speciálními vlastnostmi jako např.: [1,2]

- velký specifický měrný povrch,
- vysoká porozita,
- dobrá prodyšnost,
- aditivace nanovláken,
- nízká hustota,
- výborné mechanické vlastnosti,
- flexibilita,
- schopnost přizpůsobit rozměr vlákna.

## 1.2 Výroba nanovláken

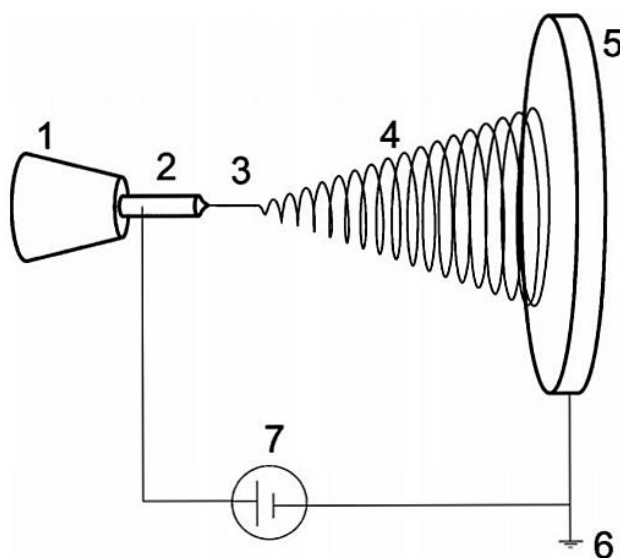
Nejčastější způsob výroby nanovláken je elektrostatické zvlákňování (elektrospinning). Elektrostatické zvlákňování je výroba ultra jemných vláken z polymerní taveniny nebo roztoku pomocí elektrostatických sil. Ve většině případů se používají polymery ve formě roztoku, protože vyšší viskozita polymerních tavenin nedovoluje výrobu jemných vláken. Tato metoda se hodí pro výrobu nanovláken ze syntetických i přírodních polymerů. [1,2,3]

## 1.3 Výroba netkaných nanovláken

### 1.3.1 Elektrostatické zvlákňování nanovláken (Elektrospinning)

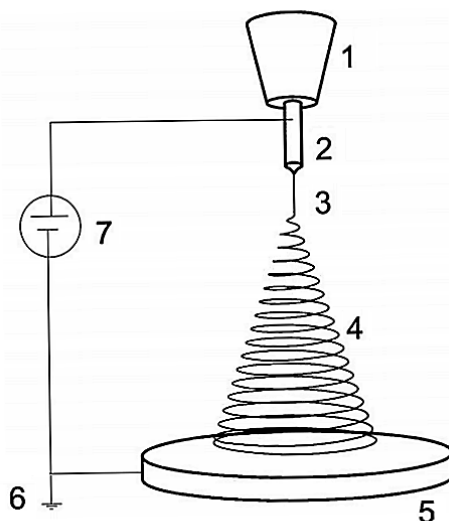
V procesu elektrostatického zvlákňování (*Obr. 1.1*) je použito vysoké napětí k vytvoření elektricky nabitého proudu polymerního roztoku nebo taveniny. Elektroda vysokého napětí je spojena přímo s polymerním roztokem. Polymerní roztok je následně zvlákněn kapilárou (zvlákňovací tryskou). Díky vysokému napětí mezi špičkou kapiláry a uzemněným kolektorem vniká tzv. Taylorův kužel, z kterého jsou produkována vlákna. Taylorův kužel je následkem relaxace indukovaného náboje k volnému povrchu kapaliny ve výstupu z kapiláry. Následuje vytlačení nabité kapaliny na kolektor. Vlákna po dopadu na kolektor ztuhnou po odpaření rozpouštědla a dojde k vytvoření vláknité vrstvy (netkané textilie). [1]

Vzdálenost mezi kapilárou a kolektorem se pohybuje mezi 15 – 30 cm. Elektrostatické zvlákňování se může provádět při pokojové teplotě, pokud tedy není vyžadováno tepelné udržování polymeru v kapalném stavu. Konečné vlastnosti nanovláknů jsou závislé na typu polymeru a provozních podmínkách. [2]



*Obr. 1.1 - Schéma principu elektrostatického zvlákňování – horizontální kapilára: (1) stříkačka a dávkovací čerpadlo, (2) kapilára, (3) Taylorův kužel, (4) proud polymerního roztoku, (5) deska kolektoru, (6) uzemnění, (7) zdroj vysokého napětí. [3]*

Úpravou elektrostatického zvlákňování je přemístění kapiláry z horizontální polohy (Obr. 1.1) do vertikální polohy (Obr. 1.2), kde se změní i poloha desky kolektoru z vertikální polohy do horizontální polohy. Kapilára je umístěna svisle a pod ní je umístěn kolektor, na který odkapává polymerní kapalina z kapiláry vlivem gravitace. Někdy bývá horizontální kapilára nakloněna do definovaného uhlu pro zlepšení kontroly toku. [1]



Obr. 1.2 - Schéma principu elektrostatického zvlákňování – vertikální kapilára: (1) stříkačka a dávkovací čerpadlo, (2) kapilára, (3) Taylorův kužel, (4) proud polymerního roztoku, (5) deska kolektoru, (6) uzemnění, (7) zdroj vysokého napětí. [1]

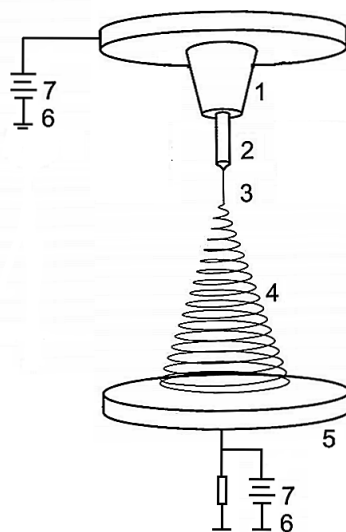
Elektrostatické zvlákňování má následující výhody:

- změna průměru vlákna,
- univerzální morfologie vlákna,
- nanovlákná mohou být připravena ze široké škály polymerních materiálů,
- míra konstrukce (2D, 3D),
- rozsáhlý produkční potenciál.

### 1.3.2 Paralelní desková geometrie

Paralelní desková geometrie (Obr. 1.3) je navržena tak, aby pracovala v homogenním elektrickém poli, které je vygenerováno mezi dvěma hliníkovými deskami. Hliníkové desky tvoří geometrii kondenzátoru s paralelními silovými čarami. Polymerní kapalina je podávána při stálé objemové rychlosti toku ke kapiláře z nerezové oceli a dolní deska tvoří kolektor. Spodní deska je navíc izolovaná od země a elektrický proud polymerního proudu

je měřen jako pokles elektrického napětí přes rezistor 10 k $\Omega$  zapojenému do série mezi spodní deskou a zemí z důvodu regulace elektrického pole, aby bylo homogenní. [1]



Obr. 1.3 - Schéma principu elektrostatického zvlákňování – paralelní desková geometrie: (1) stříkačka a dávkovací čerpadlo, (2) kapilára, (3) Taylorův kužel, (4) proud polymerního roztoku, (5) deska kolektoru, (6) uzemnění, (7) zdroj vysokého napětí. [1]

### 1.3.3 Nanospider

Tento způsob výroby nanovláken byl vyvinut na Technické univerzitě v Liberci, textilní fakultě, katedře netkaných textilií. Princip nanospideru spočívá na poznatku, že Taylorovy kužely je možné vytvářet i na tenké vrstvě polymerního roztoku. Metoda nevyužívá k formování vláken žádné trysky a kapiláry. Produktivita metody je podstatně vyšší než předchozí metody. Jak bylo řečeno, vlákna jsou formována pomocí elektrostatického pole z tenké vrstvy polymerního roztoku a jsou sebrána z kolektoru ve formě netkané textilie, jejíž tloušťka textilie se pohybuje v rozmezí 100 - 300 nm a plošná hmotnost je v rozmezí 0,1 - 5 g·m<sup>-2</sup>. [1]

## 1.4 Výroba jednotlivých nanovláken

V předchozí kapitole byla vysvětlena výroba netkaných nanovláken pomocí elektrostatického zvlákňování (Elektrospinning), které slouží k výrobě plošné nanotextilie. Ale tyto plošné nanotextilie mají omezené množství použití, a proto se vědci snaží upravit výrobu tak, aby šlo vyrobit jednotlivé vlákno, z kterého by se vyráběla tkaná nanotextilie. Technologickou úpravou elektrostatického zvlákňování lze dosáhnout výrobu jednotlivých nanovláken nebo jednoosých svazků těchto vláken. Tyto technologické úpravy budou

vysvětleny v následujících podkapitolách.

#### 1.4.1 Elektrostatické zvlákňování s rotačním válcovým kolektorem

Modifikací klasického elektrostatického zvlákňování je nahrazení deskového kolektoru rotačním kolektorem, který vytvoří jednotlivá nanovlákna.

Při vysokých otáčkách za minutu, mohou být elektrostaticky zvlákňovaná nanovlákna, která jsou orientovaná vedením po obvodu kolektoru. Rotační kolektor (*Obr. 1.4*) ve tvaru válce slouží k napínání a zachycování polymerního vlákna na svém povrchu, který se pohybuje stejnou rychlostí. Obvodová rychlost válce musí odpovídat rychlosti ukládání odpařovaného proudu polymeru. Jinak by došlo k přetržení vlákna nebo plošnému usazování tkaniny. [1]

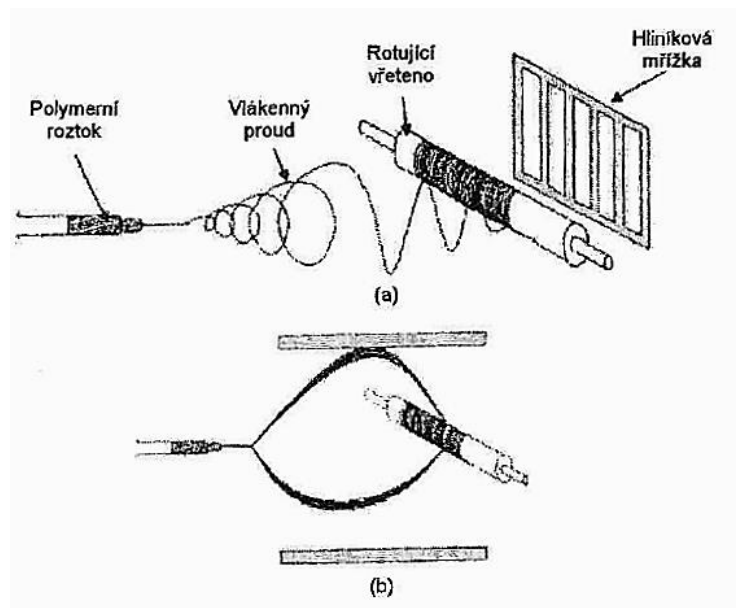


*Obr. 1.4 - Rotačního kolektoru pro elektrostatické zvlákňování. [3]*

#### 1.4.2 Elektrostatické zvlákňování s pomocným elektrickým polem

Další modifikací elektrostatického zvlákňování pro výrobu jednotlivých nanovláken je pomocí přídavného elektrického pole (*Obr. 1.5*). Polymerní proud je obvodově orientován pomocí elektrického pole, které je tvořeno elektricky nabitou mřížkou (*Obr. 1.5a*) nebo elektricky nabitými deskami (*Obr. 1.5b*). Při této modifikaci pomocí přídavného elektrického pole dochází k zlepšení zarovnání vláken než u válcového kolektoru, ale jedná se pouze o laboratorně odzkoušenou modifikaci. [1]

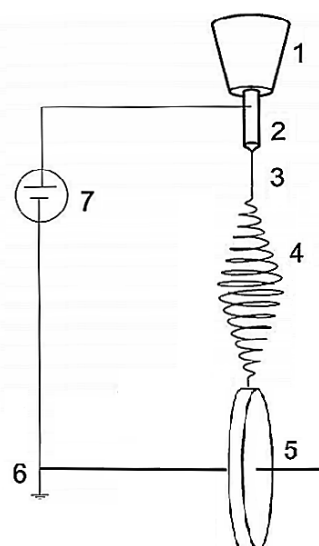




Obr. 1.5 - Elektrostatické zvlákňování s pomocným elektrickým polem: (a) pole tvořené elektricky nabitou mřížkou, (b) pole tvořené elektricky nabitými deskami. [1]

### 1.4.3 Elektrostatické zvlákňování s diskovým kolektorem

Tato modifikace elektrostatické zvlákňování je podobná s válcovým rotačním kolektorem. Rotující diskový kolektor (Obr. 1.6) slouží jako vřeteno. Otáčením vřetena se zvlákňované nanovlákně navíjí na okraj vřetena. Zúžený okraj v podstatě soustředí elektrické pole tak, že nanovlákně jsou téměř všechna přitahována a jsou spojitě navinuta na okraj rotujícího diskového kolektoru. [1]



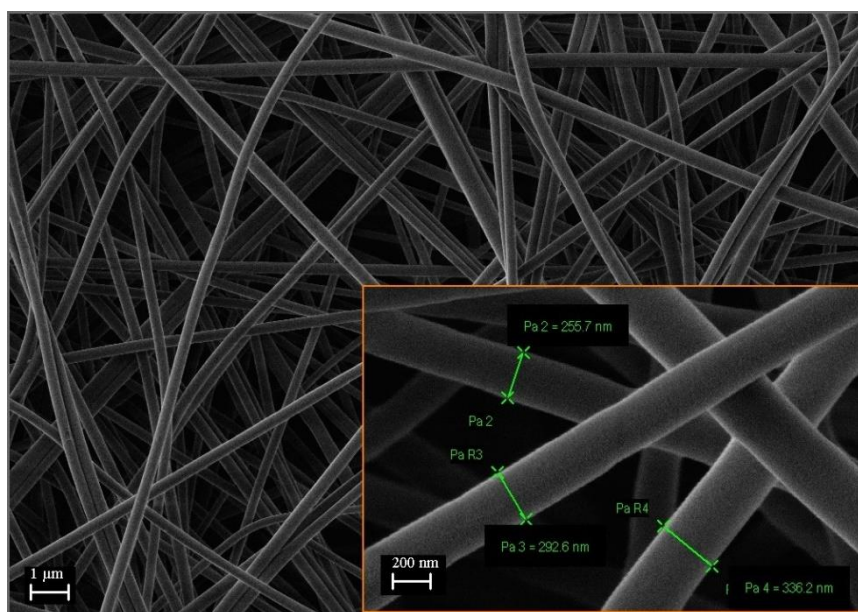
Obr. 1.6 - Schéma principu elektrostatického zvlákňování – rotující diskový kolektor: (1) stříkačka a dávkovací čerpadlo, (2) kapilára, (3) Taylorův kužel, (4) proud polymerního roztoku, (5) diskový kolektor, (6) uzemnění, (7) zdroj vysokého napětí. [1]

## 2 APLIKACE NANOVLÁKEN

Aplikace elektrostatické zvlákňování zasahují do různých odvětví a to hned ze tří důvodů:

1. nanotextura dovoluje interaci s jinými materiály,
2. vyrobené vlákno je vysoce orientované a jeho molekulární struktura má velmi nízký počet vad. Z toho vyplývá, že se blíží teoretické maximální pevnosti,
3. vyrobená vlákna mají vysoký poměr mezi povrchovou plochou a objemem.

Kombinace těchto aspektů vede k jejich použití v různých aplikacích. Nanovlákná (*Obr. 1.1*) jsou nejvíce používaná jako filtry, membrány a kompozity. Aplikace nanovláken má potenciál ve všech odvětvích průmyslu např. strojírenství, energetika, medicína nebo v kosmonautice. [1,4]



Obr. 2.1 – Struktura nanovláknenné vrstvy [5]

### 2.1 Obecné aplikace nanovláken

#### 2.1.1 Textilní aplikace

Netkané nanovláknenné textilie mohou být použity k modifikaci vlastností konvekční textilie, které jsou určeny pro oděvy, nábytek a technické aplikace. Netkaná nanovlákná se nanášejí na povrch klasické textilie. Tím se zvýší ochrana proti větru, kterou přes svoji velmi tenkou vrstvu dokážou zvýšit odpor vzduchu na povrchu textilie. A dalším

vylepšením může být ochrana proti nízkým teplotám nebo bakteriím. [4]

Příklady použití nevláknenných textilií:

- samočisticí textilie,
- prodyšné textilie,
- balistická ochrana,
- protichemické obleky.

### **2.1.2 Filtry**

Největší výhodou filtrace pomocí nanovláken je minimální pokles filtrační propustnosti. Nanovláknata jsou účinnější a efektivnější než jiné vláknité materiály používané pro filtraci, protože jejich povrchová plocha je podstatně větší než klasické vláknenné textilie. Další výhodou je, že nanovláknenné materiály mají menší mikropóry než klasické vláknenné textilie. Pro filtry se nejčastěji používají vláknenné materiály z důvodu účinnosti filtrace a nízkého odporu vzduchu. Účinnost filtrace je závislá na jemnosti vlákna. Nanovláknata mají vysokou filtrační schopnost a mohou odfiltrovat velmi malé částice např. bakterie. [1,3,6]

Příklady použití nanovláknenných filtrů:

- automobilový průmysl,
- cementárny,
- vápenky,
- hutní průmysl,
- průmyslové halové filtry,
- chemický průmysl.

### **2.1.3 Lékařské aplikace**

Nanovláknata jsou také používána v lékařských aplikacích. Tyto aplikace se dělí do dvou hlavních skupin. První skupina jsou zdravotnický spotřební materiál např. obvazy. Do druhé skupiny aplikací patří tkáňové inženýrství např. podložky pro růst tkání a protetika. Nanovláknenné textilie mají podobnou strukturu jako mezibuněčná hmota lidské tkáně a proto jsou vhodné k biomedikálním aplikacím. [1,2,5,6]

Pro použití v biomedicínských aplikacích musí nanovláknata splňovat určité požadavky, mezi které patří:

- biokompatibilita a biodegradabilita,
- netoxičnost,
- přizpůsobivost,

- sterilita.

Příklady použití lékařských aplikací:

- protetika (kosti, krevní cévy),
- obvazoviny,
- systémy cíleného doručení léčiv,
- antiadhezní membrány,
- ochranné roušky,
- respirátory.

#### **2.1.4 Materiálové aplikace**

Původní zamyšlené použití procesu elektrostatického zvlákňování byla pro výrobu textilních nanovláken. Ale elektrostaticky zvlákněné vlákno se dá použít jako chemicky aktivní nosič pro výrobu funkčního textilu. [5]

Jedním z hlavních potenciálů elektrooptického zvlákňování je při výrobě nanokompozitů, která poskytnou vyšší strukturální vlastnosti, jako jsou vysoké měrné moduly a měrnou pevností vztaženou ke hmotnosti. Pro dosažení lepšího zpevnění je důležité pracovat s uspořádanými vlákny. [1,2,5]

#### **2.1.5 Akustické aplikace**

Důležitou vlastností nanovláknenných materiálů je jejich vysoká absorpce zvuku, zejména v nízkofrekvenčním rozsahu zvukových vln, u kterých ostatní materiály selhávají, nebo jsou málo účinné. Unikátní vlastnosti nanovláken v oblasti akustiky jsou dány specifickým povrchem nanovláken. [1,6]

Nanovláknenný materiál má schopnost pohlcovat zvuk nízkých frekvencí a současně neztrácí schopnost pohlcovat zvuk vyšších frekvencí. Nanovláknenná vrstva plní funkci membrány, která rezonuje na nízké frekvenci, protože je to dáno nanorozměry mezivláknenných prostorů. Dopadne-li na membránu zvukové vlnění, uvede ji do nucených kmitů, jejíž amplituda je maximální při rezonanci. Útlum rezonující membrány je taková, aby se co největší nashromážděná zvuková energie v rezonátoru přeměnila na teplo. Jednotlivé rezonanční vrstvy jsou sdruženy do jednoho rezonančního systému. [1]

Nejčastější aplikace:

- automobilový průmysl,
- letecký průmysl,
- strojní průmysl,
- stavebnictví (koncertní sály, přednáškové sály, divadla, kina, učebny, stadiony, průmyslové haly atd.).

## **2.2 Aplikace nanovláken v elektrotechnice a energetice**

Využívání elektrostaticky zvlákněných materiálů v elektrotechnickém a energetickém průmyslu je v rostoucí oblasti zájmu. Nanovláknenné materiály jsou v energetice a elektrotechnice experimentálně zkoumány pro výrobu a skladování elektrické energie, protože mají určité výhody, které nemají jiné dosud používané protějšky. V následujících podkapitolách se dozvíte, kam dospěla využití netkaných nanovláken. [5]

### **2.2.1 Lithiové baterie**

Elektrostaticky zvlákněné membrány s poly ( vinylidem flurid-co-hexafluorpropelen) navázané na vícevrstvé uhlíkové kompozitní nanotrubičky, které se připravují v lithné soli z roztoku elektrolytu. A takto vyrobená membrána je potenciálně vhodná pro svoji elektrochemickou a mezifázovou stabilitu jako elektrolyt v lithium-iontové baterii. [8]

Další použití elektrostaticky zvlákněných vláken je výroba ohebných baterii. Tuto aplikaci popisuje patent Adam S. Best, Ferntree Gully a kolektiv z Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO). [9]

### **2.2.2 Chemický snímač**

Chemický snímač slouží k snímání chemických látek. Chemický senzor obsahuje množství nanovláken, jejíž elektrická impedance se mění za působení chemických látek. Měřicí systém je nakonfigurovaný pro měření elektrické impedance z vláken. Analyzátor z měřicího systému identifikuje chemickou látku. [10]

### **2.2.3 Elektrody pro kondenzátory**

Elektrody kondenzátoru jsou vyrobeny z netkaných nanovláken. Netkaná nanovlákná pro elektrody jsou vyrobeny z elektricky vodivého polymeru, který je zvlákněn pomocí elektrostatického zvláknování (elektrospinning). Kondenzátor s elektrodami ve formě netkaných nanovláken má větší kapacitu, protože má větší specifický povrch než konvekční elektrody kondenzátorů. [11]

### **2.2.4 Solární články**

Solární články využívají přeměnu solární energie na elektrickou energii. Solární článek je vytvořen pomocí nanovlákněné textilie dotované oxidem titaničitým  $\text{TiO}_2$  s gelovým elektrolytem vloženy mezi dvě vodivé skleněné desky. Účinnost takto vyrobeného solárního článku dosáhla 5,5%. [11]

### **2.2.5 Palivové články**

Palivové články jsou elektrochemická zařízení schopné přeměnit vodík nebo palivo bohaté na vodík na elektrický proud pomocí kovového katalyzátoru. Membrány pro palivový článek jsou vyrobeny z netkaného nanovlákná. Nanovlákná je dotované příměsí platiny, aby mohlo dojít k elektrochemické reakci. Katalyzátor takto vyrobený dosáhl experimentálně hodnoty 420 mA/mg oproti hodnotě 180 mA/mg u konvenčních katalyzátorů. [11]

### **2.2.6 Skladování vodíku**

Vodík je ideální alternativní zdroj energie, který dokáže nahradit konvekční paliva. Hlavní nevýhodou vodíku je jeho skladování. Vodík se musí skladovat za vysokého tlaku a při kryogenních teplotách, a proto nelze vodík plně využít. Výzkum se zaměřil na lepší skladování vodíku. Materiály na bázi uhlíku jsou schopny ukládat vodík. Tato vlastnost lze vylepšit pomocí netkaných uhlíkatých nanovláken, protože mají velký specifický povrch a velký objem pórů, který dokáže efektivně skladovat vodík. [11]

### **2.2.7 Mechanické energetické články**

Piezoelektrický materiál může přímo konvertovat mechanickou energii na elektrickou energii. Těm to článkům se říká nanogenerátory, které jsou vyrobeny z vyrovnaných anorganických nanovláken. Netkaná nanotextilie dotovaná o piezoelektrický materiál, který je uložen mezi vodivými elektrodami. Výroba elektrické energie se provádí pomocí opakované deformace článku. [11]

## **2.3 Nevýhody nanovláken**

Výroba nanovláken je poměrně drahá s porovnáním konvenčními vlákny z důvodu nízké výrobní rychlosti a vysokým nákladům na technologii. Dalším problémem jsou škodlivé páry vznikající při zvlákňování nanovláken, které musejí být odstraněny speciálním zařízením. Jemnost vláken i škodlivé páry vyvolávají otázky nad ohrožením zdraví v důsledku vdechnutí těchto látek. Všechny výše uvedené problémy můžeme shrnout do těchto bodů:

- Ekonomika výroby
- Zdravotní rizika
- Manipulace s nanovláknem

Vzhledem k výtečným vlastnostem nanovláken existuje trvalá snaha o dosažení rovnováhy mezi výhodami a náklady na výrobu. [2]

### **3 MĚŘENÍ VNITŘNÍ REZITIVITY DLE ČSN IEC 93**

V předchozích dvou kapitolách jsem vysvětlil výrobu a použití nanovláken, ale v této části vám bude vysvětlen pojem vnitřní rezistivita. Netkané nanovlákná jsou vyrobeny z umělých a přírodních polymerů a tyto polymery mají elektroizolační vlastnosti a dobré mechanické vlastnosti. Proč tedy nevyužít tyto vlastnosti pro výrobu elektroizolačního materiálu. A tím se zabývá tato diplomová práce, jak netkaná nanovlákná ovlivní vnitřní rezistivitu elektroizolačního materiálu na bázi sklo-slída-epoxid. Samotný význam a postup měření vnitřní rezistivity je popsán normou ČSN IEC 93, která se touto problematikou zabývá. Důležité body z normy vám budou vysvětleny v následujících podkapitolách.

#### **3.1 Definice vnitřní rezistivity**

Poměr intenzity stejnosměrného elektrického pole a hustoty ustáleného proudu uvnitř elektroizolačního materiálu. V praxi se bere jako vnitřní odpor redukovaný na objemovou jednotku. Jednotka vnitřní rezistivity je  $\Omega \cdot m$ , ale v praxi je používanější  $\Omega \cdot cm$ . [12]

#### **3.2 Význam vnitřní rezistivity**

Vnitřní rezistivitu lze využít při výběru elektroizolačního materiálu. Změna vnitřní rezistivity v závislosti od teploty a vlhkosti může být velká a musí být známá při návrhu na provozní podmínky. Další využití měření vnitřní rezistivity je k hodnocení rovnocennosti elektroizolačních materiálů, anebo aby se detekovaly vodivé příměsi ovlivňující kvalitu materiálu, která nemusí být dobře měřitelná jinými prostředky. [12]

Při připojení stejnosměrného napětí na elektrody, které se dotýkají zkušební tělesa, proud tekoucí přes zkušební těleso asymptoticky klesá k ustálené hodnotě. Ustálená hodnota se pohybuje okolo piko-ampérů. Pokles proudu v závislosti na čase může být způsobený dielektrickou polarizací. Vnitřní rezistivita u materiálů nižší než  $10^{10} \Omega \cdot m$ , ustálený stav se dosáhne do jedné minuty a odpor se určí v tomto čase. Pro materiály s vyšší vnitřní rezistivitou může proud klesat po více minut, ale může klesat i několik týdnů. Proto se u těchto materiálů se používají delší časy. Ustálený stav se považuje po uplynutí 100 minut. [12]



### **3.3 Zdroje napětí**

Potřebný je zdroj velmi stabilního napětí (baterie, stabilizovaný usměrňovač). Požaduje se takový stupeň stability, aby změna proudu způsobená změnou napětí byla proti proudu zanedbatelná. [12]

Specifikované měřicí napětí, které se připojuje na zkušební tělesa, jsou: 100; 250; 500; 1 000; 2 500; 5 000; 10 000 a 15 000 V. Nejčastěji používaná napětí jsou 100; 500 a 1 000 V. [12,13]

### **3.4 Zkušební tělesa**

Zkušební těleso pro stanovení vnitřní rezistivity může mít jakýkoliv vhodný tvar umožňující použití třetí elektrody jako ochrany proti chybě od povrchového efektu. Zkušební tělesa, která mají zanedbatelný povrchový svod při měření vnitřní rezistivity možno zanedbat, ale pokud při zanedbání nebude mít vliv na výsledek. [10]

Mezera na povrchu zkušební tělesa mezi chráněnou a ochranou elektrodou má mít rovnoměrnou šířku a má být co nejužší za předpokladu, že povrchový svod nezpůsobí chybu v měření. Prakticky nejužší mezera je 1 mm. [12]

### **3.5 Materiály elektrod**

Elektrody pro elektroizolační materiály mají být z materiálu, který se pohotově aplikuje, umožní dobrý kontakt s povrchem zkoušeného tělesa a nevnáší chybu v důsledku odporu elektrod anebo kontaminací měřených elektroizolačních materiálů. Materiál elektrod má být odolný proti korozi. Elektrody mají mít vhodný tvar a rozměry. [12]

#### **3.5.1 Vodivý stříbrný nátěr**

Určité typy vysokovodivých stříbrných nátěrů (schnoucích na vzduchu nebo vypalovaných při nízkých teplotách), dovolují difuzi vlhkosti přes ně a tím umožňují stabilizovat zkušební těleso i po nanesení elektrod. To je zvláště vítaná vlastnost při měření vlivu vlhkosti a teploty na odpor. Vodivý stříbrný nátěr se nanáší pomocí štětce nebo nastříkáním. Doporučuje si předkreslit obrysy nebo použít příložené šablony. [12]

#### **3.5.2 Kov nanesený nastříkáním**

Nastříkaný kov se dá použít k dosažení uspokojivé adheze na měřené těleso. Tenké nastříkané elektrody mají výhodu, jsou ihned připravené po nanesení. Bývají dostatečně pórovité, takže se dá těleso stabilizovat. Pro vytvoření mezery mezi chráněnou a ochranou

elektrodou je vhodné použít příložené šablony. [12]

### 3.5.3 Napařený nebo naprášený kov

Naprášný nebo napařený kov se používá za stejných podmínek jako v případě kovu naneseného nastříkáním. Ale za předpokladu, že materiál není ovlivnitelný bombardováním ionty nebo vystavení vakuu. [12]

### 3.5.4 Kapalné elektrody

Vodivá kapalina, která tvoří horní elektrodu, může být vymezená např. prstence z nerezové oceli. Každý z nich má mít spodní okraj skosený do ostré hrany z venkovní strany od kapaliny. [12]

### 3.5.5 Koloidní grafit

Koloidní grafit dispergovaný ve vodě nebo v jiném v hodném mediu. Použití podobné za podobných podmínek jako vodivý stříbrný nátěr. [12]

### 3.5.6 Vodivá guma

Předností vodivé gumy je lehké, rychlé přiložení a odstranění ze zkušební tělesa. Vodivá guma má být dostatečně měkká, aby se dosáhl účinný styk se zkušebním tělesem při použití vhodného tlaku. [12]

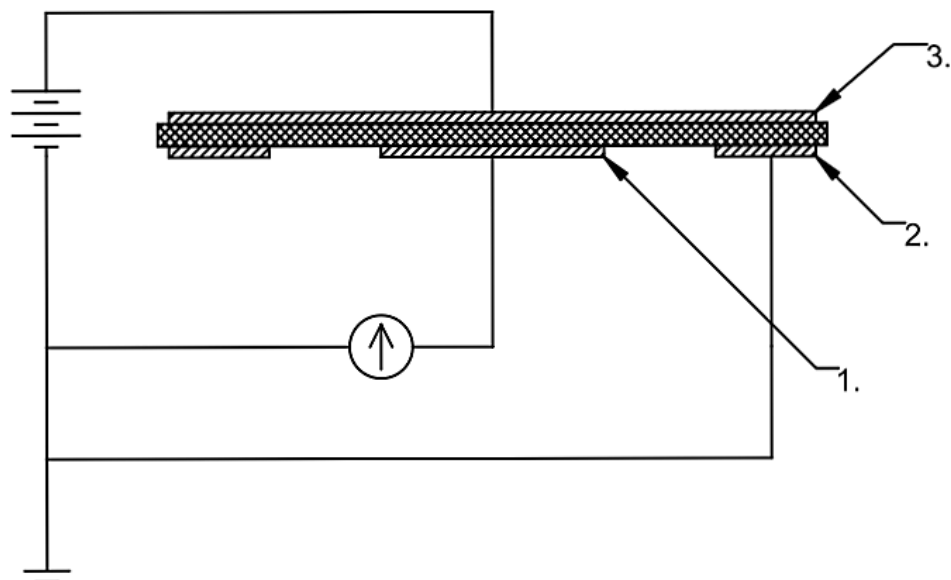
### 3.5.7 Kovová folie

Při měření vnitřního odporu se používají olovněné, hliníkové a cínové folie, které se přilepují na zkušební těleso pomocí minimální vazelíny, silikonové vazelíny, oleje nebo jiným vhodným vodivým materiálem. [12]

## 3.6 Postup zkoušky

Na určení vnitřní rezistivity se určí průměrná hloubka na zkušebních tělesech podle příslušné normy, přičemž místa měření jsou rovnoměrně rozložená na povrchu. Před měřením má být zkušební těleso uvedeno do dielektricky stabilního stavu. Proto je třeba zkratovat měřící elektrody číslo 1 a 3 podle obrázku (*Obr. 3.1*) a pozorovat měnící se proud nakrátko. Pokračuje se do té doby, než zkratový proud dosáhne zhruba konstantní hodnoty, malou v porovnání s očekávanou ustálenou hodnotou proudu po 100 min. elektrifikace. [12,13]

Potom se připojí specifikované stejnosměrné napětí kapitola 3.3 a současně se zapnou stopky. Pokud není určeno jinak, je třeba vykonat měření po každém z těchto stanovených časů elektrifikace: 1 min; 2 min; 10 min; 50 min; 100 min. Pokud se dvě následující hodnoty měření rovnají, zkoušku je možno ukončit a takto získanou hodnotu proudu použijeme na výpočet vnitřního odporu podle Ohmova zákona. Pokud se hodnota neustálí ani do 100 min, tak vnitřní rezistivita se udává jako funkce času elektrifikace. [12,13]



Obr. 3.1 - Základní zapojení pro měření vnitřní rezistivity: (1) chráněná elektroda, (2) Ochranná elektroda, (3) nechráněná (napěťová) elektroda

### 3.7 Uspořádání elektrod a výpočet vnitřní rezistivity

Uspořádání elektrodového systému má vliv na velikost vnitřní rezistivity. Vnitřní rezistivita se vypočte pomocí vzorce 3.1 kde parametr A je efektivní plocha elektrody. Pro různé uspořádání elektrod se mění vzorec pro výpočet efektivní plochy. Používané elektrodové systémy pro měření vnitřní rezistivity jsou: [12,13]

- kruhové elektrody (Obr. 3.2),
- pravoúhlé elektrody,
- čtvercové elektrody,
- trubkové elektrody.

Pro měření vnitřní rezistivity byly použity kruhové elektrody od firmy KEITHLEY. Efektivní plocha  $A$  pro kruhové elektrody se vypočte podle vzorce (3.2). Výpočet kruhové elektrody nebyl počítán, protože výrobce elektrodového systému přiložil konstantu  $k$ , která by měla reprezentovat efektivní plochu  $A$ . Konstanta efektivní plochy je rovna hodnotě 22,9. Pokud chceme spočítat efektivní plochu  $A$  musíme znát geometrii elektrodového systému (*obr. 3.2*). Tyto rozměry jsou popsány následujícím označením:

$d_1$  ... rozměr chráněné (měrné) elektrody

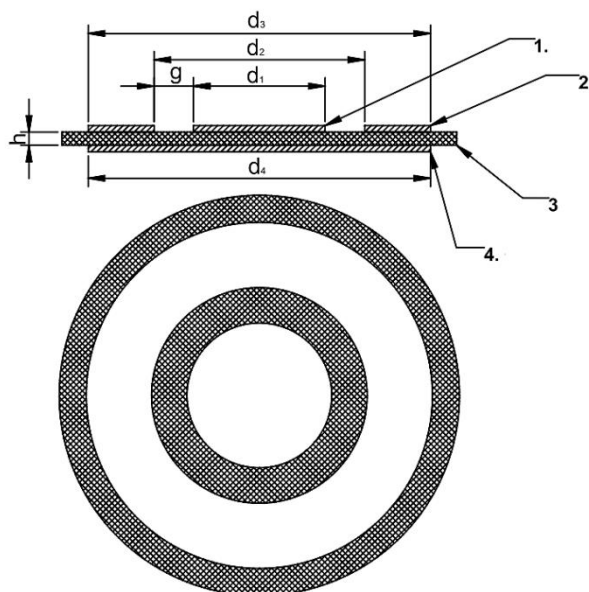
$d_2$  ... rozměr vnitřních bodů ochranné elektrody

$d_3$  ... rozměr krajních bodů ochranné elektrody

$d_4$  ... rozměr ochranné elektrody

$g$  ... rozměr mezery mezi chráněnou a ochrannou elektrodou

$h$  ... tloušťka měřeného vzorku



*Obr. 3.2 - Příklad uspořádání kruhových elektrod: (1) chráněná (měrná) elektroda, (2) ochranná elektroda, (3) měřený vzorek, (4) ochranná elektroda*

Vnitřní rezistivita  $\rho$  se vypočítá podle vzorce: [12,13]

$$\rho = R_x \cdot \frac{A}{h} [\Omega \cdot m] \quad (3.1)$$

$\rho$  ... Vnitřní rezistivita [ $\Omega \cdot m$ ]

$R_x$  ... Vnitřní odpor podle podkapitoly 3.6 [ $\Omega$ ]

$A$  ... Efektivní plocha chráněné elektrody (vzorec 3.2) [ $m^2$ ]

$h$  ... Průměrná hloubka zkoušeného tělesa [m]

Vzorec pro výpočet efektivní plochy  $A$  (kruhové elektrody): [12,13]

$$A = \frac{\pi(d_1+g)^2}{4} [m^2] \quad (3.2)$$

$\pi$  ... Ludolfovo číslo ( $\Pi = 3,14159$ )

$d_1$  ... velikost chráněné (měrné) elektrody [m]

$g$  ... velikost mezi chráněnou (měrnou) elektrodou a ochranou elektrodou [m]

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato kapitola se zabývá samotným experimentálním měřením vnitřní rezistivity elektroizolačního materiálu sklo-slída-epoxid, který je modifikován pomocí netkaných nanovláken. Jsou to tyto modifikace:

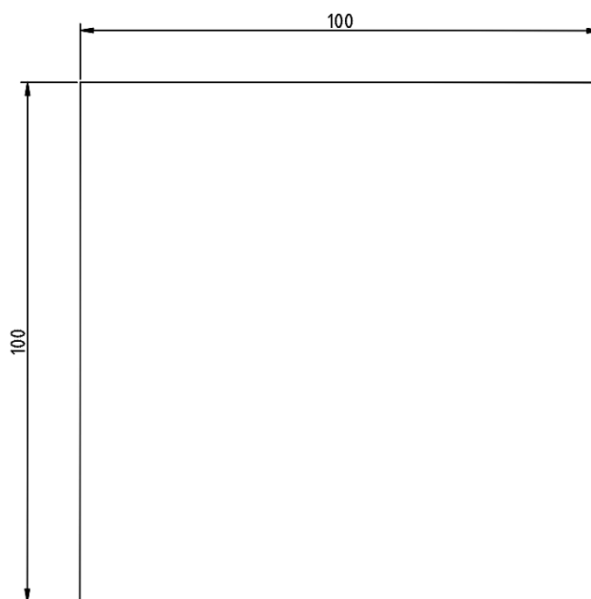
1. změna počtu vrstev netkaných nanovláken,
2. změna plošné hmotnosti netkaných nanovláken.

Tyto dvě modifikace jsou mezi sebou zkombinovány tak, aby se proměřily všechny možné kombinace a jejich možný dopad na změnu vnitřní rezistivity v měřeném elektroizolačním materiálu. V následujících podkapitolách bude tato otázka zodpovězena, jaký mají dopad tyto modifikace na změnu velikosti vnitřní rezistivity.

### 4.1 Vzorky

Destičky elektroizolačního materiálu *obr. 4.1* na bázi sklo-slída-epoxid modifikovaného pomocí netkaných nanovláken. Elektroizolační destička má rozměry 100x100 mm a má tloušťku 0,5 mm.

Vzorky jsou modifikovány pomocí počtu vrstev a plošné hmotnosti netkaných nanovláken, každá modifikace obsahuje 12 vzorků. Měřené vzorky obsahují 1 až 3 vrstvy netkaných nanovláken a plošnou hmotností 1, 3 a 5 g/m<sup>2</sup>. Tyto vzorky jsou porovnány pomocí referenční elektroizolační destičky, která obsahuje 16 vzorků.



*Obr. 4.1 - Geometrie destičky elektroizolačního materiálu 100x100 mm, tloušťka 0,5mm*

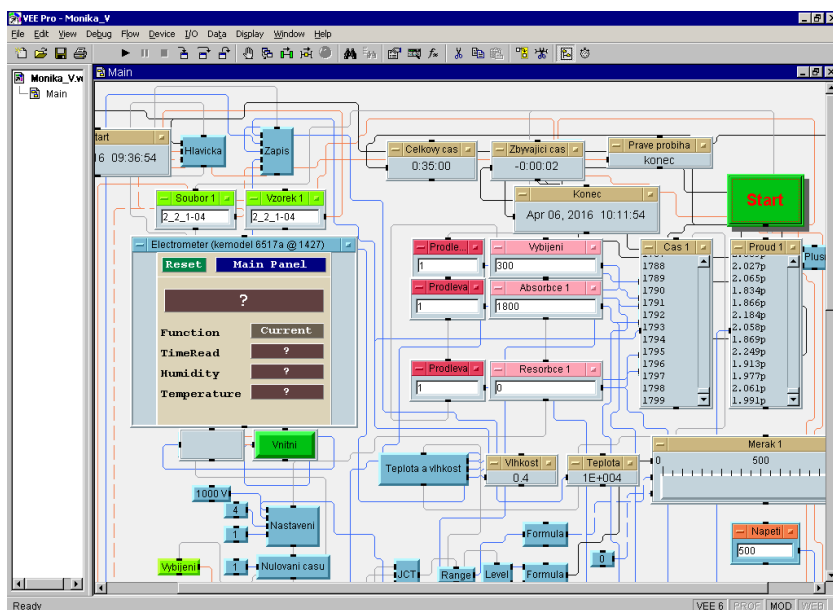
## 4.2 Výroba vzorků

Deska elektroizolačního materiálu na bázi sklo-slída-epoxid se skládá ze skleněné textilie jako nosného prvku, rekonstruované slídy a epoxidu jako pojiva. Všechny tyto komponenty jsou již od výrobce spojeny v jeden celek, tzv. prepreg.

Takto se vyrábí klasické elektroizolační desky, které se běžně používají. Ale měřená deska je modifikovaná o netkanou nanotextilii. Složení této desky je skleněná textilie, netkaná nanotextilie, rekonstruovaná slída a epoxid. Výroba desky je stejná jako předchozím bodě.

## 4.3 Měření vzorků

Samotné měření elektroizolačního materiálu na bázi sklo-slída-epoxid modifikovaného pomocí netkaných nanovláken bylo měřeno dle normy ČSN IEC 93 při napětí 500V. Vzorky před měřením byly uloženy ve zkratových knížkách po dobu 24 hodin před samotným měřením, aby nebyl na nich žádný elektrostatický náboj, který by ovlivňoval samotné měření vnitřní rezistivity. Pro měření vnitřní rezistivity byl připojen automaticky ladící pikoampérmetr, který je propojen s elektroodovým systémem od firmy KEITHLEY. Elektroodový systém je propojen s počítačem, na kterém je zapnut měřicí program VEE Pro. VEE Pro slouží k automatizování a nastavení průběhu zkoušky a zároveň pro uložení naměřených dat do paměti počítače. Přesný postup zkoušky pro měření vnitřní rezistivity je vysvětlen v kapitole 3.6.



Obr. 4.1 - Měřicí program VEE Pro

Pokud se hodnota neustálí ani do 100 min, tak se vnitřní rezistivita udává jako funkce času elektrifikace. Vlastnosti materiálu jsou takové, že hodnota proudu se neustálila ani po 100 min, a proto v rámci velkého množství vzorků a úspory času, byla tato hodnota snížena na 30 min, kde odečítáme hodnotu proudu ve 30 min. měření. Tuto hodnotu proudu dosazujeme do vzorce pro výpočet vnitřní rezistivity, který je platný pro použitý elektroodový systém KEITHLEY 8009 RESISTIVITY TEST FIXTURE (Obr. 4.1):

$$\rho_{30} = \frac{k \cdot U}{d \cdot I_{30}} \quad [\Omega \cdot \text{cm}; \Omega \cdot \text{m}] \quad (4.1)$$

$\rho_{30}$  ... Vnitřní rezistivita ve 30 min [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ;  $\Omega \cdot \text{m}$ ]

$k$  ... Respektování uspořádání elektrod ( $k = 22,9$ )

$U$  ... Přiložené napětí (500V) [V]

$d$  ... Tloušťka vzorku [cm, m]

$I_{30}$  ... Změřený proud ve 30 min [A]



Obr. 4.2 - Měřicí elektroodový systém KEITHLEY



#### 4.4 Naměřené hodnoty vnitřní rezistivity

V této kapitole jsou uvedeny konečné průměrné hodnoty vnitřní rezistivity, které byly vypočteny. Dílčí výsledky měření vnitřní rezistivity jsou součástí příloh. V přílohách naleznete změřené tloušťky vzorků, průběh absorpčních charakteristik a proud z 30 min. měření, z kterého bylo vypočtena vnitřní rezistivita vzorků podle vzorce (4.1).

Tabulky Tab. 4.1, Tab. 4.2 a Tab. 4.3 jsou seřazeny podle jejich plošné hmotnosti netkaných nanovláken 1, 3 a 5 g/m<sup>2</sup>, které jsou obsaženy ve vzorcích. Další dílčí rozdělení je podle počtu vrstev, které jsou 1 až 3 vrstvy. Řádek tabulky obsahující nulu označuje srovnávací vzorky, které neobsahovaly netkané nanovlákná. Dále v tabulkách naleznete směrodatnou odchylku  $\sigma$ , která udává odchylku od průměrné hodnoty. Další veličina, která se vyskytuje v tabulkách je variační koeficient  $u$ , který je bezrozměrný nebo se udává v procentech. V tabulkách je uveden obou případech. Variační koeficient  $u$  v procentech udává procentní odchylku mezi nemařenými hodnotami.

Tab. 4.1 - Naměřené hodnoty vzorků vnitřní rezistivity

1 g/m <sup>2</sup>	Vrstvy	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	$\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ]	$u$	$u$ [%]
	0	1,83E+15	3,82E+14	2,08E-01	20,8
	1	2,03E+15	1,83E+14	8,99E-02	8,9
	2	1,81E+15	2,51E+14	1,39E-01	13,9
	3	1,48E+15	2,80E+14	1,89E-01	18,9

Tab. 4.2 - Naměřené hodnoty vzorků vnitřní rezistivity

3 g/m <sup>2</sup>	Vrstvy	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	$\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ]	$u$	$u$ [%]
	0	1,83E+15	3,82E+14	2,08E-01	20,8
	1	1,83E+15	2,37E+14	1,29E-01	12,9
	2	1,37E+15	1,42E+14	1,04E-01	10,4
	3	1,52E+15	2,73E+14	1,80E-01	17,9

Tab. 4.3 - Naměřené hodnoty vzorků vnitřní rezistivity

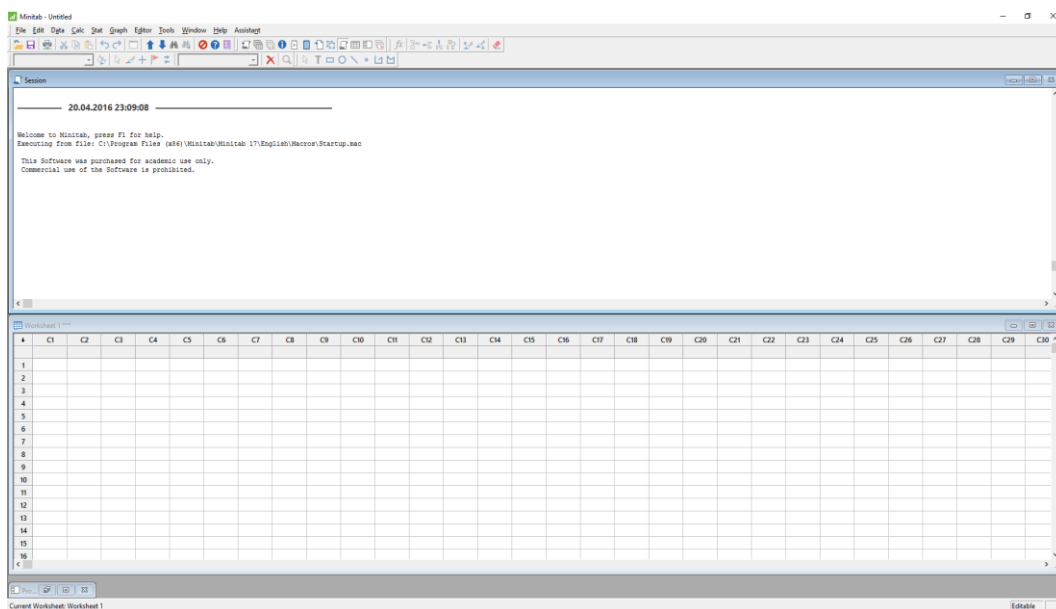
5 g/m <sup>2</sup>	Vrstvy	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	$\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ]	$u$	$u$ [%]
	0	1,83E+15	3,82E+14	2,08E-01	20,8
	1	1,66E+15	2,26E+14	1,36E-01	13,6
	2	1,42E+15	2,05E+14	1,45E-01	14,5
	3	1,15E+15	2,15E+14	1,87E-01	18,7

## 4.5 Statistické zhodnocení výsledků vnitřní rezistivity

V této kapitole pomocí statistického programu je provedená statistika naměřených hodnot. Vyhodnocení experimentálních dat v technické praxi se vyznačují těmito vlastnostmi: [14]

- a. rozsahy zpracovaných dat nejsou obvykle dlouhé,
- b. v datech se vyskytují výrazné nelinearity, neaditivita a vzájemné vazby, které je třeba identifikovat a popsat,
- a. rozdělení dat jen zřídka odpovídá normálnímu běžně předpokládanému ve standardní statistické analýze,
- c. v datech se vyskytují vybočující měření a různé heterogenity,
- d. statistické modely se často tvoří na základě předběžných informací z dat,
- e. parametry statistických modelů mají mnohdy definovaný fyzikální význam, a musí proto vyhovovat velikostí, znaménkem nebo vzájemným poměrem,
- f. existují jistá neurčitost při výběru modelu popisujícího chování dat.

Program, který je použit pro statistické vyhodnocení vnitřní rezistivity se jmenuje Minitab (*Obr. 4.3*). Minitab je víceúčelový statistický program. V této diplomové práci bylo použito vyhodnocení pomocí pravděpodobnostního grafu.



*Obr. 4.3 - Statistický program Minitab*

Pravděpodobnostní grafy jsou alternativou ke kvantilovým grafům. Kvantilový graf umožní posoudit shodu výběrového rozdělení. Pravděpodobnostní graf slouží k porovnání distribuční funkce výběru (vyjádřené přes pořadovou pravděpodobnost) se

standardizovanou distribuční funkcí zvoleného teoretického rozdělení. Standardizována proměnná je zde definována vztahem. [14]

$$S_{(i)} = \frac{x_{(i)} - Q}{R} \quad (4.2)$$

Kde  $Q$  je parametr polohy a  $R$  udává parametr rozptýlení mající význam měřítka. V případě schody výběrového rozdělení se zvoleným teoretickým rozdělením vyjde pravděpodobnostní graf přibližně lineální s jednotkovou směrnici a nulovým úsekem.

Na rozdíl od kvantilových grafů je při konstrukci pravděpodobnostních grafů nezbytné určit odhady parametrů  $Q$  a  $R$ . Obvykle se používá momentových, resp. maximálně věrohodných, odhadů. Porovnání kvantilových a pravděpodobnostních grafů lze zjistit že:

- a. pravděpodobnostní grafy jsou citlivé na odchylky od teoretického rozdělení ve střední části,
- b. kvantilové grafy jsou citlivé na odchylky od teoretického rozdělení v oblasti konců.

Poměrně snadno lze konstruovat pravděpodobnostní grafy pro normální rozdělení. Na osu  $x$  se vynášejí hodnoty  $P_i = i/(n+1)$  a na osu  $y$  hodnoty  $\Phi$ , kde  $\Phi$  je distribuční funkce. [14]

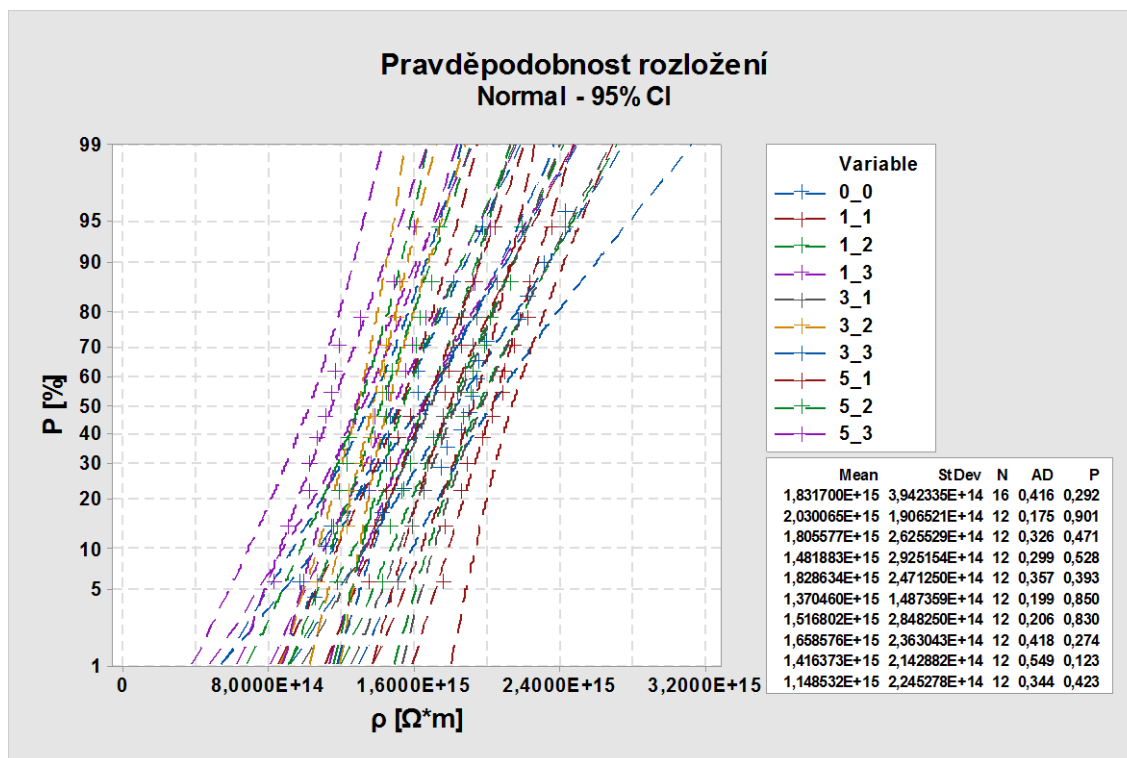
Minitab počítá distribuční funkci (CDF) a související intervaly spolehlivosti založené na parametrech odhadnutých z naměřených dat. Odhady parametrů nebo historické parametry jsou zobrazovány ve výstupní tabulce spolu s Anderson-Darling (AD) statistikou a s tím spojené pravděpodobnostní hodnota (P-hodnota) ( $P$ ) a počet pozorování ( $N$ ).

Anderson-Darling statistika měří, jak dobře jsou údaje následované konkrétní distribucí. Po určitou sadu dat a distribuce, čím lepší rozložení odpovídá datům, tím menší tato hodnota bude. Například, můžete použitím statistiky Anderson-Darling zjistit, zda data splňují předpoklad normality. Použijte odpovídající  $p$ -value (je-li k dispozici) k otestování, zda přijdou data ze zvolené distribuce. Je-li pravděpodobnostní hodnota (P-hodnota) nižší než zvolené alfa (obvykle 0,05 nebo 0,10), pak odmítne nulovou hypotézu, že údaje pocházejí z této distribuce.

Pravděpodobnostní hodnota (P-hodnota) se vypočítá z pozorovaného vzorku, a představuje pravděpodobnost nesprávně zamítnutí nulové hypotézy. Jinými slovy pravděpodobnostní hodnota (P-hodnota) je pravděpodobnost získání rozdílu alespoň tak velkého, jako mezi hodnotou pozorovaného vzorku a předpokládanou hodnotou proti náhodné chybě samotné. Pravděpodobnostní hodnota (P-hodnota) pohybuje se v rozmezí 0

až 1.

Graf 4.1 zobrazuje pravděpodobnostní grafy naměřených hodnot vnitřní rezistivity. Na ose x je pravděpodobnost v procentech a na ose y je velikost vnitřní rezistivity. V tabulce u grafu je zobrazena střední hodnota vnitřní rezistivity. Dále směrodatná odchylka a N je počet vzorků. AD je Anderson-Darling statistika a P je pravděpodobnostní hodnota (P-hodnota).

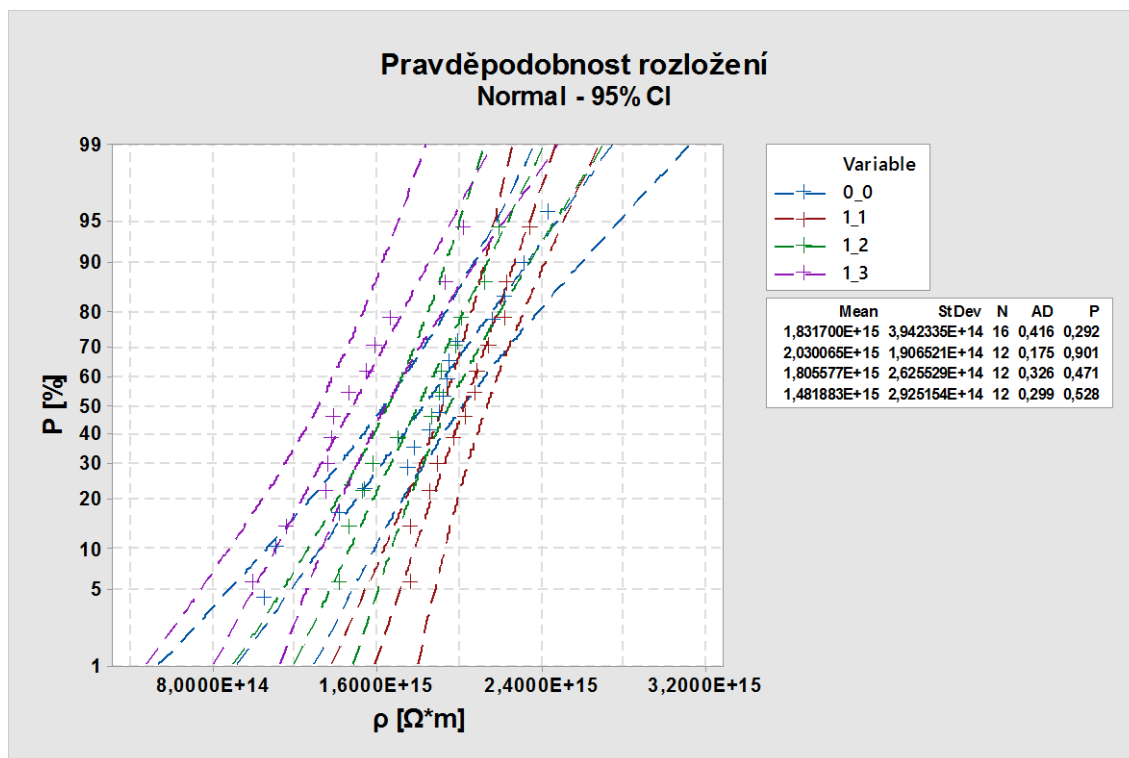


Graf 4.1 – Pravděpodobnost rozložení naměřených hodnot vnitřní rezistivity

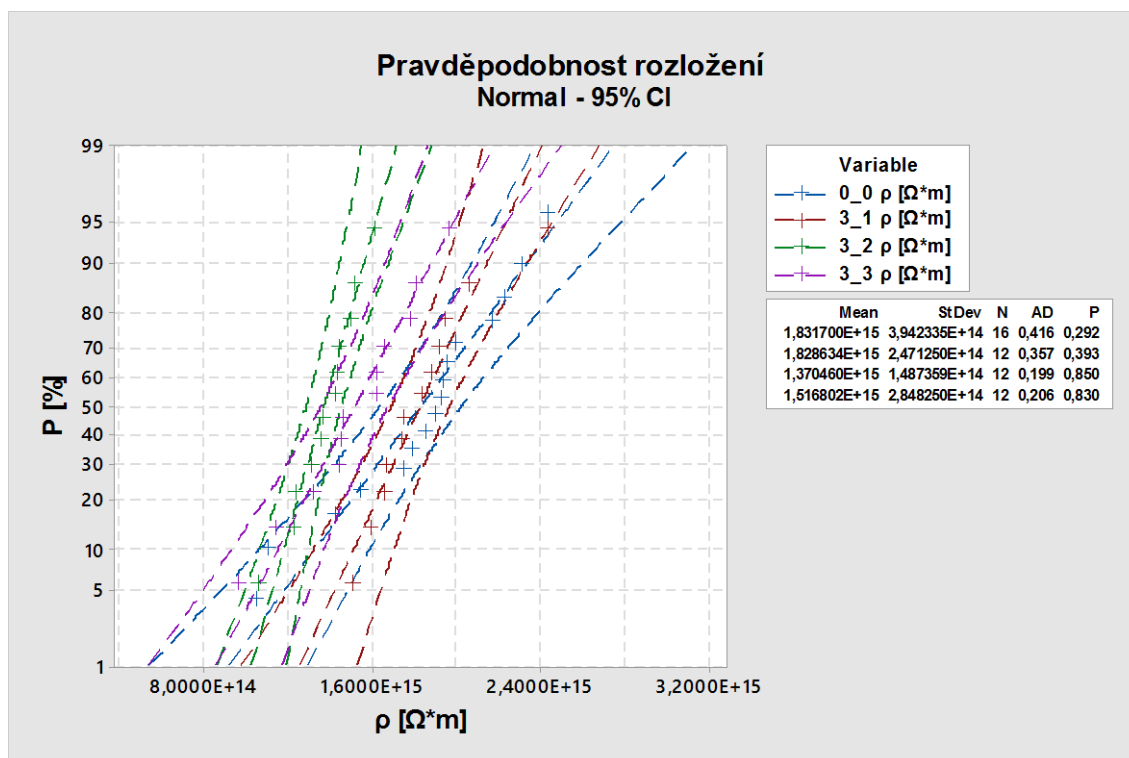
Pro lepší přehlednost statistického zobrazení jsem rozdělil grafy podle modifikací:

1. Pravděpodobnostní rozložení pro modifikace 1\_1, 1\_2, 1\_3 jsou v *Graf 4.2*,
2. Pravděpodobnostní rozložení pro modifikace 3\_1, 3\_2, 3\_3 jsou v *Graf 4.3*,
3. Pravděpodobnostní rozložení pro modifikace 5\_1, 5\_2, 5\_3 jsou v *Graf 4.4*.

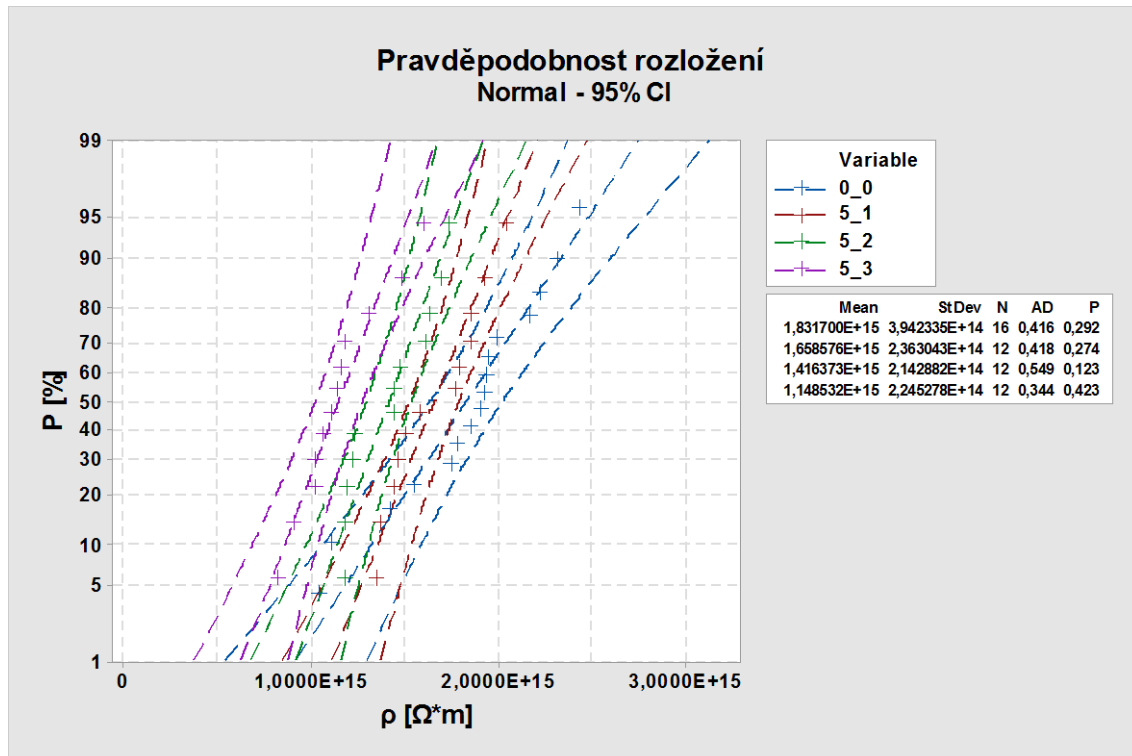
Strmost grafu je ovlivněna velikostí pravděpodobnostní hodnoty (P-hodnota), pokud Pravděpodobnostní hodnota se blíží k jedné tak strmost rozložení je na úzkém pásmu, ale pokud se hodnota pravděpodobnostní hodnota blíží k mezní hodnotě 0,05 tak pravděpodobnostní rozložení nemá takovou strmost.



Graf 4.2 – Pravděpodobnost rozložení naměřených hodnot vnitřní rezistivity 1\_1, 1\_2, 1\_3



Graf 4.3 – Pravděpodobnost rozložení naměřených hodnot vnitřní rezistivity 3\_1, 3\_2, 3\_3



Graf 4.4 – Pravděpodobnost rozložení naměřených hodnot vnitřní rezistivity 5\_1, 5\_2, 5\_3

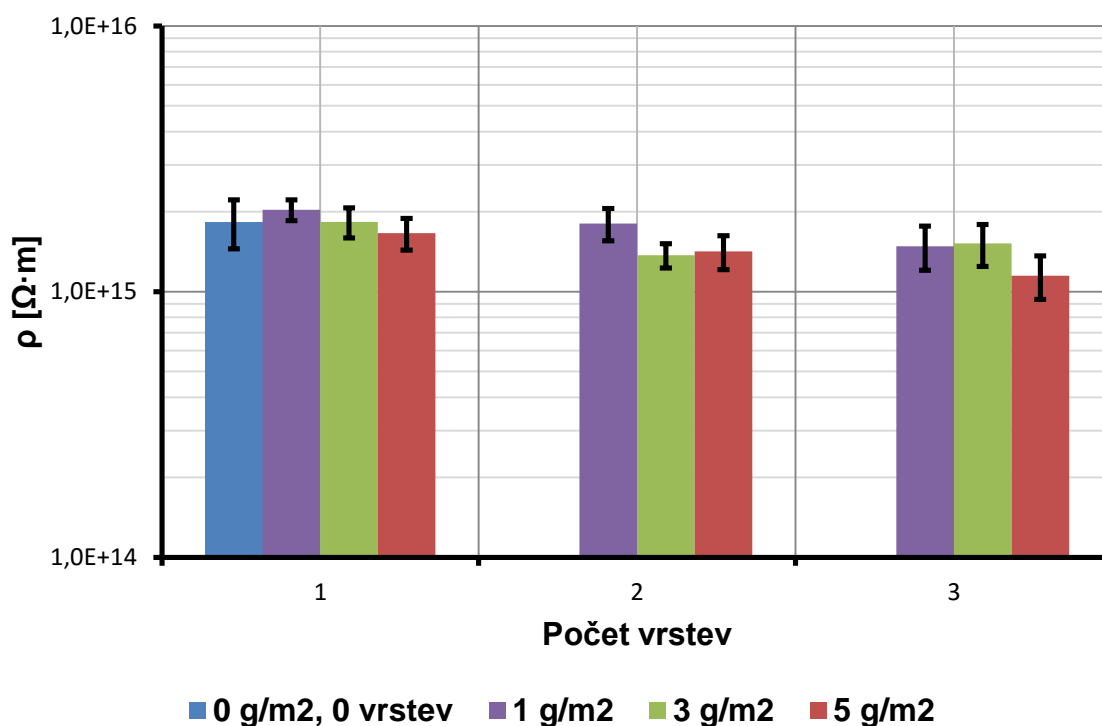
## 4.6 Grafické porovnání naměřených výsledků vnitřní rezistivity

Pro lepší porovnání výsledků jsem tabulky z podkapitoly 4.4 převedl do dvou grafů, které lépe zobrazí rozdíly mezi různými modifikacemi netkaných nanovláken.

1. je závislost vnitřní rezistivity na počtu vrstev netkaných nanovláken *graf 4.5*,
2. je závislost vnitřní rezistivity na plošné hmotnosti netkaných nanovláken *graf 4.6*.

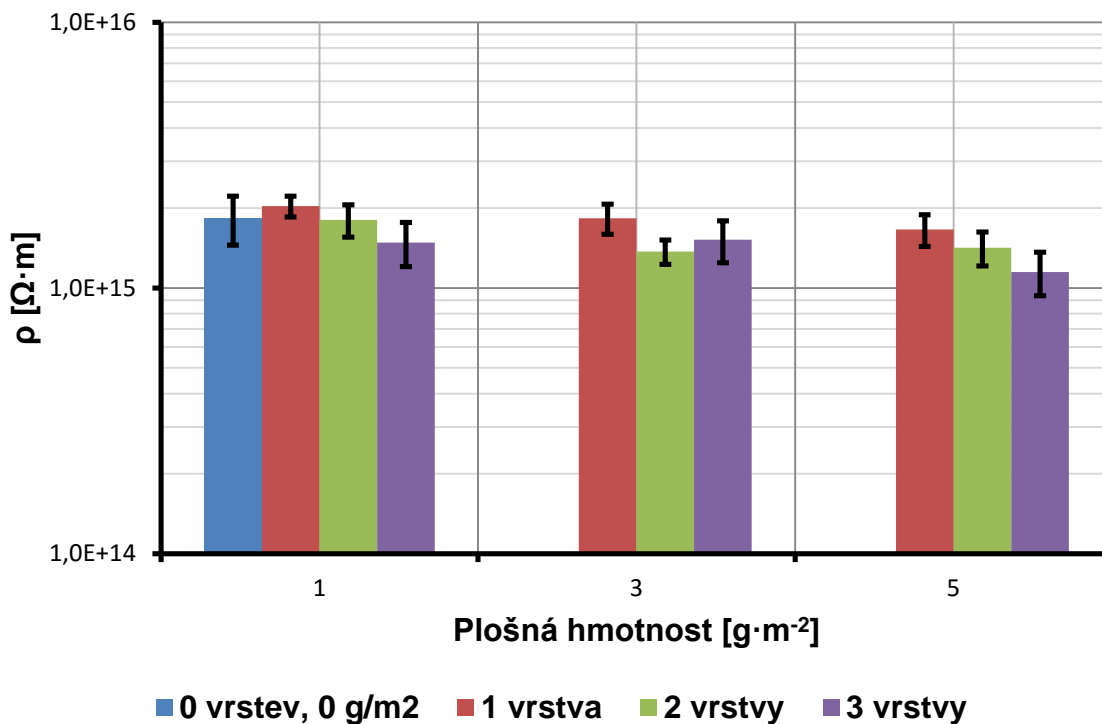
Dále v grafech naleznete směrodatnou odchylku, která udává, jak se mohou pohybovat odchylky hodnot z měření vnitřní rezistivity pro jednotlivé modifikace.

Z grafu závislosti vnitřní rezistivity na počtu vrstev netkaných nanovláken (*Graf 4.5*) vyplývá, že s rostoucím počtem vrstev klesá vnitřní rezistivita. Modrý průběh bez žádné modifikace s porovnáním ostatních průběhů s jejich směrodatnými odchylkami vyplývá, že vnitřní rezistivita dosahuje přibližně stejných hodnot. Jenom reálné hodnoty ukazují, že dochází k jednoznačnému poklesu vnitřní rezistivity. Tedy by se dalo říci, že počet vrstev má negativní dopad na velikost vnitřní rezistivity.



Graf 4.5 - Závislost vnitřní rezistivity na počtu vrstev netkaných nanovláken

Z grafu závislosti vnitřní rezistivity na plošné hmotnosti netkaných nanovláken (Graf 4.6) vyplývá, že s rostoucí plošnou hmotností klesá vnitřní rezistivita. Modrý průběh je opět vzorek bez žádné modifikace. Porovnáním směrodatných odchylek výsledků vyplývá, že hodnoty jsou přibližně stejné, ale porovnáním absolutních hodnot měření dochází k jednoznačnému poklesu hodnoty vnitřní rezistivity. Tedy z měření vyplývá negativní dopad plnění na velikost vnitřní rezistivity.



Graf 4.6 - Závislost vnitřní rezistivity na plošné hmotnosti netkaných nanovláken



## ZÁVĚR

Úkolem diplomové práce bylo analyzovat vlastnosti elektroizolačního materiálu na bázi sklo-slída-epoxid modifikovaného pomocí netkaných nanovláken. Porovnání vlastností bylo pomocí vnitřní rezistivity, který je charakteristickým parametrem elektroizolačních materiálů. Další parametry, které ovlivňují kvalitu elektroizolačního materiálu např. dielektrické ztráty, elektrická pevnost, konduktivita (elektrická vodivost), polarizační ztráty, mechanické a tepelné vlastnosti. Tyto parametry dohromady určují kvalitu elektroizolačního materiálu. Zjednodušeně se dá říci, že čím větší vnitřní rezistivita tím elektroizolační materiál je lepší. Ale takto jednoduše to konstatovat nelze, protože vše ovlivňují parametry, které byly vyjmenovány výše. Další parametr, který ovlivňuje použití elektroizolačního materiálu je jeho cena, která bývá hlavním kritériem.

Změřené hodnoty vnitřní rezistivity jsou porovnány ve dvou grafech, které jsou porovnány s referenční deskou:

1. závislosti vnitřní rezistivity na počtu vrstev netkaných nanovláken (*Graf 4.5*),
2. závislost vnitřní rezistivity na plošné hmotnosti netkaných nanovláken (*Graf 4.6*).

Porovnáním naměřených hodnot ze závislosti na počtu netkaných nanovrstev (*Graf 4.5*) je vidět, že dochází k nepatrnému poklesu vnitřní rezistivity o jeden řád. Dále když porovnáme naměřené hodnoty v závislosti na plošné hmotnosti netkaných nanovrstev (*Graf 4.6*), je též vidět nepatrný pokles vnitřní rezistivity okolo jednoho řádu.

Čím tento pokles vnitřní rezistivity může být způsoben? Vyplývají možné eventuality, které mohly ovlivnit velikost vnitřní rezistivity:

1. vznik vzduchových bublin při výrobě tzv. prepreg mezi vrstvami, které jsou v kontaktu s netkanou nanovláknennou strukturou. Vzduchové bubliny ovlivňují velikost vnitřní rezistivity, protože mají menší velikost,
2. rozložení nanovláknenné struktury není v celém objemu elektroizolačního materiálu stejná,
3. a další možností je samotné materiálové složení samotného tzv. prepreg. Prepreg je složen ze tří hlavních složek, které jsou skleněná textilie, která slouží jako nosný prvek, rekonstruovaná slída, která slouží jako hlavní elektroizolační materiál a netkané nanovlákneno, které je vyrobeno z polyamidu. Porovnáním jejich vnitřní rezistivity, která je u skleněné izolace  $10^{12} \div 10^{18} \Omega \cdot m$  [15], slída má vnitřní rezistivitu  $10^{14} \div 10^{16} \Omega \cdot m$  [13] a polyamid má vnitřní rezistivitu  $10^8 \div 10^{12} \Omega \cdot m$  [16]. Polyamid má ze všech tří nejmenší velikost vnitřní rezistivity. Z toho může vyzníti argument, že dotací

nanovlákných struktur na bázi polyamidu nepatrně zhoršujeme velikost vnitřní rezistivity v elektroizolačním materiálu.

Závěrem bych doporučoval další měření v této problematice a vystopovat možné příčiny poklesu vnitřní rezistivity v elektroizolačním materiálu. Další možností modifikace elektroizolační destičky na bázi sklo-slída-epoxid je plně nahradit skleněnou výztuž netkanými nanovláknými a vytvořit elektroizolační materiál na bázi netkané nanotextilie-slída-epoxid.

## SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- [1] RŮŽIČKOVÁ, Jana. *Elektrostatické zvlákňování nanovláken*. 2. nez. vyd. Liberec: Vysokoškolský podnik, 2006. ISBN 80-7372-066-3.
- [2] HEGDE, R. R., A. DAHIYA a M. G. KAMATH. Nanofibers nonwovens. In: [Http://www.engr.utk.edu/mse/Textiles/Nanofiber%20Nonwovens.htm](http://www.engr.utk.edu/mse/Textiles/Nanofiber%20Nonwovens.htm) [online]. 2005 [cit. 2016-03-10].
- [3] LUKÁŠ, D, A SARKAR, L MARTINOVÁ, et al. Physical principles of electrospinning (Electrospinning as a nano-scale technology of the twenty-first century). In: *Textile Progress*. Londýn: Taylor & Francis, 2009, s. 82. ISSN 0040-5167.
- [4] WENDOEFF, Joachim H., Seema AGARWAL a Andreas GREINER. *Electrospinning*. 1. vyd. Weinheim: WILEY-VCH, 2012. ISBN 978-3-527-32080-6.
- [5] STANGER, J, N TUCKER a M STAIGER. Electrospinning. In: *Rapra Review Report*. Rapra technology, 2005, s. 218. ISSN 0889-3144.
- [6] FÄRBEROVÁ, J. Polymeric Nanofibers, Nanofibrous Layers, Nanofiber Yarns & Nanoparticles. In: [Http://www.nanoscience.com/applications/fibers/fiber-customer-testimonials/nanofiber-research-nonwoven-textiles/](http://www.nanoscience.com/applications/fibers/fiber-customer-testimonials/nanofiber-research-nonwoven-textiles/) [online]. [cit. 2016-03-10].
- [7] LEE, Kwang-Pill, K. M. MANESH, S. PADMANABHAN, K. S. KIM a A. I. GOPALAN. Influence of Finely Dispersed Carbon Nanotubes on the Performance Characteristics of Polymer Electrolytes for Lithium Batteries. In: *IEEE TRANSACTIONS ON NANOTECHNOLOGY*. 2007, s. 6.
- [8] S. BEST, Adam, Graeme A. SNOOK, Anthony A. PANDALFO, Anthony F. HOLLENKAMP, Ilias L. KYRATZIS a Richard J. N. HELMER. *FLEXIBLE ENERGY STORAGE DEVICES*. Přihlášeno 5. 6. 2012.
- [9] LI, Han, Anthony L. ANDRADY a David S. ENSOR. *POLYMER NANOFIBER-BASED ELECTRONIC NOSE*. Přihlášeno 8. 11. 2011.
- [10] TSUKASA, Maruyama, a Kamakura, AYUMU. *ELECTRODE FOR CAPACITOR AND ELECTRIC DOUBLE LAYER CAPACITOR USING THE SAME*. Přihlášeno 16. 2. 2010.
- [11] TONG, Lin a Wang XUNGA. Needleless electrospinning of nanofibers: Technology and Applications. 1. vyd. New York: Taylor & Francis, 2013. ISBN 978-981-4316-84-2.

- [12] *Metódy merania vnútornej resistivity a povrchovej resistivity tuhých elektroizolačných materiálov: ČSN IEC 93. 1993.*
- [13] MENTLÍK, Václav. *Dielektrické prvky a systémy. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-189-6.*
- [14] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Statistická analýza experimentálních dat. 2. vyd. Praha: ACADEMIA, 2004. ISBN 80-200-1254-0.*
- [15] BOUDA, Václav, Josef HAMPL, Jan LIPTÁK a Josef SEDLÁČEK. *Materiály pro elektrotechniku. Praha: ČVUT, 2000.*
- [16] FIALA, Ivo. *Dielektrické vlastnosti termoplastů plněných mletou slídou. Brno, 2008.*

## PŘÍLOHY

<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>45</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>47</b>
<b>SOUHRNÉ HODNOTY MĚŘENÍ VNITŘNÍ REZISTIVITY: 0_0 .....</b>	<b>48</b>
VZORKY 0_0 .....	49
Vzorek 0_0_1 .....	49
Vzorek 0_0_2 .....	50
Vzorek 0_0_3 .....	51
Vzorek 0_0_4 .....	52
<b>SOUHRNNÉ HODNOTY MĚŘENÍ VNITŘNÍ REZISTIVITY: 1_1, 1_2, 1_3 .....</b>	<b>53</b>
VZORKY 1_1 .....	54
Vzorek 1_1_1 .....	54
Vzorek 1_1_2 .....	55
Vzorek 1_1_3 .....	56
VZORKY 1_2 .....	57
Vzorek 1_2_1 .....	57
Vzorek 1_2_2 .....	58
Vzorek 1_2_3 .....	59
VZORKY 1_3 .....	60
Vzorek 1_3_1 .....	60
Vzorek 1_3_2 .....	61
Vzorek 1_3_3 .....	62
<b>SOUHRNNÉ HODNOTY MĚŘENÍ VNITŘNÍ REZISTIVITY: 3_1, 3_2, 3_3 .....</b>	<b>63</b>
VZORKY 3_1 .....	64
Vzorek 3_1_1 .....	64
Vzorek 3_1_2 .....	65
Vzorek 3_1_3 .....	66
VZORKY 3_2 .....	67
Vzorek 3_2_1 .....	67
Vzorek 3_2_2 .....	68

---

Vzorek 3_2_3 .....	69
VZORKY 3_3 .....	70
Vzorek 3_3_1 .....	70
Vzorek 3_3_2 .....	71
Vzorek 3_3_3 .....	72
<b>SOUHRNNÉ VÝSLEDKY MĚŘENÍ VNITŘNÍ REZISTIVITY: 5_1, 5_2, 5_3.....</b>	<b>73</b>
VZORKY 5_1 .....	74
Vzorek 5_1_1 .....	74
Vzorek 5_1_2 .....	75
Vzorek 5_1_3 .....	76
VZORKY 5_2 .....	77
Vzorek 5_2_1 .....	77
Vzorek 5_2_2 .....	78
Vzorek 5_2_3 .....	79
VZORKY 5_3 .....	80
Vzorek 5_3_1 .....	80
Vzorek 5_3_2 .....	81
Vzorek 5_3_3 .....	82

## **Seznam symbolů a zkratk**

Značení vzorků je ve formátu xx\_yy\_zz-tt:

**x** ... plošná hmotnost [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

**y** ... počet vrstev [-]

**z** ... číslo desky [-]

**t** ... číslo vzorku [-]

**d** ... průměrná tloušťka [mm; cm]

**m** ... pořadí při měření tloušťky materiálu (1 – 5) [-]

**P** ... plošná hmotnost [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

**V** ... počet vrstev [-]

$\sigma$  ... směrodatná odchylka [přebírá jednotku]

**v** ... variační koeficient [-; %]

**I<sub>30</sub>** ... proud odečtený ve 30 minutě měření [A]

**$\rho_{v30}$**  ... Vnitřní rezistivita [ $\Omega\cdot\text{cm}$ ;  $\Omega\cdot\text{m}$ ]

## SOUHRNÉ HODNOTY MĚŘENÍ VNITŘNÍ REZISTIVITY: 0\_0

Tab. 1 - Souhrnné hodnoty měření vnitřní rezistivity

<b>0_0</b>	
<b>P [g/m<sup>2</sup>]</b>	0
<b>V [ ]</b>	0
<b>Vzorek</b>	<b><math>\rho_{V30}</math> [<math>\Omega \cdot m</math>]</b>
1	2,22E+15
2	2,16E+15
3	1,95E+15
4	1,92E+15
5	1,85E+15
6	2,43E+15
7	2,31E+15
8	1,99E+15
9	1,75E+15
10	1,94E+15
11	1,78E+15
12	1,04E+15
13	1,10E+15
14	1,90E+15
15	1,42E+15
16	1,54E+15
<b><math>\rho_{CV30}</math> [<math>\Omega \cdot m</math>]</b>	<b>1,83E+15</b>
<b><math>\sigma</math> [<math>\Omega \cdot m</math>]</b>	<b>3,817E+14</b>
<b>u</b>	<b>2,08E-01</b>
<b>u [%]</b>	<b>20,839</b>



## Vzorky 0\_0

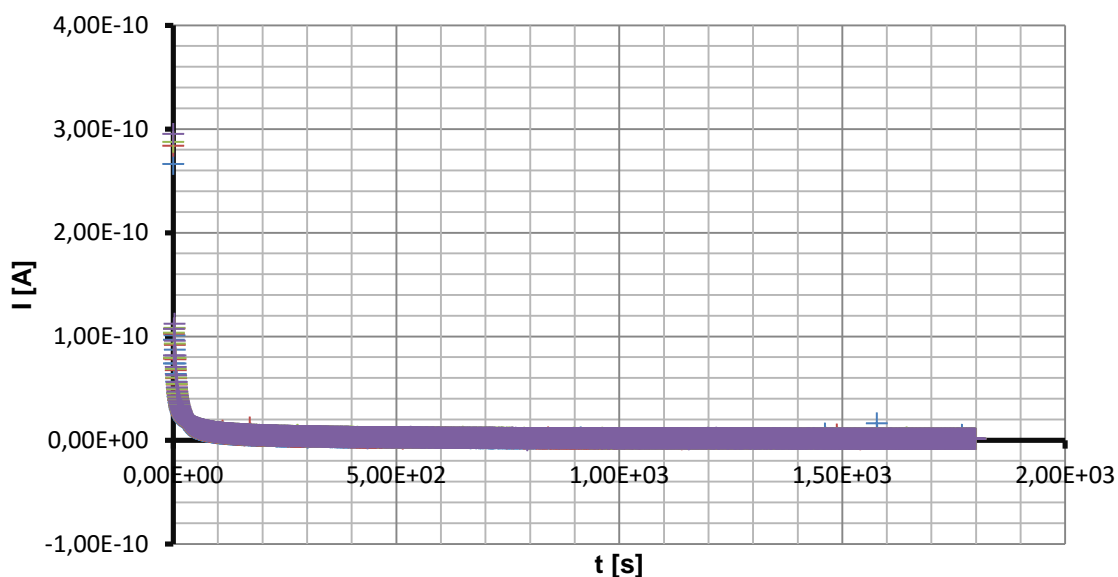
### Vzorek 0\_0\_1

Tab. 2 - Tloušťka vzorků

m	0_0_1-01	0_0_1-02	0_0_1-03	0_0_1-04
1	0,471	0,489	0,479	0,488
2	0,534	0,474	0,474	0,491
3	0,491	0,488	0,462	0,471
4	0,488	0,494	0,472	0,474
5	0,487	0,475	0,476	0,47
<b>d [mm]</b>	<b>0,4942</b>	<b>0,4840</b>	<b>0,4726</b>	<b>0,4788</b>
<b>d [cm]</b>	0,04942	0,04840	0,04726	0,04788
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,02108</b>	<b>0,00802</b>	<b>0,00578</b>	<b>0,00889</b>
<b>u [%]</b>	<b>4,26641</b>	<b>1,65805</b>	<b>1,22360</b>	<b>1,85588</b>

Tab. 3 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
1	1,04E-12	2,22E+17	2,22E+15
2	1,09E-12	2,16E+17	2,16E+15
3	1,24E-12	1,95E+17	1,95E+15
4	1,24E-12	1,92E+17	1,92E+15



+ 0\_0\_1-01   + 0\_0\_1-02   + 0\_0\_1-03   + 0\_0\_1-04

Graf 1 - Průběh absorpčních charakteristik

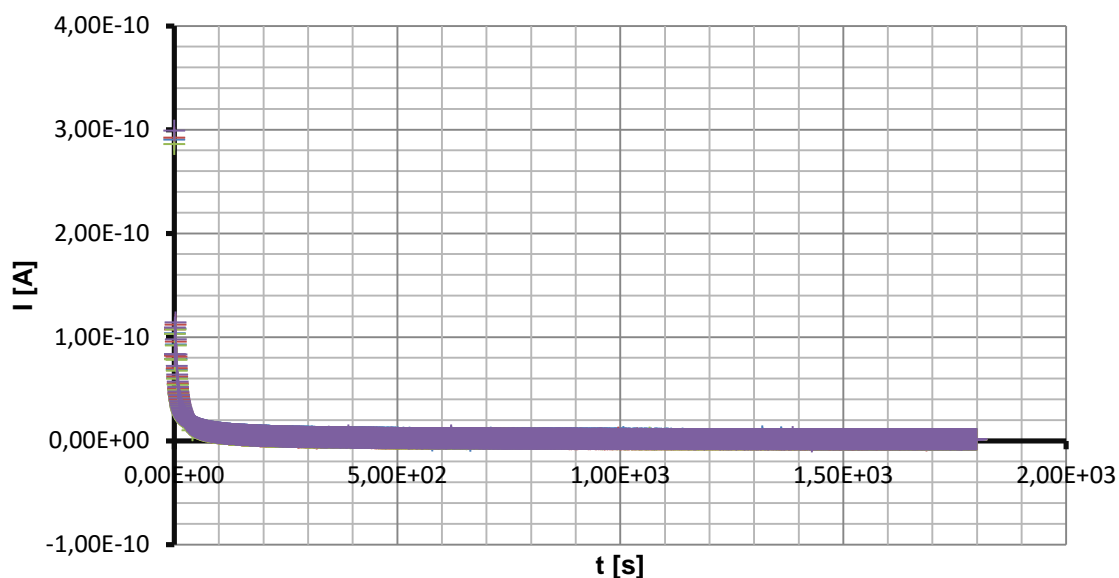
## Vzorek 0\_0\_2

Tab. 4 - Tloušťka vzorků

m	0_0_2-05	0_0_2-06	0_0_2-07	0_0_2-08
1	0,481	0,464	0,477	0,471
2	0,495	0,474	0,472	0,467
3	0,475	0,466	0,464	0,462
4	0,471	0,478	0,486	0,475
5	0,471	0,464	0,464	0,453
<b>d [mm]</b>	<b>0,4786</b>	<b>0,4692</b>	<b>0,4726</b>	<b>0,4656</b>
<b>d [cm]</b>	0,04786	0,04692	0,04726	0,04656
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00898</b>	<b>0,00574</b>	<b>0,00833</b>	<b>0,00763</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,87630</b>	<b>1,22359</b>	<b>1,76324</b>	<b>1,63907</b>

Tab. 5 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
5	1,29E-12	1,85E+17	1,85E+15
6	1,00E-12	2,43E+17	2,43E+15
7	1,05E-12	2,31E+17	2,31E+15
8	1,23E-12	1,99E+17	1,99E+15



+ 0\_0\_2-05 + 0\_0\_2-06 + 0\_0\_2-07 + 0\_0\_2-08

Graf 2 - Průběh absorpčních charakteristik

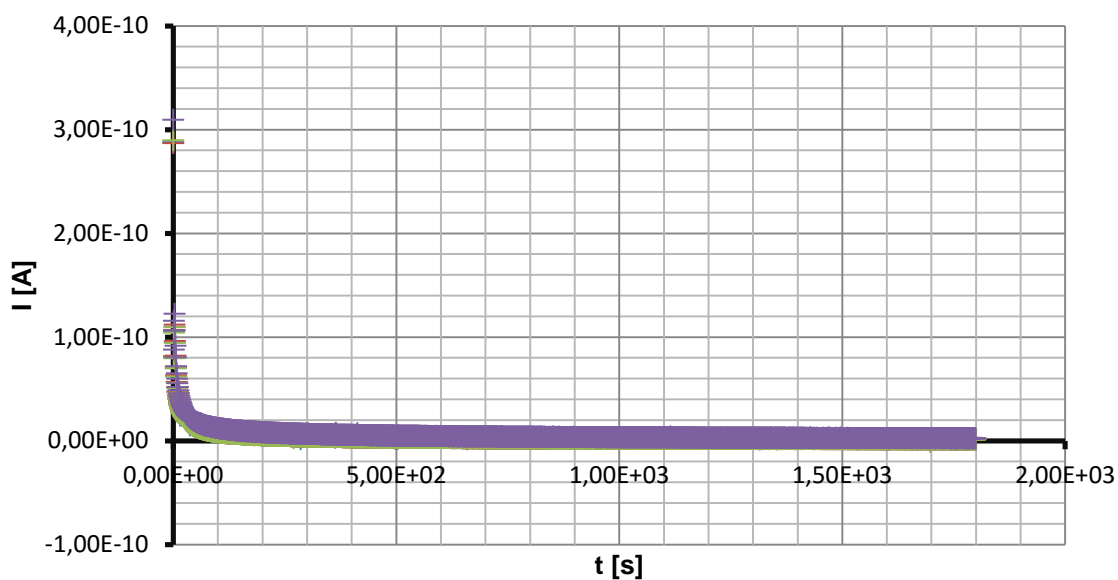
### Vzorek 0\_0\_3

Tab. 6 - Tloušťka vzorků

m	0_0_3-09	0_0_3-10	0_0_3-11	0_0_3-12
1	0,46	0,475	0,515	0,473
2	0,47	0,462	0,488	0,475
3	0,462	0,452	0,479	0,472
4	0,472	0,475	0,473	0,48
5	0,474	0,462	0,474	0,469
<b>d [mm]</b>	<b>0,4676</b>	<b>0,4652</b>	<b>0,4858</b>	<b>0,4738</b>
<b>d [cm]</b>	0,04676	0,04652	0,04858	0,04738
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00557</b>	<b>0,00880</b>	<b>0,01554</b>	<b>0,00366</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,19148</b>	<b>1,89068</b>	<b>3,19798</b>	<b>0,77145</b>

Tab. 7 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
9	1,40E-12	1,75E+17	1,75E+15
10	1,27E-12	1,94E+17	1,94E+15
11	1,32E-12	1,78E+17	1,78E+15
12	2,31E-12	1,04E+17	1,04E+15



+ 0\_0\_3-09 + 0\_0\_3-10 + 0\_0\_3-11 + 0\_0\_3-12

Graf 3 - Průběh absorpčních charakteristik

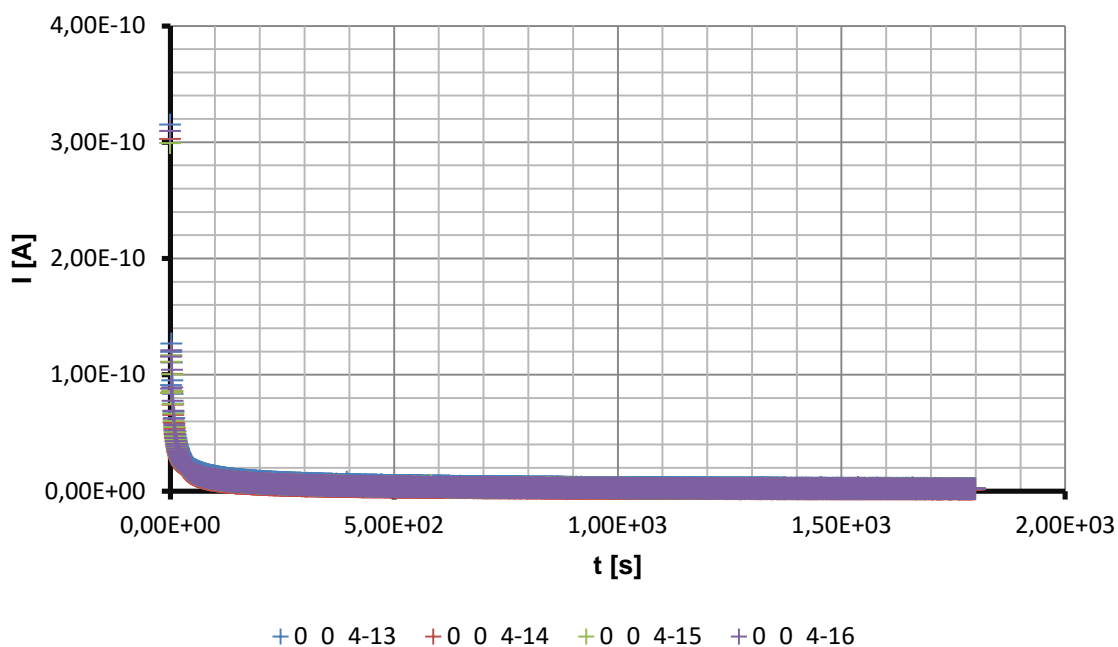
### Vzorek 0\_0\_4

Tab. 8 - Tloušťka vzorků

m	0_0_4-13	0_0_4-14	0_0_4-15	0_0_4-16
1	0,487	0,466	0,48	0,47
2	0,461	0,463	0,48	0,47
3	0,471	0,471	0,476	0,438
4	0,48	0,482	0,474	0,458
5	0,463	0,459	0,475	0,456
<b>d [mm]</b>	<b>0,4724</b>	<b>0,4682</b>	<b>0,4770</b>	<b>0,4584</b>
<b>d [cm]</b>	0,04724	0,04682	0,04770	0,04584
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00991</b>	<b>0,00793</b>	<b>0,00253</b>	<b>0,01176</b>
<b>u [%]</b>	<b>2,09814</b>	<b>1,69473</b>	<b>0,53036</b>	<b>2,56491</b>

Tab. 9 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
13	2,20E-12	1,10E+17	1,10E+15
14	1,29E-12	1,90E+17	1,90E+15
15	1,69E-12	1,42E+17	1,42E+15
16	1,62E-12	1,54E+17	1,54E+15



Graf 4 - Průběh absorpčních charakteristik

## SOUHRNNÉ HODNOTY MĚŘENÍ VNITŘNÍ REZISTIVITY:

### 1\_1, 1\_2, 1\_3

Tab. 10 - Souhrnné hodnoty měření vnitřní rezistivity

1_1		1_2		1_3	
P [g/m <sup>2</sup> ]	1	P [g/m <sup>2</sup> ]	1	P [g/m <sup>2</sup> ]	1
V [ ]	1	V [ ]	2	V [ ]	3
Vzorek	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	Vzorek	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	Vzorek	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]
1	1,75E+15	1	1,42E+15	1	1,15E+15
2	1,89E+15	2	1,70E+15	2	1,46E+15
3	2,08E+15	3	2,01E+15	3	1,34E+15
4	1,97E+15	4	1,86E+15	4	1,55E+15
5	2,09E+15	5	1,53E+15	5	9,90E+14
6	2,23E+15	6	1,98E+15	6	1,35E+15
7	2,14E+15	7	1,91E+15	7	1,58E+15
8	1,76E+15	8	1,57E+15	8	1,93E+15
9	2,02E+15	9	1,46E+15	9	1,38E+15
10	1,85E+15	10	2,12E+15	10	1,66E+15
11	2,35E+15	11	2,19E+15	11	2,01E+15
12	2,22E+15	12	1,91E+15	12	1,38E+15
$\rho_{CV30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	2,03E+15	$\rho_{CV30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	1,81E+15	$\rho_{CV30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	1,48E+15
$\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ]	1,825E+14	$\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ]	2,514E+14	$\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ]	2,801E+14
u	8,99E-02	u	1,39E-01	u	1,89E-01
u [%]	8,992	u [%]	13,922	u [%]	18,899

## Vzorky 1\_1

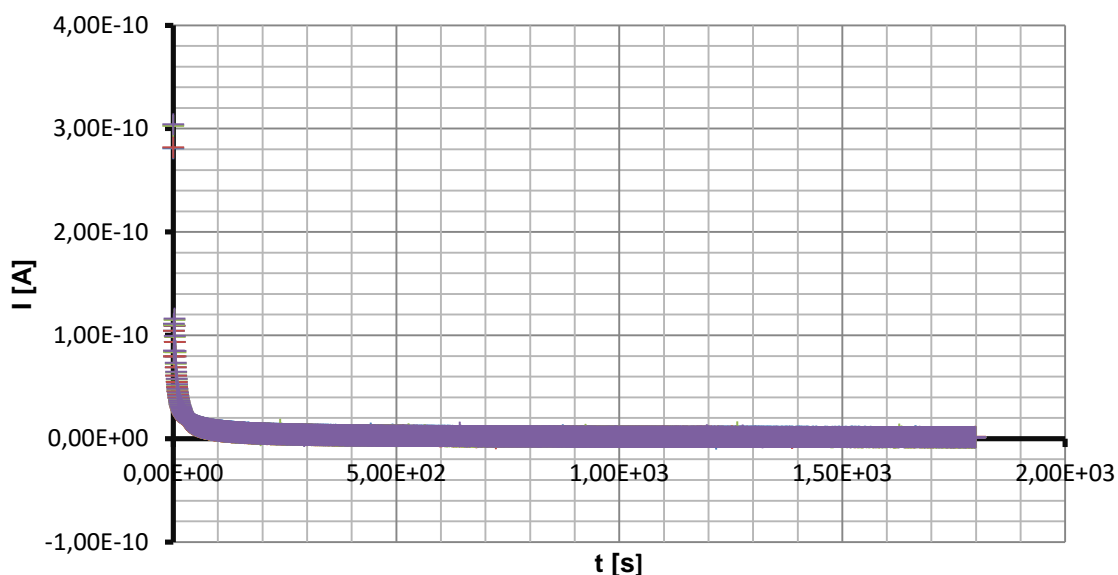
### Vzorek 1\_1\_1

Tab. 11 - Tloušťka vzorků

m	1_1_1-01	1_1_1-02	1_1_1-03	1_1_1-04
1	0,493	0,478	0,498	0,471
2	0,488	0,471	0,495	0,481
3	0,488	0,484	0,481	0,458
4	0,491	0,488	0,472	0,483
5	0,483	0,501	0,497	0,466
<b>d [mm]</b>	<b>0,4886</b>	<b>0,4844</b>	<b>0,4886</b>	<b>0,4718</b>
<b>d [cm]</b>	0,04886	0,04844	0,04886	0,04718
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00338</b>	<b>0,01009</b>	<b>0,01033</b>	<b>0,00933</b>
<b>u [%]</b>	<b>0,69224</b>	<b>2,08332</b>	<b>2,11352</b>	<b>1,97652</b>

Tab. 12 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
1	1,34E-12	1,75E+17	1,75E+15
2	1,25E-12	1,89E+17	1,89E+15
3	1,13E-12	2,08E+17	2,08E+15
4	1,23E-12	1,97E+17	1,97E+15



+ 1\_1\_1-01 + 1\_1\_1-02 + 1\_1\_1-03 + 1\_1\_1-04

Graf 5 - Průběh absorpčních charakteristik

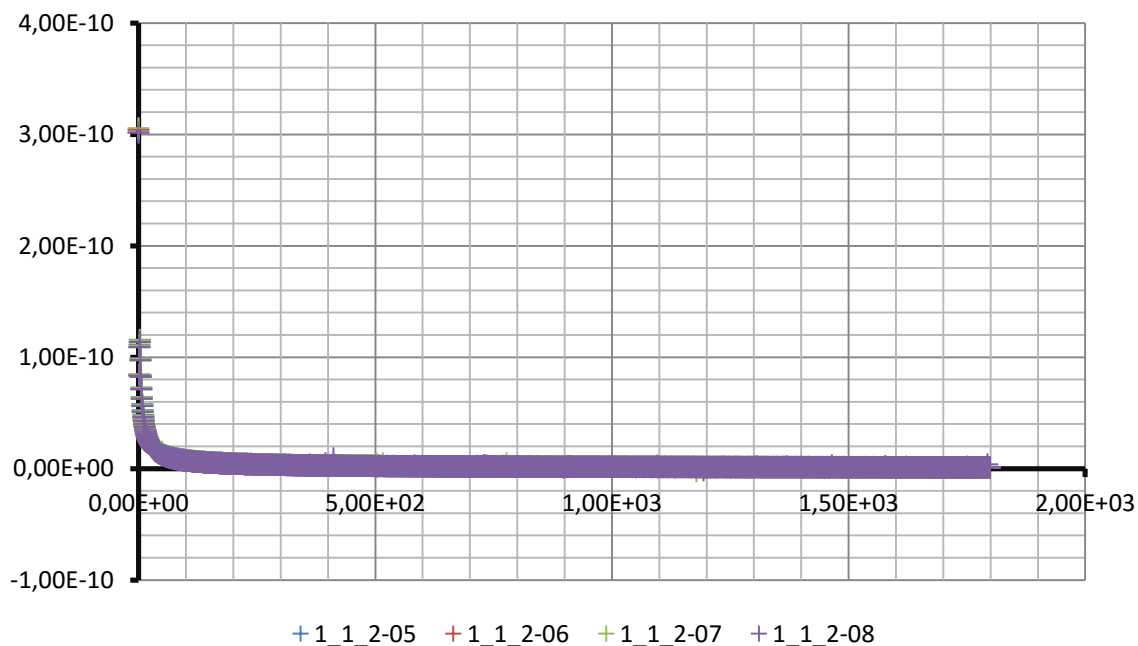
## Vzorek 1\_1\_2

Tab. 13 - Tloušťka vzorků

m	1_1_2-05	1_1_2-06	1_1_2-07	1_1_2-08
1	0,482	0,498	0,47	0,48
2	0,481	0,487	0,469	0,472
3	0,484	0,49	0,475	0,477
4	0,489	0,485	0,487	0,475
5	0,479	0,491	0,472	0,484
<b>d [mm]</b>	<b>0,4830</b>	<b>0,4902</b>	<b>0,4746</b>	<b>0,4776</b>
<b>d [cm]</b>	0,04830	0,04902	0,04746	0,04776
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00341</b>	<b>0,00445</b>	<b>0,00653</b>	<b>0,00413</b>
<b>u [%]</b>	<b>0,70515</b>	<b>0,90682</b>	<b>1,37588</b>	<b>0,86431</b>

Tab. 14 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
5	1,14E-12	2,09E+17	2,09E+15
6	1,05E-12	2,23E+17	2,23E+15
7	1,13E-12	2,14E+17	2,14E+15
8	1,36E-12	1,76E+17	1,76E+15



Graf 6 - Průběh absorpčních charakteristik

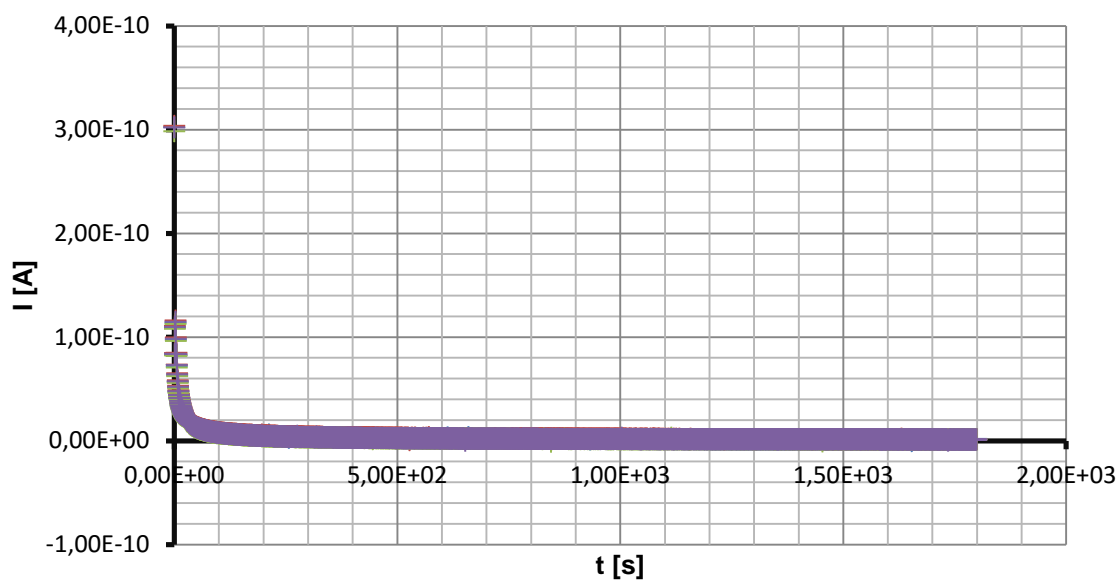
### Vzorek 1\_1\_3

Tab. 15 - Tloušťka vzorků

m	1_1_3-09	1_1_3-10	1_1_3-11	1_1_3-12
1	0,482	0,482	0,491	0,504
2	0,496	0,49	0,486	0,483
3	0,493	0,494	0,483	0,493
4	0,506	0,489	0,48	0,492
5	0,483	0,491	0,491	0,488
<b>d [mm]</b>	<b>0,4920</b>	<b>0,4892</b>	<b>0,4862</b>	<b>0,4920</b>
<b>d [cm]</b>	0,04920	0,04892	0,04862	0,04920
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00888</b>	<b>0,00397</b>	<b>0,00435</b>	<b>0,00696</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,80426</b>	<b>0,81151</b>	<b>0,89558</b>	<b>1,41403</b>

Tab. 16 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
9	1,15E-12	2,02E+17	2,02E+15
10	1,26E-12	1,85E+17	1,85E+15
11	1,00E-12	2,35E+17	2,35E+15
12	1,05E-12	2,22E+17	2,22E+15



+ 1\_1\_3-09 + 1\_1\_3-10 + 1\_1\_3-11 + 1\_1\_3-12

Graf 7 - Průběh absorpčních charakteristik



## Vzorky 1\_2

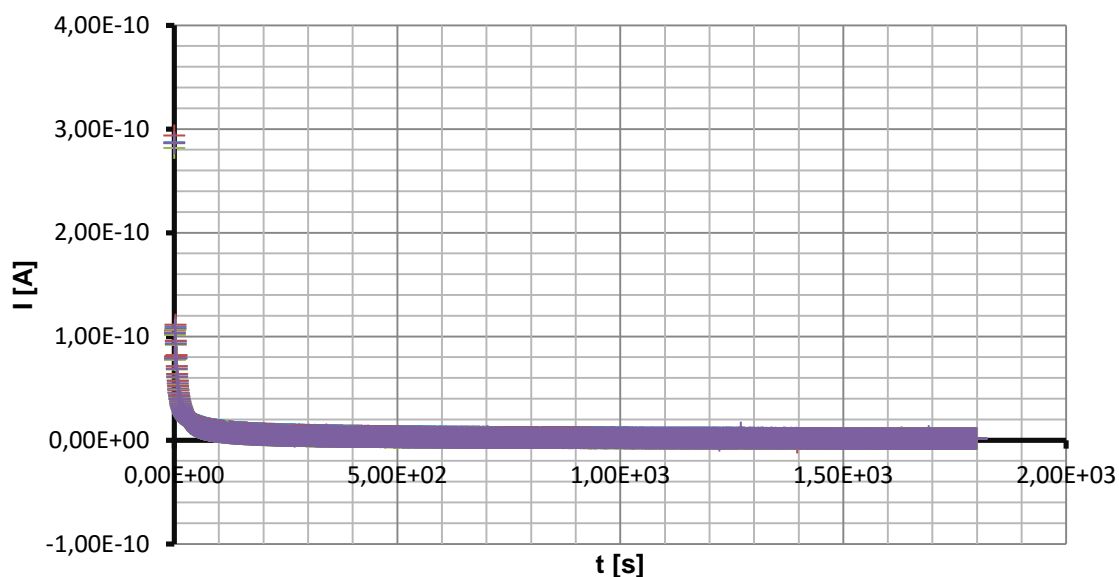
### Vzorek 1\_2\_1

Tab. 17 - Tloušťka vzorků

m	1_2_1-01	1_2_1-02	1_2_1-03	1_2_1-04
1	0,485	0,477	0,483	0,482
2	0,48	0,483	0,485	0,492
3	0,487	0,473	0,487	0,497
4	0,477	0,474	0,495	0,471
5	0,493	0,472	0,492	0,488
<b>d [mm]</b>	<b>0,4844</b>	<b>0,4758</b>	<b>0,4884</b>	<b>0,4860</b>
<b>d [cm]</b>	0,04844	0,04758	0,04884	0,04860
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00557</b>	<b>0,00397</b>	<b>0,00445</b>	<b>0,00897</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,15016</b>	<b>0,83436</b>	<b>0,91200</b>	<b>1,84498</b>

Tab. 18 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
1	1,67E-12	1,42E+17	1,42E+15
2	1,41E-12	1,70E+17	1,70E+15
3	1,17E-12	2,01E+17	2,01E+15
4	1,26E-12	1,86E+17	1,86E+15



+ 1\_2\_1-01 + 1\_2\_1-02 + 1\_2\_1-03 + 1\_2\_1-04

Graf 8 - Průběh absorpčních charakteristik

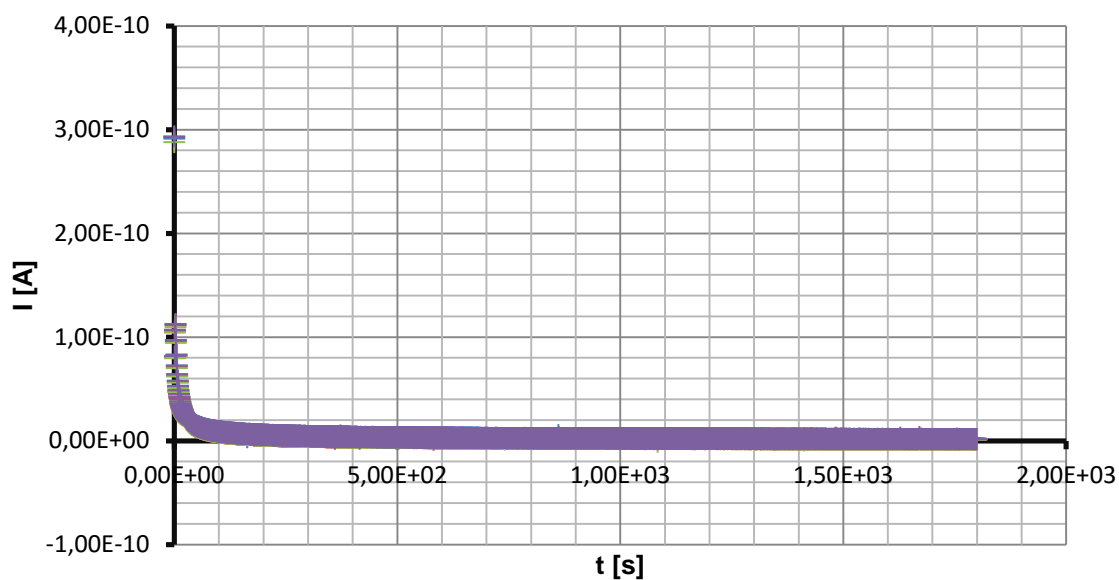
## Vzorek 1\_2\_2

Tab. 19 - Tloušťka vzorků

m	1_2_2-05	1_2_2-06	1_2_2-07	1_2_2-08
1	0,497	0,489	0,497	0,479
2	0,477	0,488	0,504	0,499
3	0,483	0,467	0,49	0,507
4	0,491	0,477	0,482	0,472
5	0,481	0,476	0,503	0,484
<b>d [mm]</b>	<b>0,4858</b>	<b>0,4794</b>	<b>0,4952</b>	<b>0,4882</b>
<b>d [cm]</b>	0,04858	0,04794	0,04952	0,04882
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00722</b>	<b>0,00821</b>	<b>0,00828</b>	<b>0,01292</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,48666</b>	<b>1,71301</b>	<b>1,67207</b>	<b>2,64672</b>

Tab. 20 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
5	1,54E-12	1,53E+17	1,53E+15
6	1,21E-12	1,98E+17	1,98E+15
7	1,21E-12	1,91E+17	1,91E+15
8	1,49E-12	1,57E+17	1,57E+15



+ 1\_2\_2-05 + 1\_2\_2-06 + 1\_2\_2-07 + 1\_2\_2-08

Graf 9 - Průběh absorpčních charakteristik

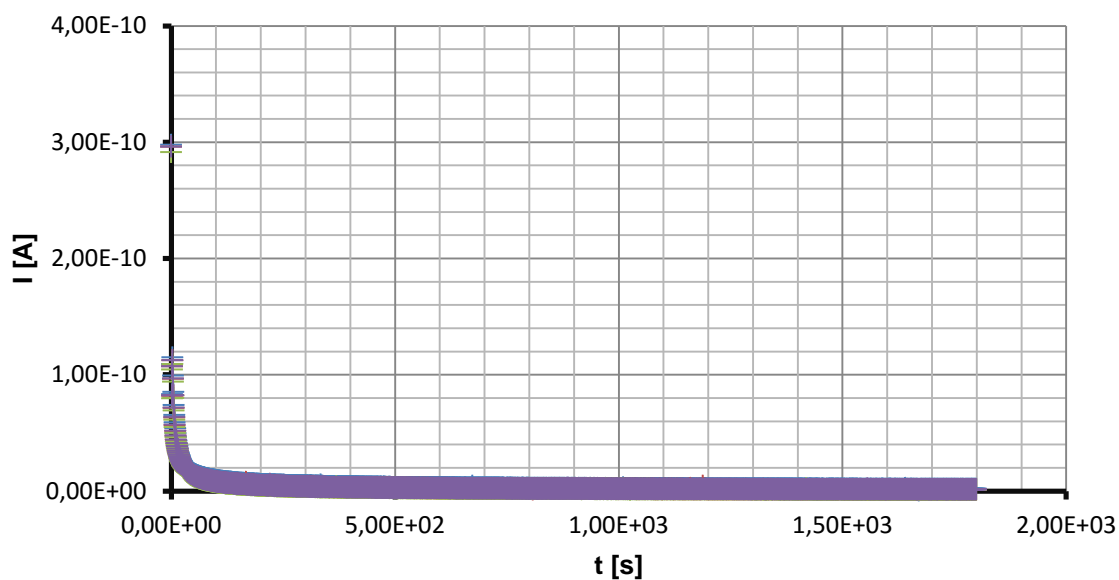
### Vzorek 1\_2\_3

Tab. 21 - Tloušťka vzorků

m	1_2_3-09	1_2_3-10	1_2_3-11	1_2_3-12
1	0,49	0,481	0,488	0,482
2	0,484	0,461	0,491	0,471
3	0,475	0,46	0,486	0,457
4	0,491	0,476	0,486	0,473
5	0,492	0,458	0,482	0,472
d [mm]	<b>0,4864</b>	<b>0,4672</b>	<b>0,4866</b>	<b>0,4710</b>
d [cm]	0,04864	0,04672	0,04866	0,04710
$\sigma$ [mm]	<b>0,00634</b>	<b>0,00941</b>	<b>0,00294</b>	<b>0,00802</b>
u [%]	<b>1,30417</b>	<b>2,01426</b>	<b>0,60407</b>	<b>1,70381</b>

Tab. 22 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
9	1,61E-12	1,46E+17	1,46E+15
10	1,16E-12	2,12E+17	2,12E+15
11	1,07E-12	2,19E+17	2,19E+15
12	1,28E-12	1,91E+17	1,91E+15



+ 1\_2\_3-09 + 1\_2\_3-10 + 1\_2\_3-11 + 1\_2\_3-12

Graf 10 - Průběh absorpčních charakteristik

## Vzorky 1\_3

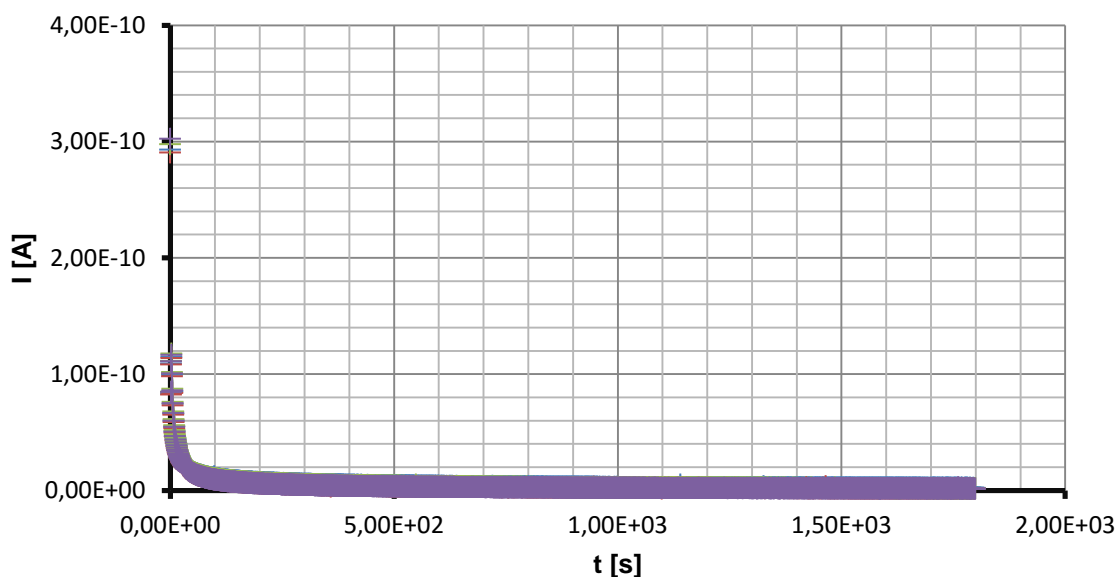
### Vzorek 1\_3\_1

Tab. 23 - Tloušťka vzorků

m	1_3_1-01	1_3_1-02	1_3_1-03	1_3_1-04
1	0,491	0,491	0,484	0,488
2	0,481	0,48	0,498	0,499
3	0,487	0,481	0,488	0,478
4	0,486	0,49	0,499	0,478
5	0,495	0,481	0,485	0,482
<b>d [mm]</b>	<b>0,4880</b>	<b>0,4846</b>	<b>0,4908</b>	<b>0,4850</b>
<b>d [cm]</b>	0,04880	0,04846	0,04908	0,04850
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00473</b>	<b>0,00484</b>	<b>0,00643</b>	<b>0,00790</b>
<b>u [%]</b>	<b>0,96985</b>	<b>0,99907</b>	<b>1,31035</b>	<b>1,62874</b>

Tab. 24 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
1	2,04E-12	1,15E+17	1,15E+15
2	1,62E-12	1,46E+17	1,46E+15
3	1,74E-12	1,34E+17	1,34E+15
4	1,52E-12	1,55E+17	1,55E+15



+ 1\_3\_1-01 + 1\_3\_1-02 + 1\_3\_1-03 + 1\_3\_1-04

Graf 11 - Průběh absorpčních charakteristik

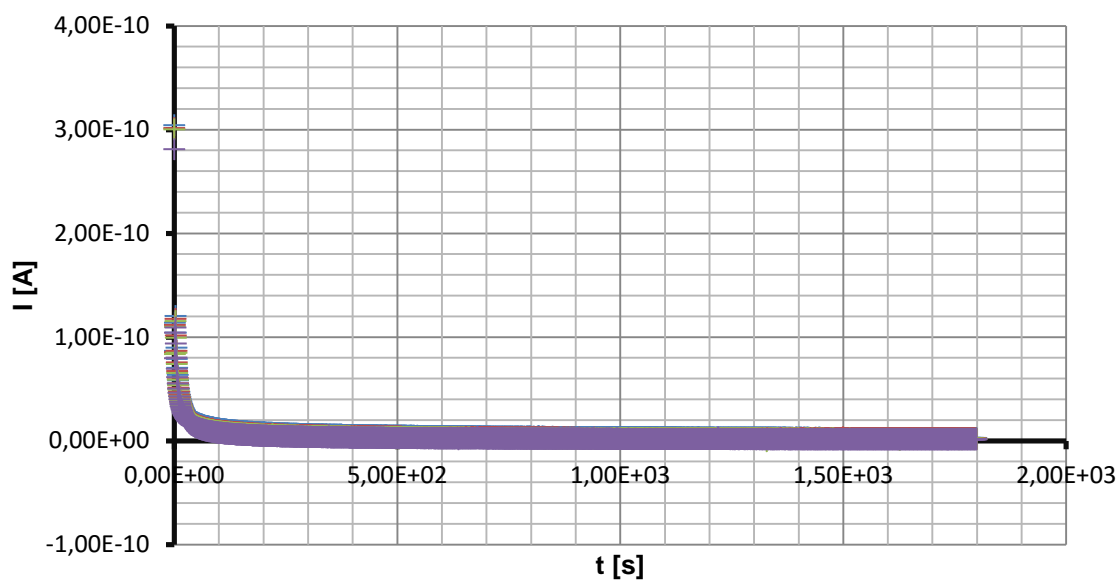
### Vzorek 1\_3\_2

Tab. 25 - Tloušťka vzorků

m	1_3_2-05	1_3_2-06	1_3_2-07	1_3_2-08
1	0,501	0,496	0,478	0,492
2	0,506	0,471	0,5	0,501
3	0,489	0,465	0,483	0,503
4	0,504	0,484	0,486	0,462
5	0,492	0,475	0,485	0,467
<b>d [mm]</b>	<b>0,4984</b>	<b>0,4782</b>	<b>0,4864</b>	<b>0,4850</b>
<b>d [cm]</b>	0,04984	0,04782	0,04864	0,04850
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00671</b>	<b>0,01083</b>	<b>0,00734</b>	<b>0,01722</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,34655</b>	<b>2,26543</b>	<b>1,50855</b>	<b>3,54975</b>

Tab. 26 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
5	2,32E-12	9,90E+16	9,90E+14
6	1,77E-12	1,35E+17	1,35E+15
7	1,49E-12	1,58E+17	1,58E+15
8	1,22E-12	1,93E+17	1,93E+15



+ 1\_3\_2-05 + 1\_3\_2-06 + 1\_3\_2-07 + 1\_3\_2-08

Graf 12 - Průběh absorpčních charakteristik

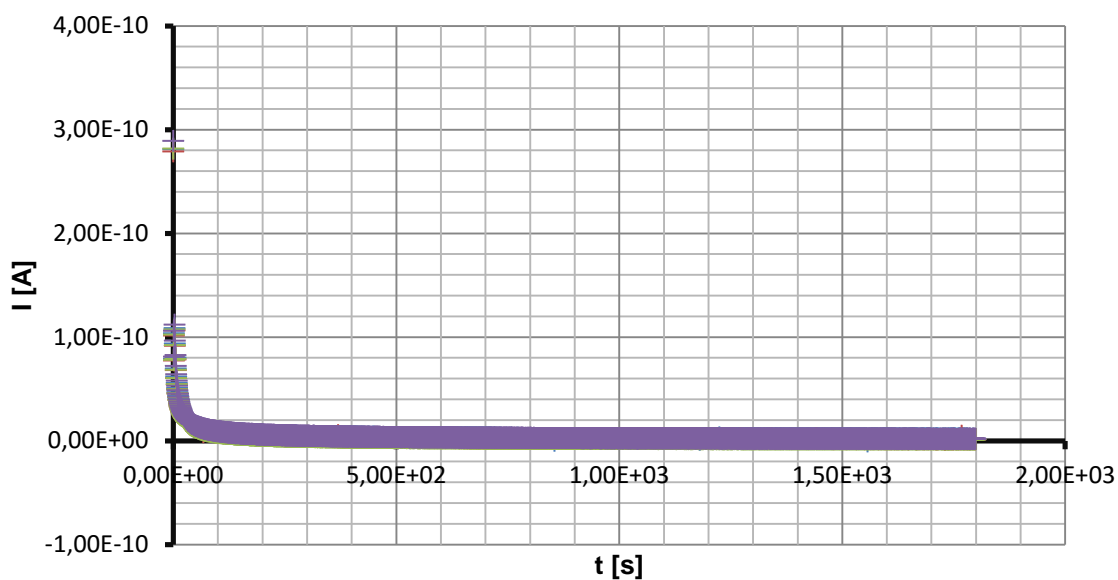
### Vzorek 1\_3\_3

Tab. 27 - Tloušťka vzorků

m	1_3_3-09	1_3_3-10	1_3_3-11	1_3_3-12
1	0,482	0,499	0,491	0,484
2	0,508	0,501	0,491	0,487
3	0,483	0,47	0,499	0,493
4	0,495	0,485	0,48	0,465
5	0,482	0,482	0,498	0,48
<b>d [mm]</b>	<b>0,4900</b>	<b>0,4874</b>	<b>0,4918</b>	<b>0,4818</b>
<b>d [cm]</b>	0,04900	0,04874	0,04918	0,04818
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,01026</b>	<b>0,01146</b>	<b>0,00679</b>	<b>0,00941</b>
<b>u [%]</b>	<b>2,09321</b>	<b>2,35222</b>	<b>1,38148</b>	<b>1,95322</b>

Tab. 28 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
9	1,70E-12	1,38E+17	1,38E+15
10	1,42E-12	1,66E+17	1,66E+15
11	1,16E-12	2,01E+17	2,01E+15
12	1,72E-12	1,38E+17	1,38E+15



+ 1\_3\_3-09 + 1\_3\_3-10 + 1\_3\_3-11 + 1\_3\_3-12

Graf 13 - Průběh absorpčních charakteristik

## SOUHRNNÉ HODNOTY MĚŘENÍ VNITŘNÍ REZISTIVITY:

### 3\_1, 3\_2, 3\_3

Tabulka 29 - Souhrnné hodnoty měření vnitřní rezistivity

3_1		3_2		3_3	
P [g/m <sup>2</sup> ]	3	P [g/m <sup>2</sup> ]	3	P [g/m <sup>2</sup> ]	3
V [ ]	1	V [ ]	2	V [ ]	3
Vzorek	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	Vzorek	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	Vzorek	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]
1	1,50E+15	1	1,61E+15	1	9,66E+14
2	1,66E+15	2	1,43E+15	2	1,32E+15
3	1,74E+15	3	1,35E+15	3	1,45E+15
4	1,58E+15	4	1,42E+15	4	1,80E+15
5	1,75E+15	5	1,23E+15	5	1,14E+15
6	1,83E+15	6	1,06E+15	6	1,46E+15
7	1,92E+15	7	1,50E+15	7	1,62E+15
8	2,43E+15	8	1,23E+15	8	1,62E+15
9	1,88E+15	9	1,31E+15	9	1,44E+15
10	2,05E+15	10	1,36E+15	10	1,78E+15
11	1,65E+15	11	1,44E+15	11	1,65E+15
12	1,94E+15	12	1,52E+15	12	1,97E+15
$\rho_{CV30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	1,83E+15	$\rho_{CV30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	1,37E+15	$\rho_{CV30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	1,52E+15
$\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ]	2,366E+14	$\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ]	1,424E+14	$\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ]	2,727E+14
u	1,29E-01	u	1,04E-01	u	1,80E-01
u [%]	12,939	u [%]	10,391	u [%]	17,979

## Vzorky 3\_1

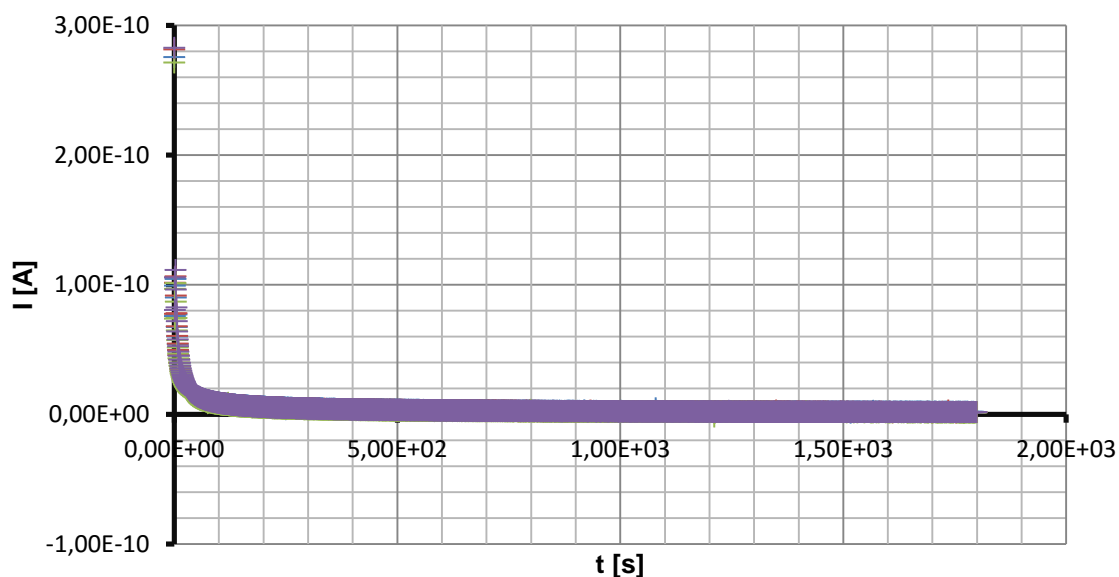
### Vzorek 3\_1\_1

Tab. 30 - Tloušťka vzorků

m	3_1_1-01	3_1_1-02	3_1_1-03	3_3_1-04
1	0,49	0,469	0,488	0,483
2	0,492	0,474	0,479	0,487
3	0,476	0,466	0,486	0,475
4	0,482	0,477	0,475	0,482
5	0,459	0,469	0,484	0,478
<b>d [mm]</b>	<b>0,4798</b>	<b>0,4710</b>	<b>0,4824</b>	<b>0,4810</b>
<b>d [cm]</b>	0,04798	0,04710	0,04824	0,04810
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,01187</b>	<b>0,00395</b>	<b>0,00476</b>	<b>0,00415</b>
<b>u [%]</b>	<b>2,47450</b>	<b>0,83857</b>	<b>0,98635</b>	<b>0,86222</b>

Tab. 31 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
1	1,59E-12	1,50E+17	1,50E+15
2	1,46E-12	1,66E+17	1,66E+15
3	1,36E-12	1,74E+17	1,74E+15
4	1,50E-12	1,58E+17	1,58E+15



+ 3\_1\_1-01 + 3\_1\_1-02 + 3\_1\_1-03 + 3\_3\_1-04

Graf 14 - Průběh absorpčních charakteristik



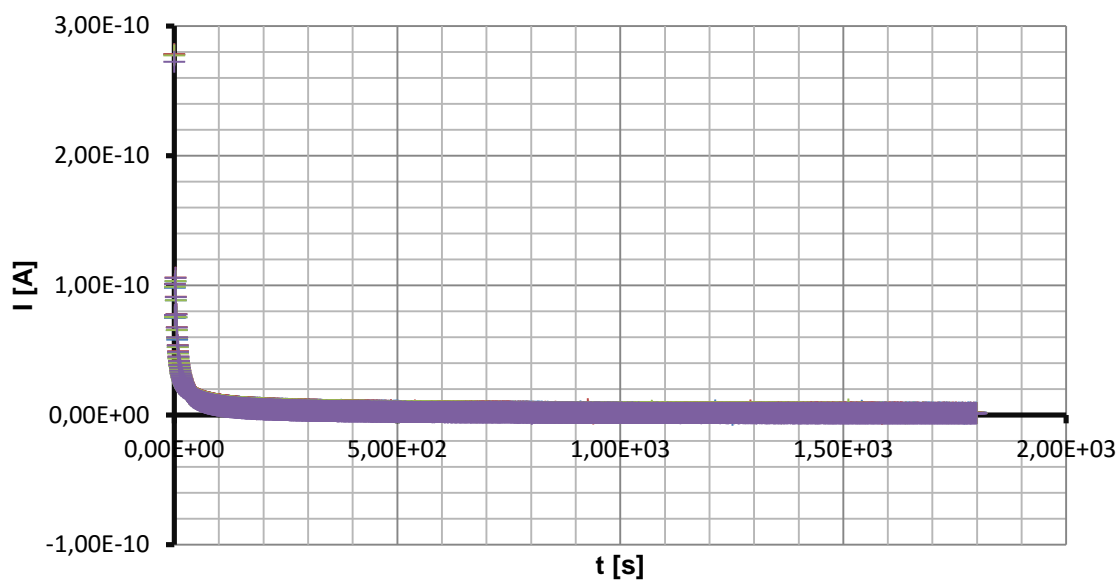
### Vzorek 3\_1\_2

Tab. 32 - Tloušťka vzorků

m	3_1_2-05	3_1_2-06	3_1_2-07	3_1_2-08
1	0,503	0,484	0,497	0,486
2	0,497	0,492	0,487	0,489
3	0,477	0,49	0,479	0,49
4	0,489	0,486	0,486	0,501
5	0,47	0,481	0,489	0,486
<b>d [mm]</b>	<b>0,4872</b>	<b>0,4866</b>	<b>0,4876</b>	<b>0,4904</b>
<b>d [cm]</b>	0,04872	0,04866	0,04876	0,04904
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,01224</b>	<b>0,00398</b>	<b>0,00578</b>	<b>0,00554</b>
<b>u [%]</b>	<b>2,51183</b>	<b>0,81791</b>	<b>1,18596</b>	<b>1,12874</b>

Tab. 33 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
5	1,34E-12	1,75E+17	1,75E+15
6	1,28E-12	1,83E+17	1,83E+15
7	1,22E-12	1,92E+17	1,92E+15
8	9,61E-13	2,43E+17	2,43E+15



+ 3\_1\_2-05 + 3\_1\_2-06 + 3\_1\_2-07 + 3\_1\_2-08

Graf 15 - Průběh absorpčních charakteristik

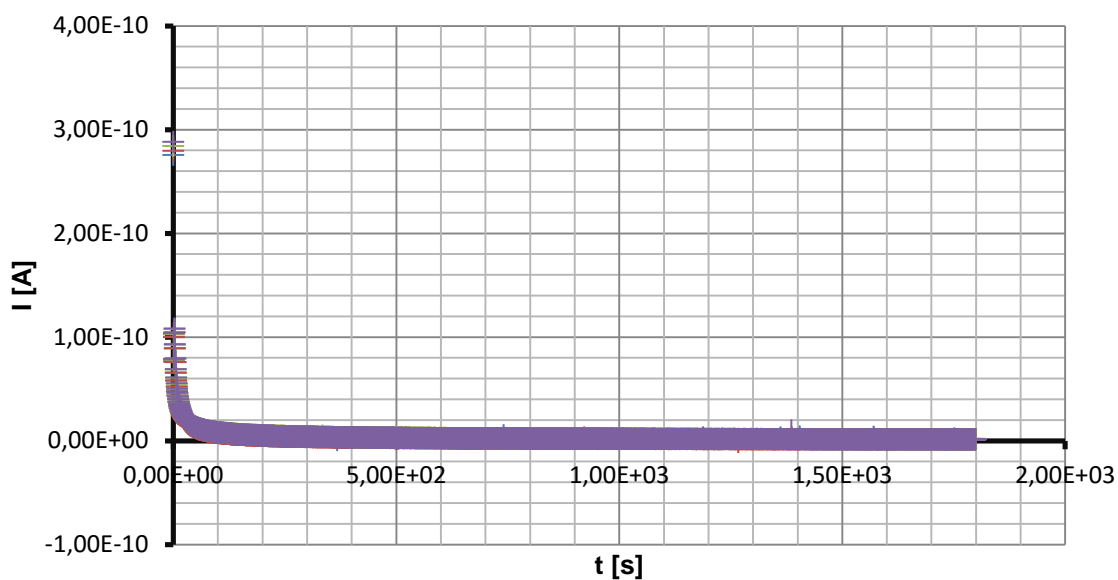
### Vzorek 3\_1\_3

Tab. 34 - Tloušťka vzorků

m	3_1_3-09	3_1_3-10	3_1_3-11	3_1_3-12
1	0,477	0,477	0,482	0,484
2	0,483	0,475	0,497	0,495
3	0,484	0,492	0,49	0,488
4	0,488	0,475	0,495	0,475
5	0,473	0,472	0,489	0,477
<b>d [mm]</b>	<b>0,4810</b>	<b>0,4782</b>	<b>0,4906</b>	<b>0,4838</b>
<b>d [cm]</b>	0,04810	0,04782	0,04906	0,04838
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00533</b>	<b>0,00708</b>	<b>0,00524</b>	<b>0,00730</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,10793</b>	<b>1,48105</b>	<b>1,06774</b>	<b>1,50988</b>

Tab. 35 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
9	1,27E-12	1,88E+17	1,88E+15
10	1,17E-12	2,05E+17	2,05E+15
11	1,42E-12	1,65E+17	1,65E+15
12	1,22E-12	1,94E+17	1,94E+15



+ 3\_1\_3-09 + 3\_1\_3-10 + 3\_1\_3-11 + 3\_1\_3-12

Graf 16 - Průběh absorpčních charakteristik

## Vzorky 3\_2

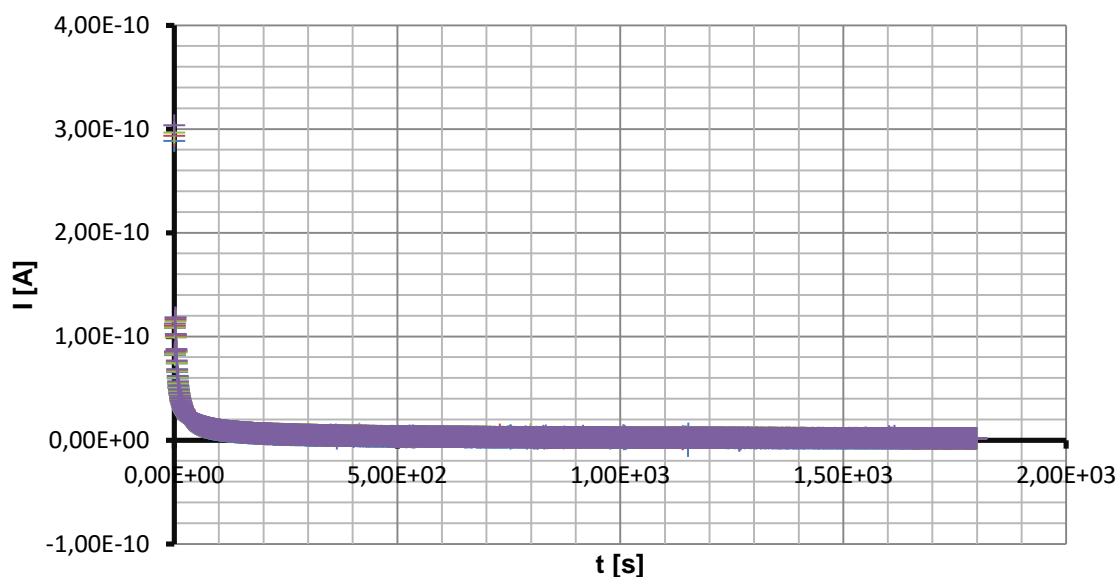
### Vzorek 3\_2\_1

Tab. 36 - Tloušťka vzorků

m	3_2_1-01	3_2_1-02	3_2_1-03	3_2_1-04
1	0,472	0,497	0,483	0,494
2	0,473	0,467	0,484	0,479
3	0,481	0,479	0,473	0,488
4	0,492	0,478	0,473	0,486
5	0,487	0,474	0,478	0,48
<b>d [mm]</b>	<b>0,4810</b>	<b>0,4790</b>	<b>0,4782</b>	<b>0,4854</b>
<b>d [cm]</b>	0,04810	0,04790	0,04782	0,04854
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00777</b>	<b>0,00994</b>	<b>0,00471</b>	<b>0,00550</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,61575</b>	<b>2,07512</b>	<b>0,98441</b>	<b>1,13290</b>

Tab. 37 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
1	1,48E-12	1,61E+17	1,61E+15
2	1,67E-12	1,43E+17	1,43E+15
3	1,77E-12	1,35E+17	1,35E+15
4	1,67E-12	1,42E+17	1,42E+15



+ 3\_2\_1-01 + 3\_2\_1-02 + 3\_2\_1-03 + 3\_2\_1-04

Graf 17 - Průběh absorpčních charakteristik

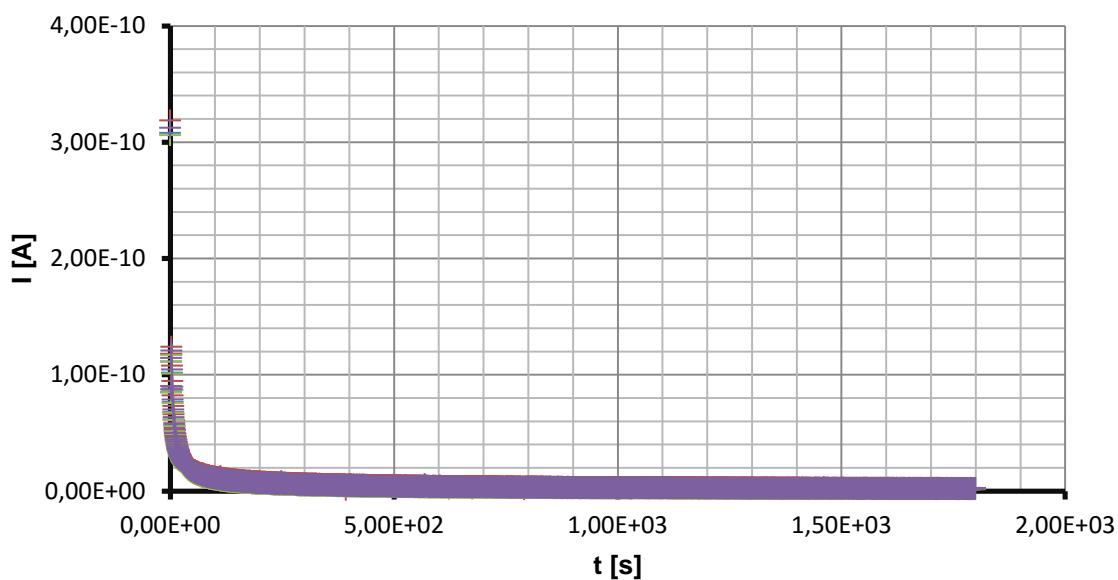
### Vzorek 3\_2\_2

Tab. 38 - Tloušťka vzorků

m	3_2_2-05	3_2_2-06	3_2_2-07	3_2_2-08
1	0,482	0,482	0,491	0,485
2	0,503	0,469	0,492	0,479
3	0,496	0,483	0,488	0,491
4	0,502	0,471	0,477	0,477
5	0,473	0,476	0,487	0,475
<b>d [mm]</b>	<b>0,4912</b>	<b>0,4762</b>	<b>0,4870</b>	<b>0,4814</b>
<b>d [cm]</b>	0,04912	0,04762	0,04870	0,04814
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,01179</b>	<b>0,00564</b>	<b>0,00533</b>	<b>0,00585</b>
<b>u [%]</b>	<b>2,39986</b>	<b>1,18345</b>	<b>1,09428</b>	<b>1,21552</b>

Tab. 39 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
5	1,90E-12	1,23E+17	1,23E+15
6	2,27E-12	1,06E+17	1,06E+15
7	1,57E-12	1,50E+17	1,50E+15
8	1,93E-12	1,23E+17	1,23E+15



+ 3\_2\_2-05 + 3\_2\_2-06 + 3\_2\_2-07 + 3\_2\_2-08

Graf 18 - Průběh absorpčních charakteristik

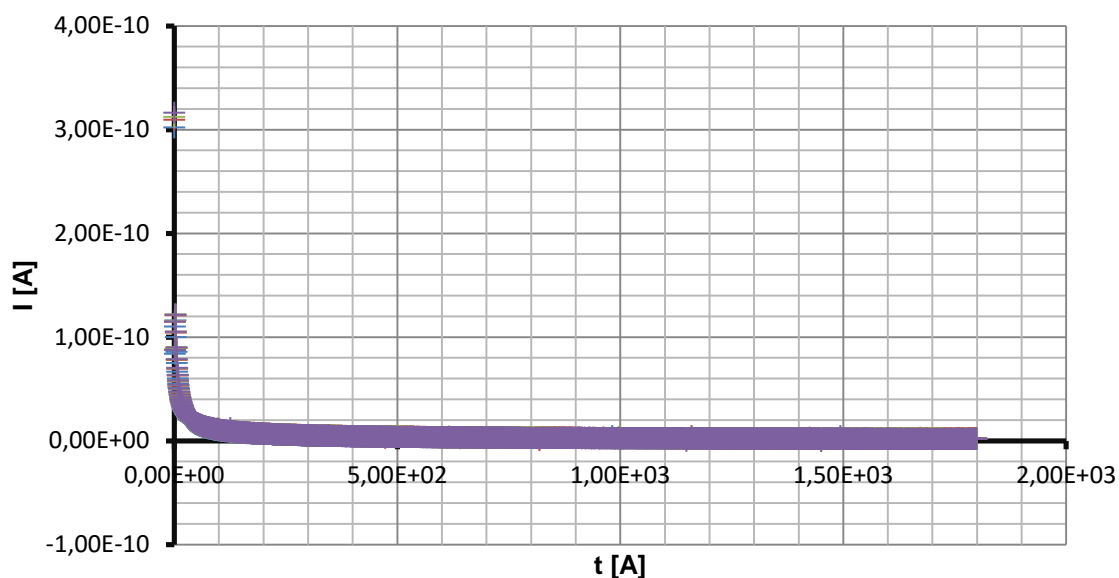
### Vzorek 3\_2\_3

Tab.40 - Tloušťka vzorků

m	3_2_3-09	3_2_3-10	3_2_3-11	3_2_3-12
1	0,491	0,474	0,49	0,473
2	0,494	0,466	0,482	0,495
3	0,484	0,478	0,474	0,465
4	0,495	0,482	0,486	0,466
5	0,474	0,476	0,493	0,472
<b>d [mm]</b>	<b>0,4876</b>	<b>0,4752</b>	<b>0,4850</b>	<b>0,4742</b>
<b>d [cm]</b>	0,04876	0,04752	0,04850	0,04742
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00781</b>	<b>0,00531</b>	<b>0,00663</b>	<b>0,01087</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,60230</b>	<b>1,11671</b>	<b>1,36768</b>	<b>2,29231</b>

Tab. 41 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
9	1,79E-12	1,31E+17	1,31E+15
10	1,77E-12	1,36E+17	1,36E+15
11	1,64E-12	1,44E+17	1,44E+15
12	1,59E-12	1,52E+17	1,52E+15



+ 3\_2\_3-09 + 3\_2\_3-10 + 3\_2\_3-11 + 3\_2\_3-12

Graf 19 - Průběh absorpčních charakteristik

## Vzorky 3\_3

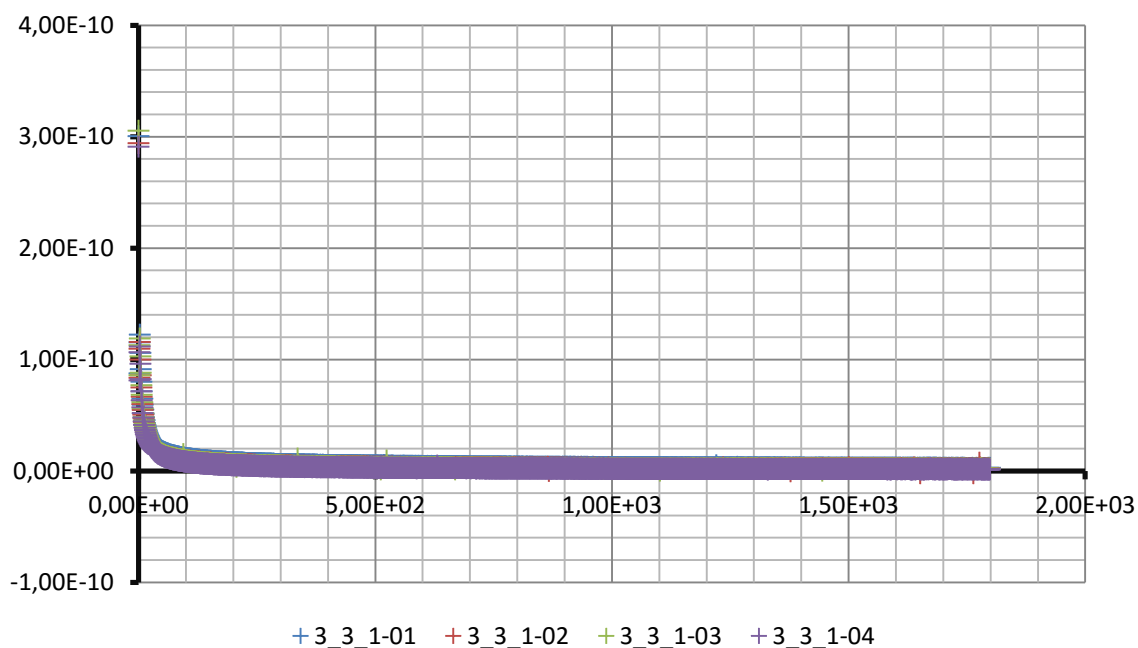
### Vzorek 3\_3\_1

Tab. 42 - Tloušťka vzorků

m	3_3_1-01	3_3_1-02	3_3_1-03	3_3_1-04
1	0,485	0,494	0,496	0,492
2	0,483	0,502	0,492	0,502
3	0,498	0,491	0,502	0,483
4	0,479	0,492	0,492	0,498
5	0,498	0,487	0,511	0,493
<b>d [mm]</b>	<b>0,4886</b>	<b>0,4932</b>	<b>0,4986</b>	<b>0,4936</b>
<b>d [cm]</b>	0,04886	0,04932	0,04986	0,04936
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00791</b>	<b>0,00496</b>	<b>0,00720</b>	<b>0,00641</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,61984</b>	<b>1,00483</b>	<b>1,44404</b>	<b>1,29786</b>

Tab. 43 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
1	2,43E-12	9,66E+16	9,66E+14
2	1,76E-12	1,32E+17	1,32E+15
3	1,58E-12	1,45E+17	1,45E+15
4	1,29E-12	1,80E+17	1,80E+15



Graf 20 - Průběh absorpčních charakteristik

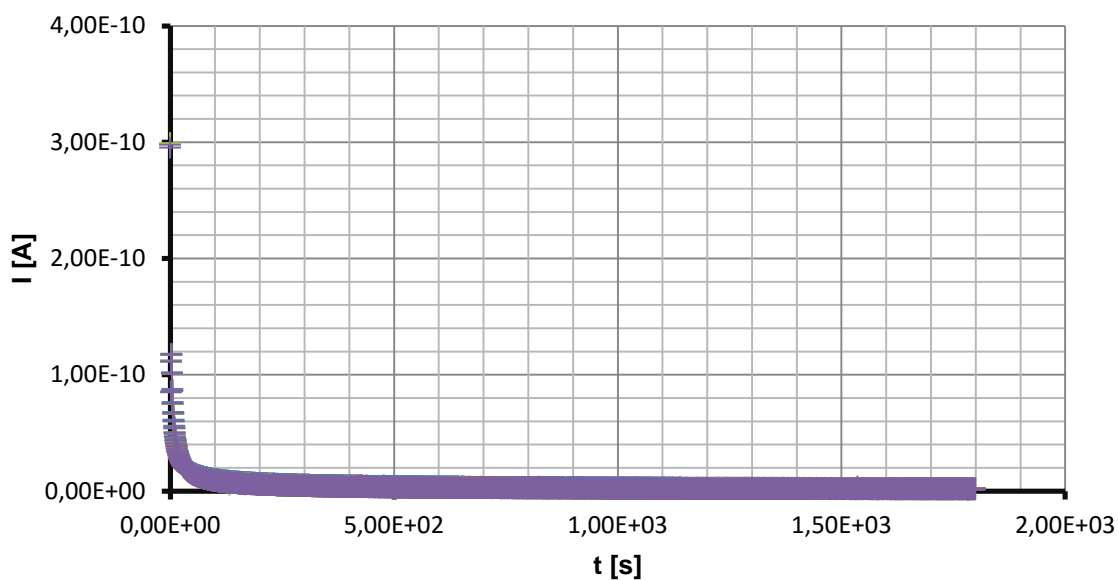
### Vzorek 3\_3\_2

Tab. 44 - Tloušťka vzorků

m	3_3_2-05	3_3_2-06	3_3_2-07	3_3_2-08
1	0,479	0,483	0,485	0,499
2	0,493	0,46	0,493	0,479
3	0,483	0,475	0,476	0,487
4	0,49	0,489	0,487	0,476
5	0,488	0,492	0,488	0,475
<b>d [mm]</b>	<b>0,4866</b>	<b>0,4798</b>	<b>0,4858</b>	<b>0,4832</b>
<b>d [cm]</b>	0,04866	0,04798	0,04858	0,04832
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00500</b>	<b>0,01148</b>	<b>0,00556</b>	<b>0,00895</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,02836</b>	<b>2,39239</b>	<b>1,14536</b>	<b>1,85290</b>

Tab. 45 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
5	2,07E-12	1,14E+17	1,14E+15
6	1,64E-12	1,46E+17	1,46E+15
7	1,46E-12	1,62E+17	1,62E+15
8	1,47E-12	1,62E+17	1,62E+15



+ 3\_3\_2-05 + 3\_3\_2-06 + 3\_3\_2-07 + 3\_3\_2-08

Graf 21 - Průběh absorpčních charakteristik

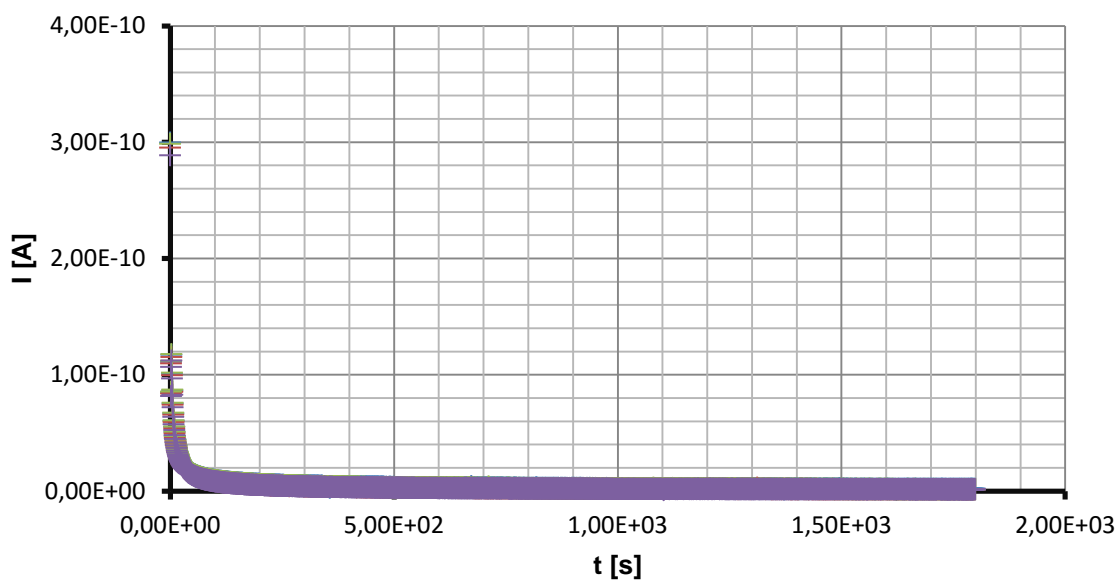
### Vzorek 3\_3\_3

Tab. 46 - Tloušťka vzorků

m	3_3_3-09	3_3_3-10	3_3_3-11	3_3_3-12
1	0,478	0,468	0,486	0,49
2	0,485	0,473	0,483	0,487
3	0,483	0,491	0,492	0,478
4	0,482	0,498	0,484	0,472
5	0,479	0,492	0,485	0,489
<b>d [mm]</b>	<b>0,4814</b>	<b>0,4844</b>	<b>0,4860</b>	<b>0,4832</b>
<b>d [cm]</b>	0,04814	0,04844	0,04860	0,04832
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00258</b>	<b>0,01171</b>	<b>0,00316</b>	<b>0,00703</b>
<b>u [%]</b>	<b>0,53528</b>	<b>2,41668</b>	<b>0,65067</b>	<b>1,45399</b>

Tab. 47 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
9	1,66E-12	1,44E+17	1,44E+15
10	1,33E-12	1,78E+17	1,78E+15
11	1,43E-12	1,65E+17	1,65E+15
12	1,20E-12	1,97E+17	1,97E+15



+ 3\_3\_3-09 + 3\_3\_3-10 + 3\_3\_3-11 + 3\_3\_3-12

Graf 22 - Průběh absorpčních charakteristik



## SOUHRNNÉ VÝSLEDKY MĚŘENÍ VNITŘNÍ REZISTIVITY: 5\_1, 5\_2, 5\_3

Tab. 48 - Souhrnné výsledky měření vnitřní rezistivity

5_1		5_2		5_3	
P [g/m <sup>2</sup> ]	5	P [g/m <sup>2</sup> ]	5	P [g/m <sup>2</sup> ]	5
V [ ]	1	V [ ]	2	V [ ]	3
Vzorek	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	Vzorek	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	Vzorek	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]
1	1,44E+15	1	1,44E+15	1	1,13E+15
2	1,85E+15	2	1,23E+15	2	1,18E+15
3	1,77E+15	3	1,22E+15	3	9,01E+14
4	2,04E+15	4	1,17E+15	4	8,18E+14
5	1,57E+15	5	1,74E+15	5	1,07E+15
6	1,50E+15	6	1,69E+15	6	1,02E+15
7	1,37E+15	7	1,47E+15	7	1,10E+15
8	1,78E+15	8	1,60E+15	8	1,02E+15
9	1,34E+15	9	1,63E+15	9	1,16E+15
10	1,46E+15	10	1,44E+15	10	1,60E+15
11	1,85E+15	11	1,17E+15	11	1,49E+15
12	1,92E+15	12	1,18E+15	12	1,30E+15
$\rho_{CV30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	1,66E+15	$\rho_{CV30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	1,42E+15	$\rho_{CV30}$ [ $\Omega \cdot m$ ]	1,15E+15
$\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ]	2,262E+14	$\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ]	2,052E+14	$\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ]	2,15E+14
u	1,36E-01	u	1,45E-01	u	1,87E-01
u [%]	13,640	u [%]	14,485	u [%]	18,717

## Vzorky 5\_1

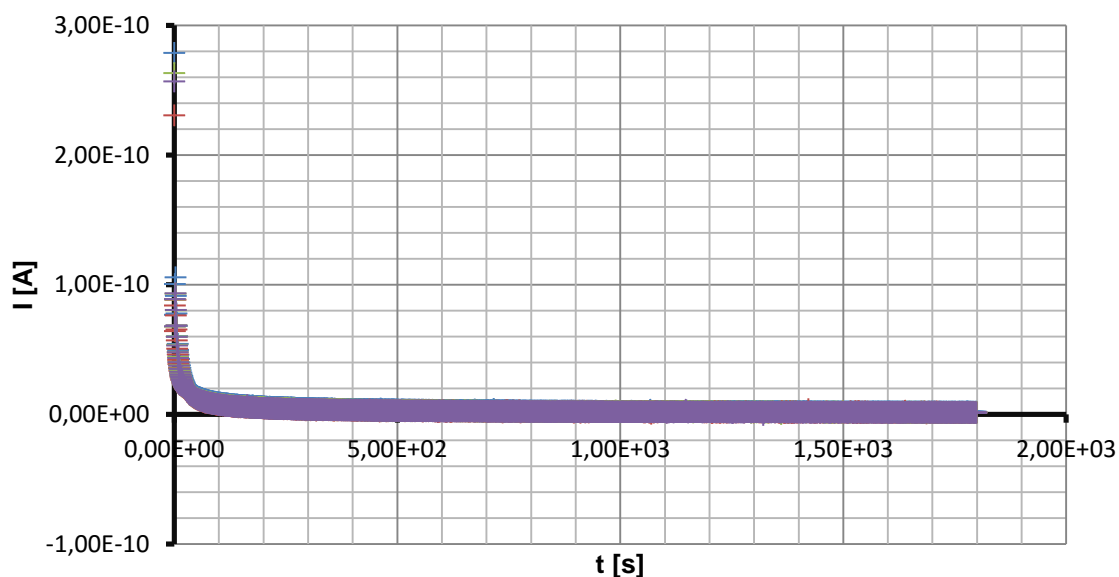
### Vzorek 5\_1\_1

Tab. 49 - Tloušťka vzorků

m	5_1_1-01	5_1_1-02	5_1_1-03	5_1_1-04
1	0,472	0,479	0,485	0,474
2	0,483	0,504	0,48	0,468
3	0,495	0,466	0,476	0,457
4	0,503	0,482	0,473	0,468
5	0,486	0,467	0,479	0,474
<b>d [mm]</b>	<b>0,4878</b>	<b>0,4796</b>	<b>0,4786</b>	<b>0,4682</b>
<b>d [cm]</b>	0,04878	0,04796	0,04786	0,04682
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,01057</b>	<b>0,01375</b>	<b>0,00403</b>	<b>0,00621</b>
<b>u [%]</b>	<b>2,16721</b>	<b>2,86680</b>	<b>0,84202</b>	<b>1,32629</b>

Tab. 50 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
1	1,63E-12	1,44E+17	1,44E+15
2	1,29E-12	1,85E+17	1,85E+15
3	1,35E-12	1,77E+17	1,77E+15
4	1,20E-12	2,04E+17	2,04E+15



+ 5\_1\_1-01 + 5\_1\_1-02 + 5\_1\_1-03 + 5\_1\_1-04

Graf 23 - Průběh absorpčních charakteristik

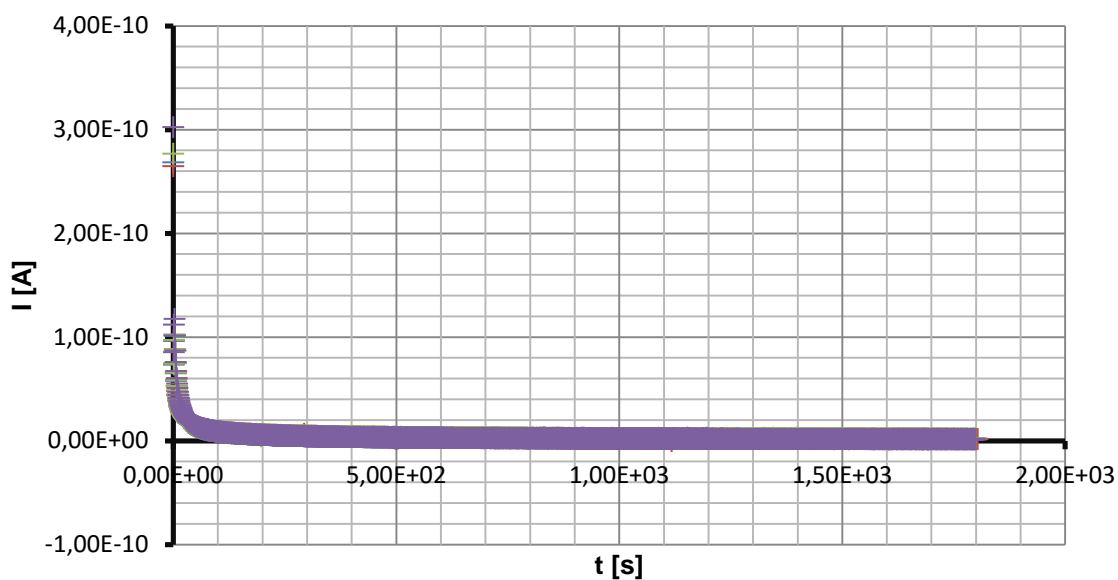
## Vzorek 5\_1\_2

Tab. 51 - Tloušťka vzorků

m	5_1_2-05	5_1_2-06	5_1_2-07	5_1_2-08
1	0,487	0,467	0,484	0,48
2	0,471	0,46	0,474	0,485
3	0,466	0,47	0,477	0,469
4	0,465	0,487	0,477	0,474
5	0,475	0,483	0,476	0,472
<b>d [mm]</b>	<b>0,4728</b>	<b>0,4734</b>	<b>0,4776</b>	<b>0,4760</b>
<b>d [cm]</b>	0,04728	0,04734	0,04776	0,04760
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00796</b>	<b>0,01009</b>	<b>0,00338</b>	<b>0,00576</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,68357</b>	<b>2,13172</b>	<b>0,70819</b>	<b>1,21049</b>

Tab. 52 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
5	1,54E-12	1,57E+17	1,57E+15
6	1,61E-12	1,50E+17	1,50E+15
7	1,75E-12	1,37E+17	1,37E+15
8	1,35E-12	1,78E+17	1,78E+15



+ 5\_1\_2-05 + 5\_1\_2-06 + 5\_1\_2-07 + 5\_1\_2-08

Graf 24 - Průběh absorpčních charakteristik

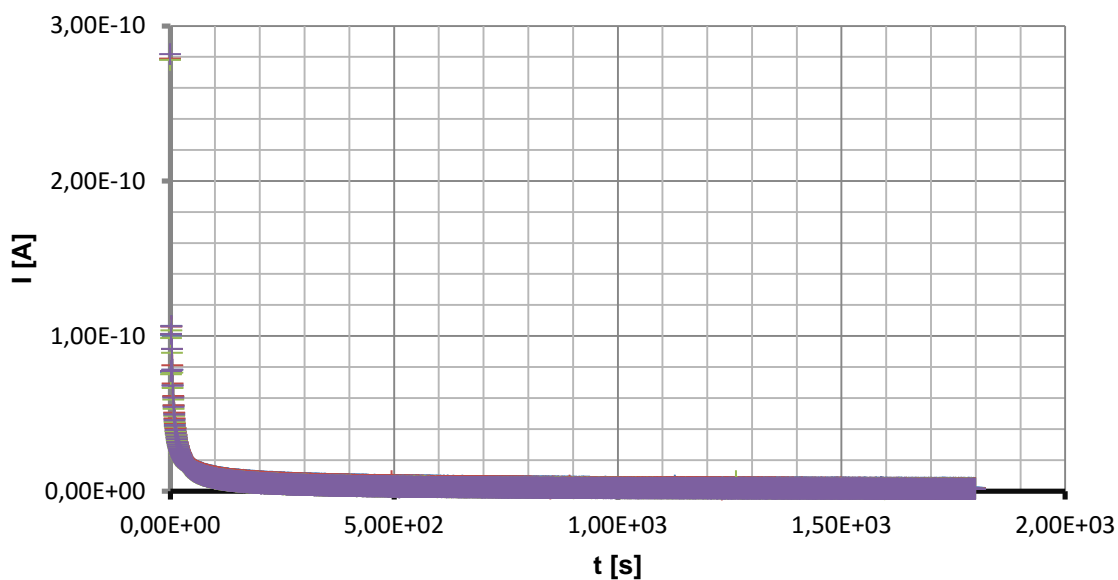
### Vzorek 5\_1\_3

Tab. 53 - Tloušťka vzorků

m	5_1_3-09	5_1_3-10	5_1_3-11	5_1_3-12
1	0,482	0,461	0,485	0,485
2	0,481	0,462	0,471	0,471
3	0,485	0,469	0,48	0,46
4	0,486	0,455	0,479	0,473
5	0,494	0,464	0,473	0,465
<b>d [mm]</b>	<b>0,4856</b>	<b>0,4622</b>	<b>0,4776</b>	<b>0,4708</b>
<b>d [cm]</b>	0,04856	0,04622	0,04776	0,04708
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00459</b>	<b>0,00453</b>	<b>0,00504</b>	<b>0,00845</b>
<b>u [%]</b>	<b>0,94459</b>	<b>0,98103</b>	<b>1,05607</b>	<b>1,79428</b>

Tab. 54 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
9	1,76E-12	1,34E+17	1,34E+15
10	1,69E-12	1,46E+17	1,46E+15
11	1,29E-12	1,85E+17	1,85E+15
12	1,27E-12	1,92E+17	1,92E+15



+ 5\_1\_3-09 + 5\_1\_3-10 + 5\_1\_3-11 + 5\_1\_3-12

Graf 25 - Průběh absorpčních charakteristik

## Vzorky 5\_2

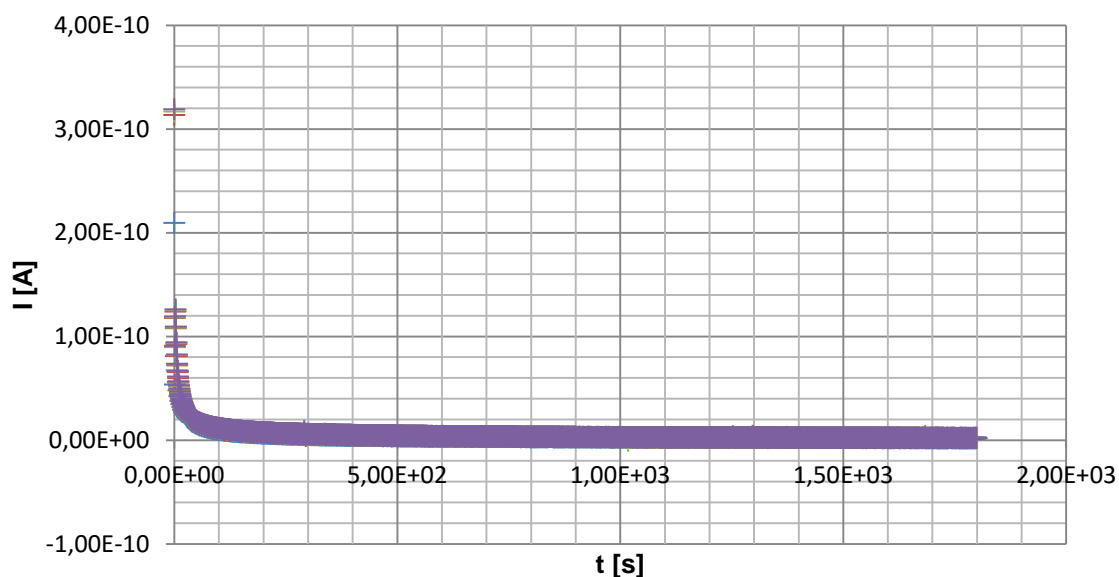
### Vzorek 5\_2\_1

Tab. 55 - Tloušťka vzorků

m	5_2_1-01	5_2_1-02	5_2_1-03	5_2_1-04
1	0,477	0,475	0,479	0,482
2	0,469	0,467	0,481	0,486
3	0,457	0,468	0,474	0,473
4	0,481	0,48	0,475	0,486
5	0,49	0,482	0,467	0,474
<b>d [mm]</b>	<b>0,4748</b>	<b>0,4744</b>	<b>0,4752</b>	<b>0,4802</b>
<b>d [cm]</b>	0,04748	0,04744	0,04752	0,04802
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,01118</b>	<b>0,00609</b>	<b>0,00483</b>	<b>0,00567</b>
<b>u [%]</b>	<b>2,35437</b>	<b>1,28289</b>	<b>1,01709</b>	<b>1,18096</b>

Tab. 56 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
1	1,68E-12	1,44E+17	1,44E+15
2	1,96E-12	1,23E+17	1,23E+15
3	1,97E-12	1,22E+17	1,22E+15
4	2,03E-12	1,17E+17	1,17E+15



+ 5\_2\_1-01 + 5\_2\_1-02 + 5\_2\_1-03 + 5\_2\_1-04

Graf 26 - Průběh absorpčních charakteristik

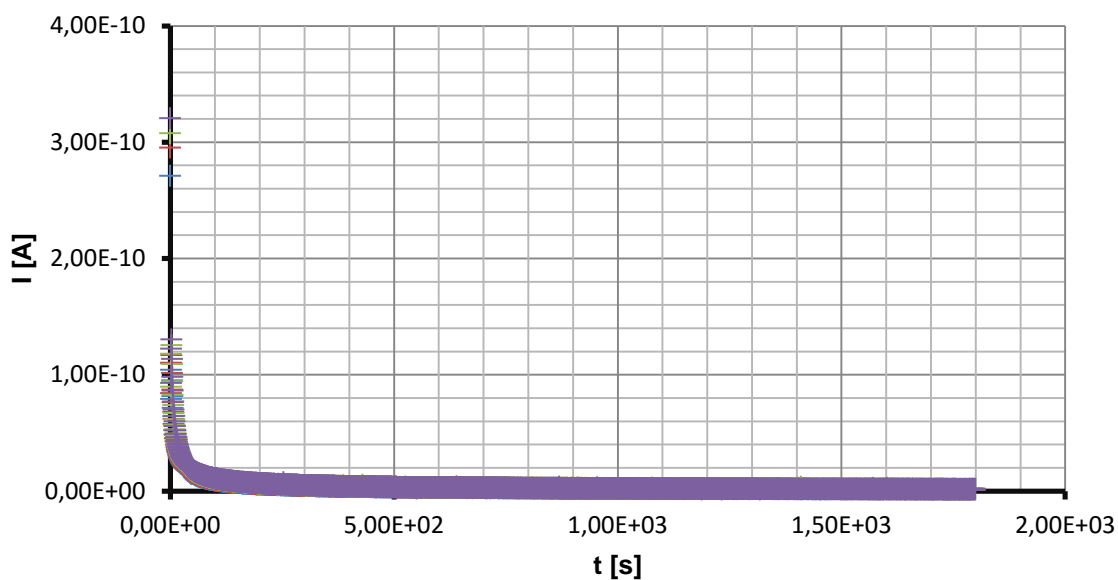
## Vzorek 5\_2\_2

Tab. 57 - Tloušťka vzorků

m	5_2_2-05	5_2_2-06	5_2_2-07	5_2_2-08
1	0,477	0,483	0,502	0,483
2	0,475	0,461	0,494	0,487
3	0,492	0,472	0,486	0,479
4	0,484	0,475	0,488	0,493
5	0,48	0,467	0,487	0,483
<b>d [mm]</b>	<b>0,4816</b>	<b>0,4716</b>	<b>0,4914</b>	<b>0,4850</b>
<b>d [cm]</b>	0,04816	0,04716	0,04914	0,04850
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00602</b>	<b>0,00742</b>	<b>0,00599</b>	<b>0,00473</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,24999</b>	<b>1,57313</b>	<b>1,21828</b>	<b>0,97585</b>

Tab. 58 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
5	1,37E-12	1,74E+17	1,74E+15
6	1,43E-12	1,69E+17	1,69E+15
7	1,58E-12	1,47E+17	1,47E+15
8	1,47E-12	1,60E+17	1,60E+15



+ 5\_2\_2-05 + 5\_2\_2-06 + 5\_2\_2-07 + 5\_2\_2-08

Graf 27 - Průběh absorpčních charakteristik

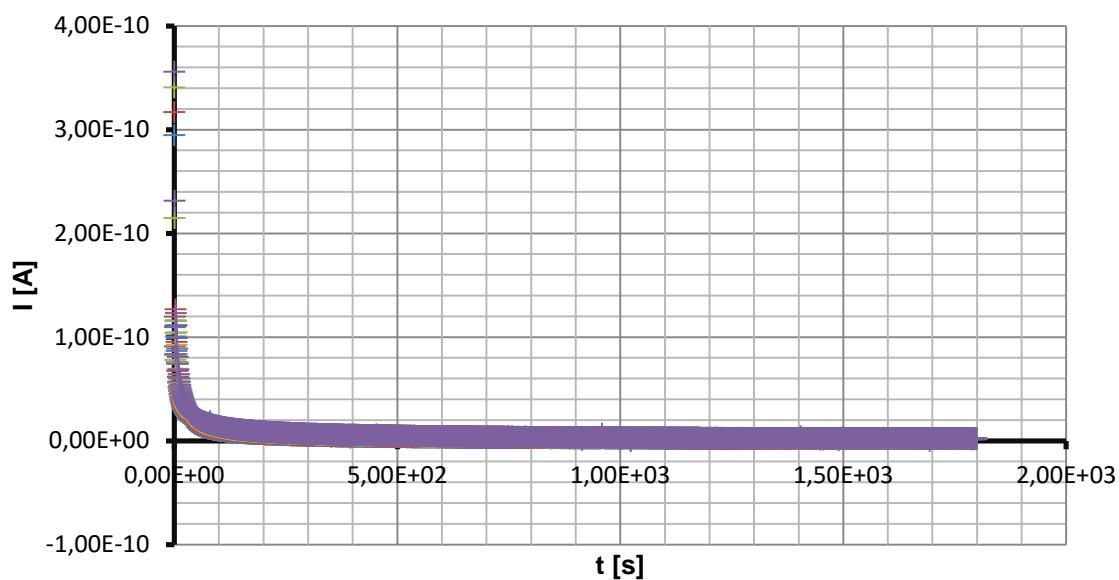
### Vzorek 5\_2\_3

Tab. 59 - Tloušťka vzorků

m	5_2_3-09	5_2_3-10	5_2_3-11	5_2_3-12
1	0,477	0,48	0,476	0,478
2	0,485	0,473	0,487	0,481
3	0,485	0,479	0,482	0,471
4	0,485	0,486	0,478	0,478
5	0,484	0,476	0,473	0,485
<b>d [mm]</b>	<b>0,4832</b>	<b>0,4788</b>	<b>0,4792</b>	<b>0,4786</b>
<b>d [cm]</b>	0,04832	0,04788	0,04792	0,04786
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00312</b>	<b>0,00435</b>	<b>0,00487</b>	<b>0,00459</b>
<b>u [%]</b>	<b>0,64654</b>	<b>0,90942</b>	<b>1,01720</b>	<b>0,95841</b>

Tab. 60 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
9	1,46E-12	1,63E+17	1,63E+15
10	1,66E-12	1,44E+17	1,44E+15
11	2,04E-12	1,17E+17	1,17E+15
12	2,02E-12	1,18E+17	1,18E+15



+ 5\_2\_3-09 + 5\_2\_3-10 + 5\_2\_3-11 + 5\_2\_3-12

Graf 28 - Průběh absorpčních charakteristik

## Vzorky 5\_3

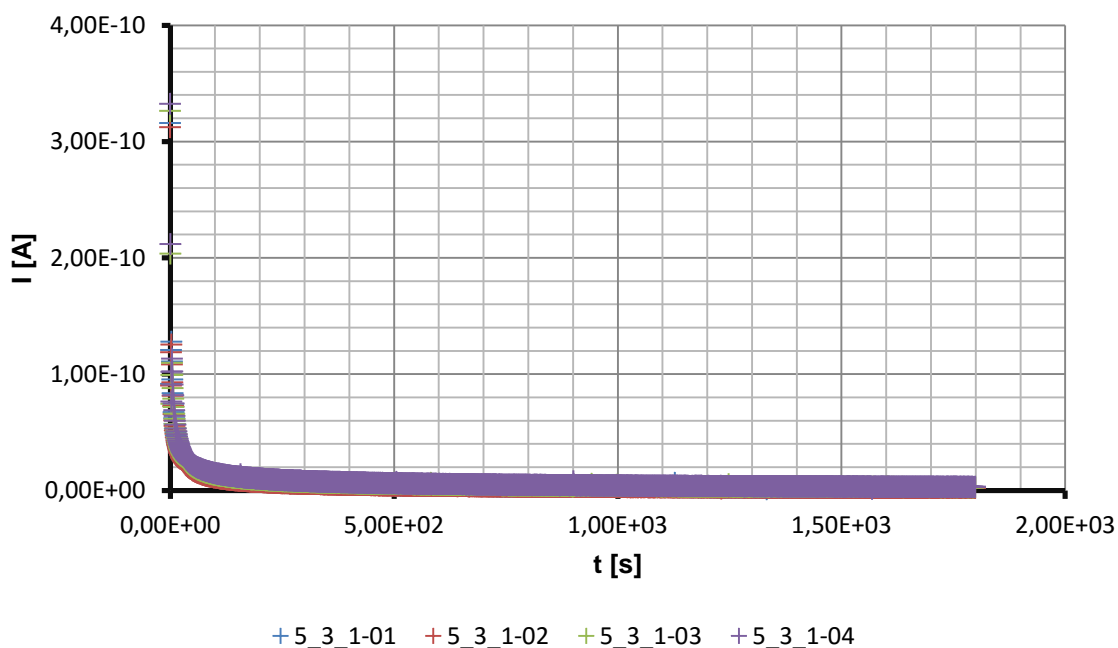
### Vzorek 5\_3\_1

Tab. 61 - Tloušťka vzorků

m	5_3_1-01	5_3_1-02	5_3_1-03	5_3_1-04
1	0,467	0,495	0,466	0,485
2	0,474	0,482	0,48	0,476
3	0,483	0,499	0,484	0,482
4	0,483	0,496	0,475	0,499
5	0,487	0,48	0,477	0,484
<b>d [mm]</b>	<b>0,4788</b>	<b>0,4904</b>	<b>0,4764</b>	<b>0,4852</b>
<b>d [cm]</b>	0,04788	0,04904	0,04764	0,04852
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00728</b>	<b>0,00781</b>	<b>0,00602</b>	<b>0,00757</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,51992</b>	<b>1,59315</b>	<b>1,26364</b>	<b>1,56093</b>

Tab. 62 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
1	2,11E-12	1,13E+17	1,13E+15
2	1,98E-12	1,18E+17	1,18E+15
3	2,67E-12	9,01E+16	9,01E+14
4	2,89E-12	8,18E+16	8,18E+14



Graf 29 - Průběh absorpčních charakteristik



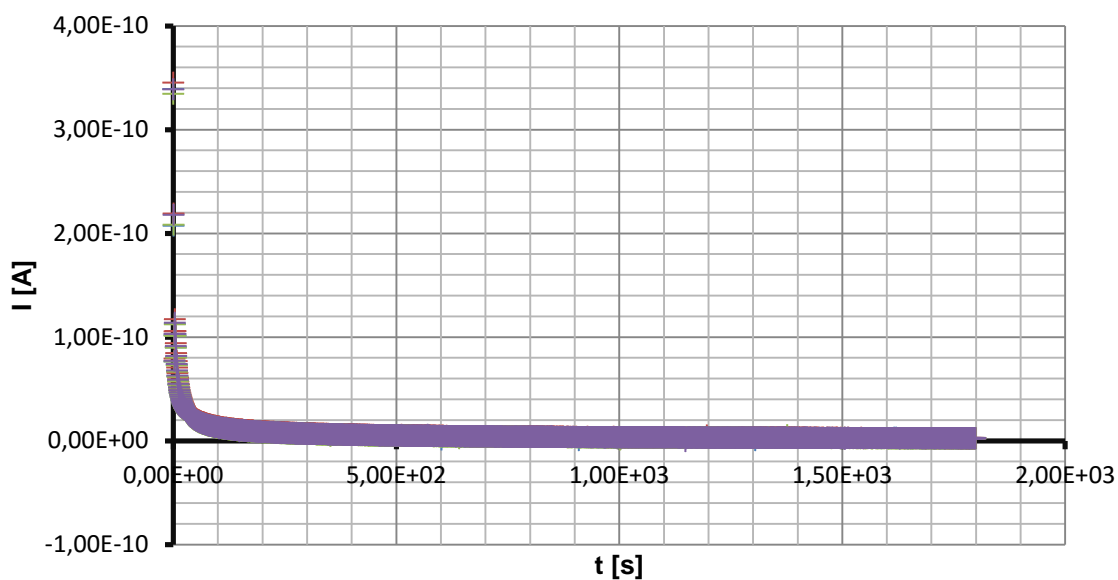
### Vzorek 5\_3\_2

Tab. 63 - Tloušťka vzorků

m	5_3_2-05	5_3_2-06	5_3_2-07	5_3_2-08
1	0,483	0,489	0,48	0,483
2	0,491	0,48	0,483	0,476
3	0,489	0,496	0,477	0,486
4	0,478	0,489	0,466	0,487
5	0,49	0,482	0,48	0,496
<b>d [mm]</b>	<b>0,4862</b>	<b>0,4872</b>	<b>0,4772</b>	<b>0,4856</b>
<b>d [cm]</b>	0,04862	0,04872	0,04772	0,04856
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,00496</b>	<b>0,00571</b>	<b>0,00591</b>	<b>0,00647</b>
<b>u [%]</b>	<b>1,01929</b>	<b>1,17121</b>	<b>1,23904</b>	<b>1,33204</b>

Tab. 64 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
5	2,21E-12	1,07E+17	1,07E+15
6	2,31E-12	1,02E+17	1,02E+15
7	2,18E-12	1,10E+17	1,10E+15
8	2,31E-12	1,02E+17	1,02E+15



+ 5\_3\_2-05 + 5\_3\_2-06 + 5\_3\_2-07 + 5\_3\_2-08

Graf 30 - Průběh absorpčních charakteristik

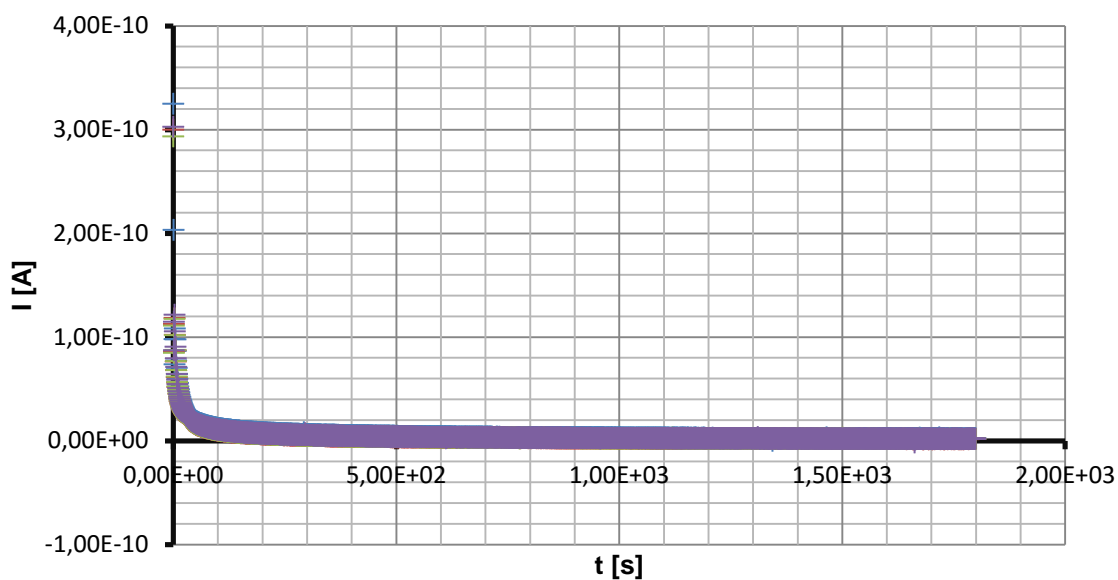
### Vzorek 5\_3\_3

Tab. 65 - Tloušťka vzorků

m	5_3_3-09	5_3_3-10	5_3_3-11	5_2_3-12
1	0,503	0,494	0,499	0,515
2	0,498	0,485	0,491	0,503
3	0,475	0,474	0,501	0,493
4	0,475	0,483	0,491	0,495
5	0,487	0,473	0,496	0,505
<b>d [mm]</b>	<b>0,4876</b>	<b>0,4818</b>	<b>0,4956</b>	<b>0,5022</b>
<b>d [cm]</b>	0,04876	0,04818	0,04956	0,05022
<b><math>\sigma</math> [mm]</b>	<b>0,01152</b>	<b>0,00773</b>	<b>0,00408</b>	<b>0,00786</b>
<b>u [%]</b>	<b>2,36197</b>	<b>1,60450</b>	<b>0,82309</b>	<b>1,56487</b>

Tab. 66 - Průměrné hodnoty proudu a vnitřní rezistivity

Vzorek	$I_{30}$ [A]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$\rho_{V30}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]
9	2,02E-12	1,16E+17	1,16E+15
10	1,49E-12	1,60E+17	1,60E+15
11	1,55E-12	1,49E+17	1,49E+15
12	1,75E-12	1,30E+17	1,30E+15



+ 5\_3\_3-09 + 5\_3\_3-10 + 5\_3\_3-11 + 5\_2\_3-12

Graf 31 - Průběh absorpčních charakteristik