

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Analýza síťování ethylen-vinyl acetátu používaného ve  
fotovoltaických panelech**

**vedoucí práce: doc. Ing. Radek Polanský, Ph.D.  
autor: Bc. Monika Bartůňková**

**2012**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Monika BARTŮŇKOVÁ**  
Osobní číslo: **E09N0004P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Analýza síťování ethylen-vinyl acetátu používaného ve fotovoltaických panelech**  
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Zpracujte tematiku výroby a provozu fotovoltaických panelů (základní principy využití solární energie, její výhody a nevýhody, dle možností popište také konstrukci a postup výroby solárních panelů).
2. Popište úlohu ethylen-vinyl acetátu (EVA) při výrobě fotovoltaického panelu (základní vlastnosti EVA materiálů, výhody a nevýhody jejich nasazení v tomto oboru).
3. Navrhněte diagnostický systém vhodný pro měření základních fyzikálních parametrů materiálů EVA používaných pro laminaci solárních panelů.
4. Po konzultaci s vedoucím práce prakticky realizujte na dodaných materiálech vybraná laboratorní měření.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

1. CZANDERNA, A.W.; PERN, F.J. Encapsulation of PV modules using ethylene vinyl acetate copolymer as a pottant: A critical review. Solar Energy Materials and Solar Cells. vol. 43, 1996.
2. AGROUIA, K., et al. Quality control of EVA encapsulant in photovoltaic module process and outdoor exposure. Desalination. vol. 209, 2007.
3. Elektronické informační zdroje (databáze SCIENCE DIRECT, Interscience-Wiley apod.)

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

Datum zadání diplomové práce: 18. října 2010  
Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2012

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



  
Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Abstrakt**

Cílem diplomové práce je optimalizace procesu síťování ethylen-vinyl acetátové folie, používané pro zapouzdření ve fotovoltaických panelech. U vzorků vystavených rozdílným síťovacími teplotám a tlakům byly nejprve porovnány teplotní závislosti proudu, permitivity a ztrátového činitele (v teplotním rozmezí 21 - 170 °C). Dále byla aplikována diferenční skenovací kalorimetrie. Určení optimálních podmínek síťování bylo založeno na proměřených absorpčních proudů a následném dopočítání polarizačních indexů (minutového i desetiminutového) a vnitřní rezistivity. Výsledky experimentu prokázaly, že u dodaného materiálu je možné síťovat při teplotě 135 °C (oproti výrobcem udávané hodnotě 150 °C), což je ekonomicky výhodnější.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaika, ethylen-vinyl acetát (EVA), zapouzdřovací materiál, síťování, absorpční charakteristika, rezistivita, polarizační index.

## **Abstract**

The target of the master thesis is focused on process optimization of an ethylene-vinyl acetate encapsulant used in photovoltaic panels crosslinking. The delivered samples previously exposed to different crosslinking temperatures and pressures were first put to the tests of temperature dependence (in temperature range 21- 170°C). Then these samples were analyzed by differential scanning calorimetry. The optimal conditions determination of crosslinking was based on the measurement of absorption characteristics and calculation of polarization indexes (1 min and 10 min) and specific volume resistance afterwards. The results of the experiment revealed that it is possible to modify condition for crosslinking (lower the temperature from 150°C provided by the manufacturer to 135°C) and make it less economically demanding.

## **Key words**

Photovoltaic, ethylene-vinyl acetate (EVA), encapsulant, crosslinking, absorption characteristic, resistivity, polarization index.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala 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.

V Plzni dne 7. 5. 2012

Monika Bartůňková

.....

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Radkovi Polanskému, Ph.D. za získání společnosti, která poskytla materiálovou podporu pro tuto práci, za cenné profesionální rady a vyčerpávající korekturu. Dále bych ráda poděkovala Ing. Martině Pinkerové, která proměřila významnou část vzorků.

## Seznam použitých symbolů a zkratk

|                     |                        |   |
|---------------------|------------------------|---|
| $T_g$               | [°C]                   | teplota skelného přechodu                       |
| $tg \delta$         | [-]                    | ztrátový činitel                                |
| $\epsilon_r$        | [-]                    | relativní permitivita                           |
| $\epsilon''$        | [-]                    | imaginární část komplexní relativní permitivity |
| $A$                 | [m <sup>2</sup> ]      | aktivní plochy elektrod                         |
| $C_0$               | [pF]                   | mezielektroková kapacita daného uspořádání      |
| $\epsilon_0$        | [F · m <sup>-1</sup> ] | permitivita vakua                               |
| $p_{i1}$            | [-]                    | minutový polarizační index                      |
| $p_{i10}$           | [-]                    | desetiminutový polarizační index                |
| $R_{i15}, R_{i16}$  | [Ω]                    | izolační odpor v 15. a 60. sekundě              |
| $R_{i60}, R_{i600}$ | [Ω]                    | izolační odpor v 60. a 600. sekundě             |
| $R_v$               | [Ω]                    | vnitřní odpor                                   |
| $\rho_v$            | [Ω · m]                | vnitřní rezistivita                             |

|     |                                   |
|-----|-----------------------------------|
| EVA | Ethylen-vinyl acetát              |
| DSC | Diferenční skenovací kalorimetrie |
| DMA | Dynamická mechanická analýza      |
| TGA | Termogravimetrická analýza        |



# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>OBSAH</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>ÚVOD</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>1 SOLÁRNÍ ENERGIE</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>1.2 ROZDĚLENÍ SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ</b> .....   | <b>12</b> |
| 1.2.1 První generace článků .....   | 12        |
| 1.2.2 Druhá generace článků (thin film) .....   | 12        |
| 1.2.3 Třetí generace článků .....   | 13        |
| <b>1.3 POSTUP VÝROBY PV PANELŮ</b> .....  | <b>14</b> |
| 1.3.1 Výroba solárních článků .....   | 14        |
| 1.3.2 Konstrukce PV panelů .....  | 15        |
| <b>2 MATERIÁL EVA (ETHYLEN-VINYL ACETÁT)</b> .....  | <b>19</b> |
| <b>2.1 EVA OBECNĚ</b> .....   | <b>19</b> |
| <b>2.2 POUŽITÍ PRO PV PANELE</b> .....  | <b>19</b> |
| <b>3 EXPERIMENT</b> .....   | <b>21</b> |
| <b>3.1 CÍLE EXPERIMENTU</b> .....   | <b>21</b> |
| <b>3.1 POPIS MATERIÁLU</b> .....  | <b>21</b> |
| <b>3.2 PŘÍPRAVA VZORKŮ</b> .....  | <b>22</b> |
| <b>3.3 DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM</b> .....  | <b>23</b> |
| 3.3.1 Orientační měření.....  | 23        |
| 3.3.1.1 Teplotní závislost proudu .....   | 23        |
| 3.3.1.2 Teplotní závislost ztrátového činitele $\tan \delta$ a permitivity $\epsilon$ ..... | 24        |
| 3.3.1.3 Diferenční skenovací kalorimetrie.....  | 25        |
| 3.3.2 Hlavní část experimentu: měření absorpčních proudů .....                              | 26        |
| <b>3.4 VYHODNOCENÍ DAT</b> .....  | <b>28</b> |
| 3.4.1 Orientační měření.....  | 28        |
| 3.4.1.1 Teplotní závislost proudu .....   | 28        |
| 3.4.1.2 Teplotní závislost $\tan \delta$ a $\epsilon$ .....                                 | 29        |
| 3.4.1.3 Diferenční skenovací analýza .....  | 31        |
| 3.4.2 Hlavní část experimentu: měření absorpčních proudů .....                              | 32        |
| <b>4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ</b> .....  | <b>37</b> |
| <b>ZÁVĚR</b> .....  | <b>37</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>                                 | <b>38</b> |
| <b>PŘÍLOHY .....</b>  | <b>41</b> |
| <b>PŘÍLOHA A - MATERIÁLOVÝ LIST.....</b>                        | <b>41</b> |
| <b>PŘÍLOHA B - TECHNICKÉ SPECIFIKACE PŘÍSTROJŮ .....</b>        | <b>45</b> |
| <b>PŘÍLOHA C - TABULKY NAMĚŘENÝCH A VYPOČTENÝCH HODNOT.....</b> | <b>45</b> |

## Úvod

Zájem o obnovitelné zdroje energie stoupá každým rokem. Obnovitelné zdroje nabízejí řešení problémů jako je omezené množství fosilních paliv nebo globální oteplování způsobené produkcí oxidu uhličitého.

Tato práce je zaměřena na sluneční energii, která jako jediná z obnovitelných zdrojů nabízí možnost přímé přeměny na energii elektrickou pomocí solárních článků.

Než mohou být sluneční paprsky přeměněny na elektrickou energii pomocí solárních článků, prochází vrstvou ochranného skla a laminovací ethylen-vinyl acetátové (EVA) folie. Obě tyto vrstvy mohou v důsledku ovlivňovat účinnost a životnost celého solárního panelu. S ohledem na organický původ EVA folie je velmi důležité sledovat její vlastnosti a to jak elektrické, tak strukturální. Hlavním cílem provedených experimentů byla optimalizace procesu síťování EVA folie, při kterém je materiál vystaven zvýšené teplotě a tlaku. V přípravné fázi experimentu byly jednotlivé vzorky (síťované při různých teplotách a tlacích) analyzovány pomocí diferenční skenovací kalorimetrie s cílem popsat samotný proces síťování. V hlavní části experimentu, byl zaznamenáván průběh absorpčního proudu u všech vzorků a následně dopočtena jejich vnitřní rezistivita a polarizační indexy. Žádaným výsledkem je nalezení optimálních (ekonomicky méně nákladných) parametrů u materiálu vystaveného rozdílným podmínkám při síťování než jsou doporučené výrobcem.

## 1 Solární energie

Většina obnovitelných zdrojů má svůj původ v energii ze slunečního záření. Přímé využití slunečního záření k výrobě tepla nebo elektřiny má tedy největší potenciál (ve smyslu množství energie, které nám může poskytnout).

Přesto, že slunce je hlavním energetickým zdrojem pro naši planetu, jeho přímá energie pro výrobu elektřiny není zatím příliš využívána. Množství energie, které dnes získáváme z celkové energie slunečního záření, je z hlediska celkové produkce elektrické energie zanedbatelné (podíl fotovoltaiky na celkové produkci elektrické energie ve světě představuje cca 0,01 %).<sup>1</sup> [1,2]

Na Slunci probíhají již několik miliard let termonukleární reakce. Těmito reakcemi se za uvolnění velkého množství energie přeměňuje sluneční vodík (který obnovován není) na helium. Ze Slunce je energie předávána na Zemi ve formě záření. Energetický příkon ze Slunce ve vzdálenosti, v níž se nachází Země, je dán sluneční konstantou<sup>2</sup> udávanou v rozmezí  $1\,353\text{ W/m}^2$  -  $1\,367\text{ W/m}^2$ . Tolik energie dopadne na horní hranici atmosféry. Tato energie ze slunečního záření je zeslabena při průchodu atmosférou, částečně rozptýlena, částečně odražena a pohlcena. Na zemský povrch pak dopadá přibližně  $500 - 1000\text{ W/m}^2$ . [3, 4, 13]

Nespornými přednostmi je nekonečnost (z pohledu historické doby člověka na Zemi) a plošná dostupnost zdroje fotovoltaické elektřiny. Fotovoltaické (dále jen PV<sup>3</sup>) panely při provozu neprodukují škodlivé odpady a nijak neovlivňují tepelnou rovnováhu Země. Významnou výhodou je i to, že PV panely je možné instalovat v městské zástavbě (na rozdíl od vodních či větrných elektráren).

Nevýhodou solární energie je časová proměnlivost, tedy nutnost použití dalšího zdroje při nedostatečném slunečním svitu, nízká účinnost a vysoká pořizovací cena. Neměli bychom, ale také zapomínat, že veškeré použité články bude nutno po 20 až 30 letech provozu likvidovat. Vzniká tím obtížně ekologicky likvidovatelný odpad spojený se spotřebou energie na zpracování tohoto odpadu. [2]

---

<sup>1</sup> pozn.: Existují i výjimky, kde na ostrově Samsø (Dánský ostrov) vyrábí více energie, než spotřebují, přičemž 100 % této energie pochází z obnovitelných zdrojů. Přesto Samsø není zcela energeticky soběstačný, protože jsou okamžiky, kdy je spotřeba vyšší než výroba. [7]

<sup>2</sup> celkový zářivý tok Slunce dopadající kolmo na plochu 1 čtverečního metru za 1 sekundu. [4]

<sup>3</sup> Z angl. „photovoltaic“

Technologie likvidace vysloužilých PV článků se stále vyvíjí. Některé ze společností nabízí i výrobu recyklovaných modulů, např. u termické recyklace nepoškozených panelů lze vytěžit až 85 % článků pro nové použití. [5, 6]

Vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům byla v České republice elektřina z obnovitelných zdrojů státem podporována (jako ve většině vyspělých zemí) garantovanými výhodnými výkupními cenami nebo formou tzv. zelených bonusů. Výše státní podpory měla dramatický vliv na rozvoj fotovoltaiky. Díky nevhodnému nastavení výkupních cen (v letech 2009 a 2010) převládají na našem území velké pozemní instalace. A přesto, že stop-stav instalací byl oficiálně ukončen, není prakticky možné připojit novou fotovoltaickou elektrárnu k distribuční soustavě (s výjimkou Prahy). Fotovoltaika je opakovaně používána jako odstrašující příklad nezvládnutí státní regulace podporovaného oboru. [7]

## 1.2 Rozdělení solárních článků

Fotovoltaický článek je základním prvkem systémů pro přeměnu slunečního záření na elektrickou energii. Ve všech případech se jedná o velkoplošnou polovodičovou součástku s jedním nebo i více PN přechody. Materiály pro výrobu solárních článků lze kategorizovat do několika skupin.

**1.2.1 První generace článků** jsou založeny na křemíkových substrátech. Křemík je hojně zastoupen v zemské kůře, v přírodě se nejčastěji nachází ve formě křemene nebo oxidu křemičitého. Pro použití v PV panelech rozlišujeme dva druhy křemíku: monokrystalický a polykrystalický, přičemž platí, že polykrystalický křemík má obecně nižší účinnost než monokrystalický. (podrobněji kapitola 2.3.)

**1.2.2 Druhá generace článků (thin film)** - důvodem vývoje těchto článků byla snaha o snížení výrobních nákladů nahrazením krystalického křemíku. Tyto články jsou tvořeny podložkou ze skla, plastu nebo textilie, na kterou je nanášena tenká polovodičová vrstva (thin film). Zatímco články první generace jsou vyráběny výhradně na bázi křemíku, pro tenkovrstvé materiály je možné použít amorfni či mikrokrystalický křemík (ukázka rozdílnosti struktur monokrystalu a amorfniho křemíku je na obrázcích *Obr. 1.1* a *Obr. 1.2*) nebo řadu jiných materiálů (silicon-germanium, či silicon-karbid<sup>4</sup>, ale také tzv. směsné polovodiče z materiálů jako Cu, In, Ga, S, Se, označované obecně jako CIS struktury). Účinnost článků je nižší než u článků první generace (cca 8 až 10%), je tedy potřeba větší

---

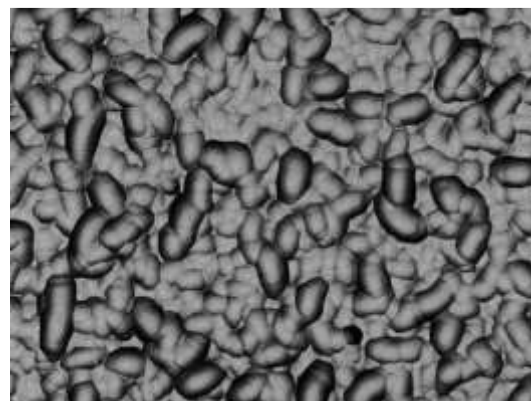
<sup>4</sup> Silicon-karbid (SiC) – sloučenina uhlíku a křemíku, používá se jako polovodič či např. díky své tvrdosti i jako náhražka diamantu [8]

instalační plocha pro dosažení stejného výkonu, avšak výhodou zůstávají nižší výrobní náklady (až stokrát menší množství křemíku), tedy i nižší pořizovací cena. [9, 10, 11]

V současné době jsou komerčně dostupné amorfnní panely pružné a ohebné, podstatně tenčí a lehčí než krystalické články. Je možné je přímo integrovat na horní povrch pružného (povrchově upraveného) ocelového substrátu a do běžných polymerních hydroizolačních folií na bázi etylen-vinyl-acetátu. Nepotřebují žádnou vlastní nosnou konstrukci. Mohou se používat např. jako střešní krytina. [9, 11, 12]



Obr. 1.1 Struktura monokrystalického křemíku



Obr. 1.2 Struktura amorfnního křemíku

**1.2.3 Třetí generace článků** - solární články třetí generace představují revoluci ve fotovoltaice, jejich hlavním cílem je snížení výrobních nákladů a maximalizace účinnosti PV článků. Pojem třetí generace solárních článků je nutné považovat spíše za plán dalšího výzkumu. Jedná se o procesy pokoušející se o překročení Shockley-Queisserovy hranice<sup>5</sup> omezující účinnost fotovoltaické přeměny. [9, 11, 12]

Existuje řada směrů, kterým je v tomto výzkumu věnována pozornost [9]:

- tandemové tenkovrstvé články,
- organické články,
- články s vícenásobnými pásy, apod.

Jediným prakticky fungujícím systémem z třetí generace jsou tandemové články. Nejvýznamnějšími z rozvíjejících se směrů jsou zatím články vícevrstvé a organické. Vyšší účinnosti vícevrstevých článků je dosaženo pomocí více vrstev, z nichž každá využívá pouze

---

<sup>5</sup> Shockley-Queisserova hranice – hranice omezující účinnost PV přeměny. Podstatou omezení je předpoklad, že 1 foton vytváří 1 využitelný exciton o energii rovné zakázanému pásu a přebytečná energie se mění na teplo. [13]

část slunečního spektra a zbylé záření propouští do nižších vrstev. U článků organického typu, např. na bázi polymerů došlo k výraznému snížení výrobních nákladů, avšak jejich účinnost je zatím pouze 2 až 4% (v oblasti makromolekulární chemie vychází množství publikací zabývajících se účinností přeměny, viz článek [10]) a komerčně jsou zatím nedostupné.[9]

### 1.3 Postup výroby PV panelů

#### 1.3.1 Výroba solárních článků

V současné době jsou nejvíce rozšířeny PV panely z první generace na bázi polykrystalického nebo monokrystalického křemíku (více než 95% z celkového instalovaného výkonu [2]). Dále budou zmiňovány pouze PV panely z první generace.

Nejdůležitější složkou PV panelu je polovodič, v našem případě křemík. K výrobě křemíku požadované čistoty (pro PV panely nečistoty řádově  $10^{-6}$ ) se nejčastěji používají chemické metody. Mezi nejpoužívanější se řadí Siemensův postup<sup>6</sup>. Zpracování křemíku takovéto čistoty je značně nákladné a odvíjí se od něj přímo cena křemíku. Po zpracování křemíku na požadovanou čistotu se z tohoto polotovaru vyrábějí monokrystalické či polykrystalické ingoty. Pro výrobu **polykrystalického** ingotu je materiál roztaven a nalit do formy, kde definovanou rychlostí chladne. Polykrystalický křemík má nepatrně nižší účinnost a je levnější než křemík monokrystalický, doba návratnosti energie (označována EPT<sup>7</sup>) je udávána na 2,2 roky. **Monokrystal**, u kterého je laboratorně udávána účinnost až 24 % (běžně 14 - 16%) je vyráběn řízenou krystalizací z taveniny tzv. Czochralského proces<sup>8</sup>. Polykrystalické křemíkové ingoty se vyrábějí se čtvercovým průřezem, vhodným pro využití co největší možné plochy solárních článků. Kulaté monokrystalické ingoty se často ořezávají na průřez čtverce se zaoblenými rohy, aby byla lépe využita plocha solárních panelů. Vzniklé ingoty, ať už polykrystalické či monokrystalické, se příčně řežou na destičky o tloušťce kolem 200  $\mu\text{m}$  (tuto tloušťku se výrobci neustále snaží snižovat, kvůli úspoře materiálu, aktuálně je možné dosáhnout až 100  $\mu\text{m}$ ). [3]

---

<sup>6</sup> Siemensův postup - chemická rafinace křemíku - z křemíku je nejprve vyrobena těkavá sloučenina (trichlorsilan  $\text{HSiCl}_3$  nebo chlorid křemičitý  $\text{SiCl}_4$ ). Tato plynná sloučenina se potom vede přes vrstvu vysoce čistého křemíku o teplotě přes 1100 °C a přitom dochází k jejímu rozkladu. Vzniklý vysoce čistý křemík se ukládá v krystalické podobě na původní křemíkovou podložku. [14, 15]

<sup>7</sup> Z angl. „energy payback time“ - doba za kterou vyrobí systém tolik energie, kolik bylo zapotřebí k jeho výrobě.

<sup>8</sup> Czochralského proces - řízená krystalizace - při tomto postupu je do křemíkové taveniny ponořen zárodečný krystal vysoce čistého křemíku, který se za předem definované rychlosti otáčí a postupně je vytahován z taveniny. [3]

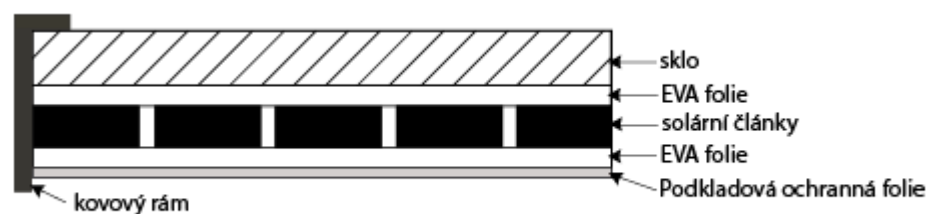
Takto vyrobené křemíkové destičky se dále zpracovávají leptáním, při kterém se vytvoří textura (dojde k vytvoření miniaturních pyramid snižujících odraz světla, tedy zvyšujících účinnost) a odstraní se jím poškození, která vznikla při řezání. Na přední straně destičky je těsně pod povrchem vytvořen PN přechod (difuzí příměsí donorů či akceptorů). Následně se provádí antireflexní úprava (vrstva nevodivého nitridu) pro další snížení odrazů a ochranu povrchu před mechanickým poškozením. Sítotiskem se vyrobí vodivý kontakt na přední i zadní straně. Článek se vypálí, aby došlo k vodivému spojení kontaktů s křemíkem. [2,3]

Poslední fází výroby je kontrola měřením a tříděním. Články zapojené do fotovoltaických panelů musí mít přibližně stejné vlastnosti. Při ověřování vlastností se články ozařují světlem odpovídajícím slunečnímu záření o intenzitě  $1000 \text{ W/m}^2$ . Výkon fotovoltaických článků se udává v jednotkách Wp (watt peak - špičková hodnota). Základním parametrem pro třídění je proud generovaný fotočlánkem při napětí 0,45 V. [3]

Jednotlivé články (rozměr cca 10 x 10 cm) generují velmi malé množství energie a proto jsou zapojovány do sério-paralelní kombinace, pro poskytnutí žádaného stejnosměrného napětí a výkonu. Maximální výkon záleží především na velikosti celkové plochy PV panelu, na osvětlení a na úhlu dopadajícího světla. [3]

### 1.3.2 Konstrukce PV panelů

Protože jsou PV články velmi křehké, je nutné jejich zakomponování do konstrukce, jejíž řez je uveden na obrázku (*Obr. 1.3*). První vrstvou je ochranné kalené sklo (odolné vůči povětrnostním podmínkám i optickým degradacím). Další vrstvou tvoří EVA folie. Poté jsou umístěny propojené PV články, následuje opět EVA folie a podkladová ochranná folie ve spodní části panelu (někteří výrobci uvádějí např. materiál DuPont™ Tedlar® vyrobený z polyvinyl fluoridu - PVF). Celá sestava je pomocí tepelné laminace EVA folií zatavena a následně zarámována a zatmelena do hliníkového rámu.



*Obr. 1.3 Průřez PV panelem*



Panel musí zajistit hermetické zapouzdření solárních článků, dostatečnou mechanickou a klimatickou odolnost. Přední krycí materiály musí zajišťovat dostatečnou propustnost světla. Konstrukce solárních panelů jsou značně rozmanité dle druhu použití. Pro názornost připojuji postup výroby PV panelů i s fotografiemi, které byly získány přímo z výroby PV panelů.

### Postup kompletace:

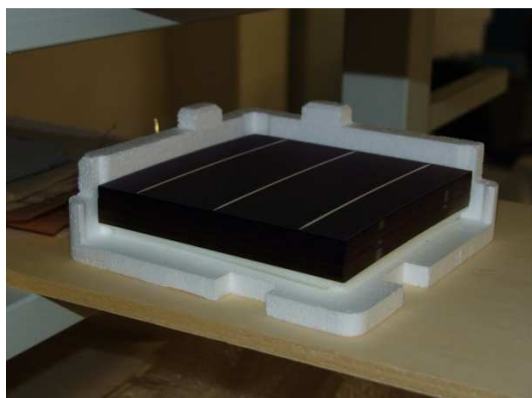
Začneme celkovým pohledem na automatickou výrobní linku (Obr. 1.4). Na obrázku (Obr. 1.5) je vidět posuvný stůl, na němž je již připraveno ochranné sklo a EVA folie. Křemíkové destičky jsou dodány po kompletních úpravách v ochranném obalu a je možné je rovnou použít (Obr. 1.6). V automatickém stroji (Obr. 1.7) jsou jednotlivé články propojeny do sério-paralelní kombinace. Dále na automatické lince dochází k poskládání jednotlivých spojených řad do konečného tvaru na připravené sklo s EVA folií (Obr. 1.8 - 1.11). Jednotlivé řady PV článků je potřeba následně ručně spojit a vyvést vývodní kontakty (Obr. 1.12). Na zadní stěnu se přidá podkladová ochranná folie (Obr. 1.13) a poté je celá sestava přesunuta do lisu (Obr. 1.14), kde se vyčerpá vzduch a za příslušného tlaku a teploty jsou vrstvy pomocí EVA folie laminovány. Obrázek (Obr. 1.15) ukazuje laminovaný panel před zarámováním. Na závěr se panely zarámují a zatmelí do hliníkových profilů (Obr. 1.16). Opatří se krabičkou s výstupními kontakty (Obr. 1.17).



Obr. 1.4 Celkový pohled na výrobní linku



Obr. 1.5 Posuvný stůl s ochranným sklem a EVA folií - připraveno pro uložení PV článků



*Obr. 1.6 Křemíkové články*



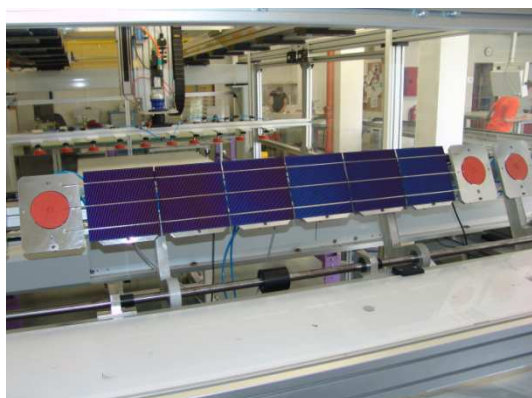
*Obr. 1.7 Pájecí automat*



*Obr. 1.8 Automatická linka - řada propojených PV článků*



*Obr. 1.9 Automatická linka – složení jednotlivých řad do konečného tvaru*



*Obr. 1.10 Automatická linka - složení jednotlivých řad do konečného tvaru*



*Obr. 1.11 Konec automatického procesu*



*Obr. 1.12 Ručně propojené řady PV článků s vyvedenými kontakty*



*Obr. 1.13 Přidání podkladové folie - připraveno k lisu*



*Obr. 1.14 Lis pro vakuovou laminaci*



*Obr. 1.15 Zalaminovaný PV panel*



*Obr. 1.16 Rámování do hliníkových profilů*



*Obr. 1.17 Připojení krabičky s výstupními kontakty*

## 2 Materiál EVA (ethylen-vinyl acetát)

### 2.1 EVA obecně

Jedná se o kopolymer ethylenu s vinylacetátem, vyrobený blokovou radikálovou vysokotlakou polymerací. Mechanické vlastnostmi EVA jsou podobné elastomerům, ale zpracovává se jako termoplast. Materiál je průhledný s vysokou pevností. Rozpouští se v ketonech<sup>9</sup> a aromatických i chlorovaných uhlovodících. Vlastnosti kopolymeru závisí převážně na obsahu vinylacetátové složky, čím větší je její podíl, tím více stoupá průtažnost a odolnost proti tvorbě trhlin pod napětím. Tvrdost a tvarová stálost naopak s větším obsahem vinylacetátové složky klesá, stejně jako se zhoršují elektrické parametry. Pro zvýšení tepelné odolnosti se EVA folie síťují.[16]

EVA má mnohostranné využití. Tento materiál je převážně používán pro opláštění kabelů<sup>10</sup> nebo jako modifikátor vlastností, především křehkých termoplastů (zvýšuje rázovou houževnatost). [16,17]

Pro použití ve fotovoltaice je velmi důležitá teplota skelného přechodu a teplota tavení materiálu. Podle těchto dvou hodnot máme možnost určit teplotní rozmezí použitelnosti celého PV panelu.

**Skelný přechod** - jedná se o teplotu přechodu materiálu z měkkého kaučukovitého stavu do stavu sklovitého. Při této teplotě dochází k velkým mechanickým i elektrickým změnám v materiálu, proto je znalost této teploty velmi důležitá. Teplota skelného přechodu ( $T_g$ ) se u EVA folií pohybuje v širokém teplotním rozmezí (-40 až 20 °C). Přesná teplota  $T_g$  závisí na obsahu vinylacetátu v materiálu.

### 2.2 Použití pro PV panely

Pro laminaci PV panelů se nejčastěji používá kopolymer EVA s 33% vinylacetátové složky. Skelný přechod materiálu s tímto poměrem vinylacetátové složky je dle metody DSC<sup>11</sup> udáván v teplotním rozmezí -37 až -33 °C. V PV panelech slouží EVA folie především jako mechanická podpora, vzhledem k tomu jsou důležitější parametry získané metodou

---

<sup>9</sup> Karbonylová sloučenina obsahující oxoskupinu C=O, kde na uhlíku jsou dva uhlovodíkové zbytky. Nižší ketony jsou kapaliny rozpustné ve vodě. Vyšší ketony jsou pevné látky ve vodě nerozpustné, často se zápachem. K nejznámějším ketonům patří např. propanon (aceton), metanal (při roztoku s vodou vzniká formalin) apod. [24]

<sup>10</sup> Pozn.: Při nižším obsahu vinylacetátu (cca 20%) se vlastnosti blíží měkčenému PVC a používá se i jako potravinová folie. [16,17]

<sup>11</sup> Z angl. „differential scanning calorimetry“

DMA<sup>12</sup>, kde je teplota  $T_g$  určena z maxima ztrátového činitele. Zde je udávaná teplota značně vyšší (v rozmezí -22 až -15 °C). [21, 22]

Materiál použitý pro zapouzdření PV panelů musí splňovat následující požadavky [21, 22, 23]:

- strukturální podpora,
- přilnavost (která přímo ovlivňuje případnou korozi) k různým materiálům panelu,
- přizpůsobivost různým teplotním roztažnostem materiálů,
- maximální optické spojení (počáteční propustnost slunečního záření nejméně 90% se ztrátou méně než 5% po 20 letech provozu - výhledově životnost 30 let),
- fyzická izolace solárních článků, ochrana před vnějšími vlivy životního prostředí (reaktivní prvky, sloučeniny, kroupy, ptáci),
- elektrická izolace,
- trvanlivý a snadno zpracovatelný materiál,
- chemická inertnost,
- vysoká odolnost vůči UV degradacím.

EVA folie tyto požadavky splňuje. Její hlavní výhodou je, že dokáže zajistit vynikající optické spojení při nízké pořizovací ceně, navíc její výroba je velmi jednoduchá. Nevýhodou jsou ne zcela ideální mechanické a tepelné vlastnosti, navlhavost a nutnost vakuové laminace. [21, 23, 24] V dřívějších letech se u EVA folie po několika letech provozu objevilo zežloutnutí způsobené kyselinou octovou vznikající při stárnutí materiálu (především za zvýšených teplot). [21, 24] Dnešní postupy však zajišťují životnost EVA folie 20 až 30 let, bez projevů této degradace. Otázkou zůstává, zda nedochází k jiným nepříznivým reakcím následkem pomalé produkce kyseliny octové. [21] Také osmiletá expozice slunečními paprsky v pouštním klimatu Alžírské Sahary prokázala nepatrné degradace, přestože hlavní parametry zůstaly nezměněny. [23]

Výzkum ukázal, že některé materiály, např. silikony [26], mohou výše uvedené parametry splňovat lépe. EVA folie je přesto nejčastěji používaným laminovacím materiálem především díky nízké ceně. O použití jiného materiálu by mělo být uvažováno především při umístění PV panelu v klimatech, kde se teplota běžně delší dobu pohybuje pod -15 °C. [21]

---

<sup>12</sup> Z angl. dynamic mechanical analysis

## 3 Experiment

### 3.1 Cíle experimentu

Cílem experimentu je optimalizace podmínek síťování. Tedy nalezení nejvhodnější kombinace teploty, tlaku a času síťování tak, aby byly dosaženy co nejlepší elektrické vlastnosti síťované EVA folie. Tato optimalizace může ve svém důsledku ušetřit výrobci PV panelů nejen čas, ale i peníze související s energetickou náročností procesu laminace.

Hlavní část experimentu byla zaměřena na měření absorpčních proudů a vyhodnocení všech důležitých parametrů s nimi souvisejícími (minutový polarizační index  $p_{i1}$ , desetiminutový polarizační index  $p_{i10}$  a vnitřní rezistivita  $\rho_v$ ). Díky těmto parametrům bylo možno vyvodit patřičné závěry a následně doporučit nové parametry síťování.

Hlavní částí předcházela série orientačních měření, která byla zařazena po konzultaci s vedoucím práce z důvodu nutnosti analyzovat samotný proces síťování a ověřit tak možnosti použití EVA folie v určitém teplotním rozsahu. Bylo také důležité zjistit rozdílné chování mezi síťovaným a nesíťovaným materiálem.

### 3.1 Popis materiálu

Měřeným materiálem byla tenká EVA folie s průměrnou tloušťkou cca 0,45 mm. Jednotlivé změřené tloušťky všech testovaných vzorků jsou uvedeny v příloze C (viz tabulky *Tab. 2 a 3*). Zkoušený materiál je označen výrobcem (Vista Solar, Inc.) jako rychle síťovatelný („Fast Cure“) s doporučenou teplotou síťování 150 °C. Je doporučeno udržovat tuto teplotu nejméně po dobu 3 - 5 minut v průběhu vakuace systému a dalších 10 - 15 minut v průběhu laminace panelu při kterém nastává samotné síťování folie. Výrobce dodává EVA folie jako nesíťovaný materiál v ochranné černé folii zabraňující osvětlení materiálu slunečním zářením. Spleení jednotlivých nesíťovaných vrstev EVA zabraňuje HDPE<sup>13</sup> folie vkládaná jako mezivrstva. Takto dodaný materiál je možné uskladnit při teplotě do 30 °C a do relativní vlhkosti vzduchu 50 - 60 % maximálně 6 měsíců od data výroby.

Ve výrobě PV panelů je poté provedeno síťování v hermeticky uzavřeném lisu za doporučeného tlaku a teploty. Dodané vzorky byly síťovány ve firmě zadávající téma této diplomové práce při různých tlacích (10 - 275 mBar) a teplotách (125 °C až do 145 °C). Parametry síťování dodaných vzorků jsou podrobněji uvedeny v tabulce níže (*Tab. 3.1*). U materiálu dodaného k experimentu bylo (pro účely experimentu, kterým se zabývá článek

---

<sup>13</sup> HDPE - vysokohustotní polyetylen [16]

[20]) pomocí termogravimetrie zjištěno, že obsahuje 25,5% vinylacetátové složky (při výpočtu byl vzat v úvahu i zbytek vzorku na konci měření). Hodnota skelného přechodu u síťovaného materiálu (měřeno metodou TMA) je -16,9 °C.

Tab. 3.1 Parametry síťování

| Číslo vzorku | Teplota [°C] | 950 mBar/s | 600 mBar/s | 300 mBar/s |
|--------------|--------------|------------|------------|------------|
| 1            | 125          | 155        | 60         | 10         |
| 2            |              | 185        | 90         | 30         |
| 3            |              | 215        | 120        | 70         |
| 4            |              | 245        | 150        | 100        |
| 5            |              | 275        | 180        | 130        |
| 6            | 130          | 155        | 60         | 10         |
| 7            |              | 185        | 90         | 30         |
| 8            |              | 215        | 120        | 70         |
| 9            |              | 245        | 150        | 100        |
| 10           |              | 275        | 180        | 130        |
| 11           | 135          | 155        | 60         | 10         |
| 12           |              | 185        | 90         | 30         |
| 13           |              | 215        | 120        | 70         |
| 14           |              | 245        | 150        | 100        |
| 15           |              | 275        | 180        | 130        |
| 16           | 140          | 155        | 60         | 10         |
| 17           |              | 185        | 90         | 30         |
| 18           |              | 215        | 120        | 70         |
| 19           |              | 245        | 150        | 100        |
| 20           |              | 275        | 180        | 130        |
| 21           | 150          | 155        | 60         | 10         |
| 22           |              | 185        | 90         | 30         |
| 23           |              | 215        | 120        | 70         |
| 24           |              | 245        | 150        | 100        |
| 25           |              | 275        | 180        | 130        |

### 3.2 Příprava vzorků

Z každého archu síťovaného za specifické teploty a specifického tlaku bylo vytvořeno deset vzorků o rozměru 10 x 10 cm. Zadávatelskou firmou bylo dodáno také několik archů nesíťované EVA folie. V některém případě bylo vytvořeno vzorků pouze devět z důvodu nekvalitního materiálu obsahujícího vzduchové bubliny. Z důvodu probíhajícího (samovolného) procesu síťování i při pokojové teplotě byl jako první jednotlivými měřícími

metodami proměřen nesíťovaný materiál. Poté byly postupně proměřeny i ostatní vzorky. Vlhkost vzorků nebyla stabilizována.

### 3.3 Diagnostický systém

V této kapitole jsou popsány všechny měřicí metody, které byly pro optimalizaci podmínek síťování EVA folie použity.

Nejprve byla provedena orientační měření pro ověření teplotní stability a charakterizaci procesu síťování nesíťované folie. Mezi orientační měření byla kromě fenomenologických zkoušek zařazena i diferenční skenovací kalorimetrie. Po orientačních měřeních následovala hlavní část experimentu, jehož náplní bylo proměření absorpčních proudů, z nichž byly následně dopočteny polarizační indexy (minutový i desetiminutový) a vnitřní rezistivita. Na základě vypočtených hodnot byla provedena optimalizace procesu síťování a navržena nejvhodnější kombinace síťovací teploty a tlaků.

#### 3.3.1 Orientační měření

##### 3.3.1.1 Teplotní závislost proudu

Pro proměření teplotní závislosti proudu byla dle normy ČSN IEC 93 („Metody měření vnitřní rezistivity a povrchové rezistivity tuhých elektroizolačních materiálů“) [27] a normy ČSN IEC 345 („Metody měření elektrického izolačního odporu a rezistivity elektroizolačních materiálů při zvýšených teplotách“) [28] zvolena voltampérová metoda. Jedná se o nejjednodušší metodu přímého záznamu procházejícího proudu.[29] Měření probíhalo za konstantního stejnosměrného napětí 500 V a v teplotním rozmezí od 24 °C do 170 °C, ohřev vzorku byl ručně regulován přes vyhřívaný elektrodový systém, viz obrázek (Obr. 3.2). Vyšší teploty nebylo možné použít díky výrazné deformaci (tečení) vzorků.



Obr. 3.1 Elektrometr Keithley Instruments 6514



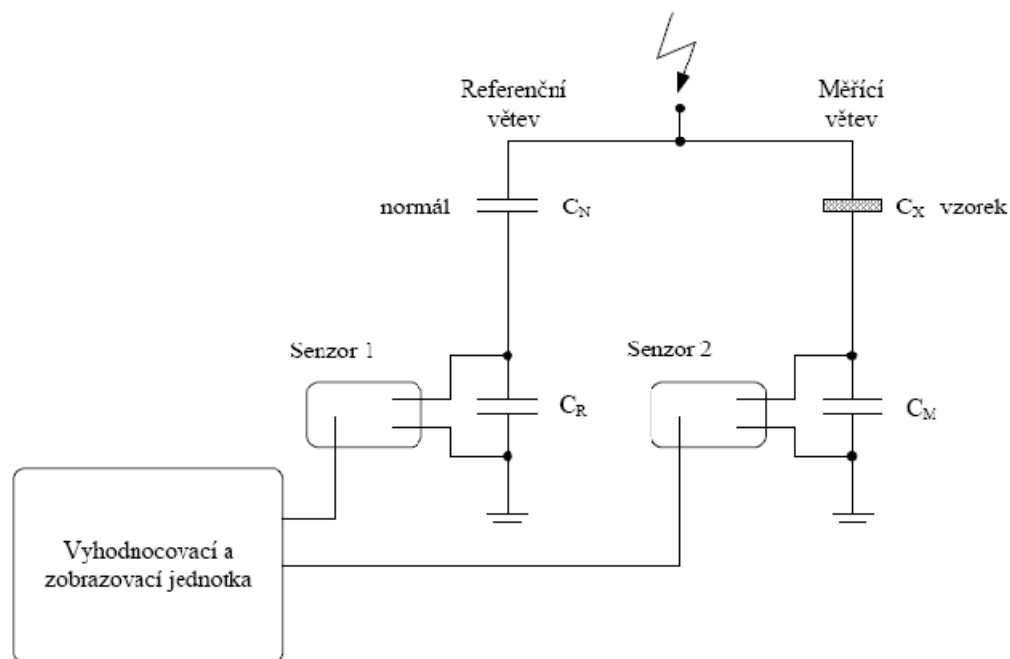
Obr. 3.2 Vyhřívavý elek. Systém TETTEX 2914



### 3.3.1.2 Teplotní závislost ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ a permitivity $\epsilon$

Ztrátový čísel<sup>14</sup> a permitivita<sup>15</sup> jsou frekvenčně, napěťově a teplotně závislé. Vzhledem k tématu diplomové práce, byla při orientačních měřeních proměřena pouze teplotní závislost těchto parametrů. Pro tento účel byl použit automatický můstek LDV-5, který pracuje na principu klasického Scheringova můstku, viz schéma zapojení na obrázku *Obr. 3.3* [29]

Měření probíhalo při konstantním střídavém napětí (500 V) a síťové frekvenci pro jeden nesíťovaný vzorek a jeden náhodně vybraný částečně síťovaný vzorek. Oba dva byly měřeny v teplotním rozmezí od 24 °C do 170 °C. Záznam veškerých signálů probíhal počítačem, následně byly dopočteny požadované hodnoty permitivity (její reálné i imaginární části). Na následujících obrázcích jsou zobrazeny fotografie z měření (*Obr. 3.4*, a *Obr. 3.5*).



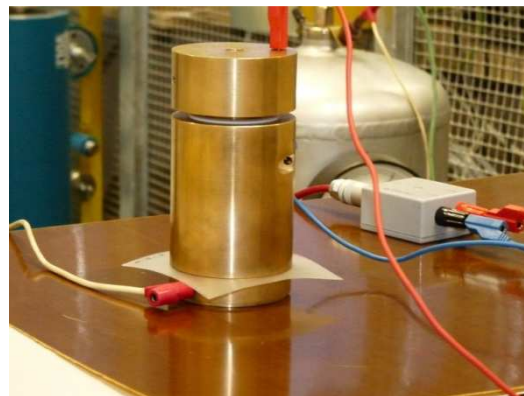
*Obr. 3.3 Schéma zapojení automatického můstku LDV-5 (převzato z [29])*

<sup>14</sup> Ztrátový čísel  $\text{tg } \delta$  - Při vložení dielektrika do střídavého pole se uplatňují vodivostní a hlavně polarizační ztráty, které se dají vyjádřit ztrátovým činitelem. Měření ztrátového činitele patří k nejběžněji používaným nedestruktivním metodám pro monitorování stavu materiálu. [18, 29]

<sup>15</sup> Permitivita  $\epsilon$  - Pro střídavá elektrická pole zavádíme pojem tzv. komplexní permitivita, která se skládá z reálné části, kterou představuje relativní permitivita ( $\epsilon_r$ ) a imaginární části neboli ztrátového čísla ( $\epsilon''$ ), které představuje míru ztrát v dielektriku v střídavém elektrickém poli. [18, 29]



Obr. 3.4 Vyhodnocovací jednotka LDV-5, vysokonapěťový napájecí systém - LM 30 a ovládací panel SM 4



Obr. 3.5 Detail elektrodového systému

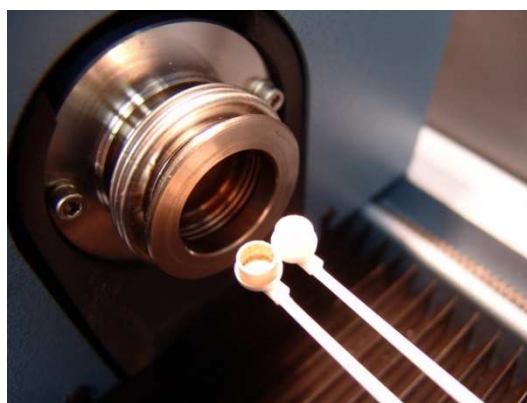
### 3.3.1.3 Diferenční skenovací kalorimetrie

Kromě fenomenologických měření byla zařazena i metoda strukturální, která se zabývá přímo ději ve struktuře materiálu. [30] Konkrétně proběhla ve spolupráci s Katedrou technologií a měření analýza síťovací reakce EVA folie pomocí diferenční skenovací kalorimetrie přístrojem TA Instruments SDT Q600. [20]

Jedná se o přístroj schopný měřit současně diferenční skenovací kalorimetrií (DSC) a termogravimetrií (TGA<sup>16</sup>) v průběhu jednoho ohřevu vzorku. Ohřev vzorku je možný až do teploty 1 500 °C. Pro účely této práce byl vyhodnocen pouze DSC signál. Na obrázku Obr. 3.4 a Obr. 3.5 jsou fotografie přístroje. Bližší technická specifikace přístroje je uvedena v příloze B (viz Tab. 1).



Obr. 3.4 TA Instruments SDT Q600



Obr. 3.5 Detail píčky a vahadel

Z dodaného materiálu byly vyseknuty malé vzorky (cca 10 mg), které byly v průběhu měření umístěny v hliníkových, hermeticky uzavřených kelímcích. Takto připravené vzorky

<sup>16</sup> Z angl. „termogravimetric analysis“

byly ohřívány rychlostí 20 °C/min od teploty okolí do teploty 280 °C. Zvolený teplotní režim zaručil úplné sesíťování (příp. dosíťování u částečně síťovaných vzorků). Analýzy byly provedeny v aktivní atmosféře proudícího dusíku (100 ml/min). Pro teplotní kalibraci a kalibraci tepelného toku byl použit safír a zinek. [20]

### 3.3.2 Hlavní část experimentu: měření absorpčních proudů

Dielektrická absorpce jsou složité nestacionární děje, které probíhají v reálném dielektriku po vložení do stejnosměrného pole. Díky pomalým polarizacím nebude nárůst napětí skokový. Absorpční proud je časově proměnný a s časem postupně klesá až k hodnotě tzv. prosakujícího proudu, jehož hodnota je následně použita pro výpočet vnitřní rezistivity. Průběh absorpčního proudu v čase není přesně exponenciální (tato situace by nastala pouze při jednom typu polarizace). Rychlost poklesu je dána strukturou a stavem dané látky, proto se z pohledu elektroizolačních materiálů jedná o vysoce vypovídající hodnoty. [18, 29] Pro účely této práce bude dopočtena vnitřní rezistivita a polarizační indexy (minutový i desetiminutový).

Definice základních pojmů souvisejících s měřením: [18, 27, 29]

*Vnitřní odpor* - Je poměr stejnosměrného napětí připojeného mezi dvě elektrody, které jsou umístěny na dvou protilehlých stranách zkušební tělesa a ustáleného proudu mezi elektrodami, vyjímaje proud po povrchu zkušební tělesa se zanedbáním polarizačních jevů v oblasti elektrod.

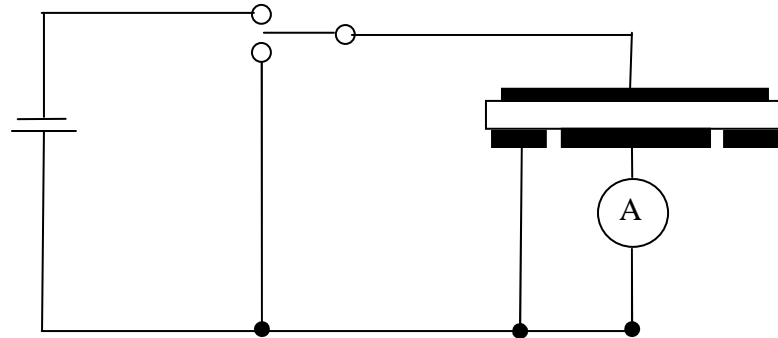
*Vnitřní rezistivita* - Je poměr intenzity stejnosměrného elektrického pole a hustoty ustáleného proudu uvnitř elektroizolačního materiálu. Je to vnitřní odpor redukováný na objemovou jednotku.

*Polarizační index* - popisuje stav materiálu pomocí časové proměnnosti absorpčních proudů.

Rozlišujeme *Minutový polarizační index*  $p_{i1}[-]$  (Poměr absorpčních proudů v patnácté a šedesáté sekundě od přiložení napětí na vzorek) a *Desetiminutový polarizační index*  $p_{i10}[-]$  (Poměr absorpčních proudů v první a desáté minutě). Čím je hodnota  $p_{i1}$  větší, tím menší je počet nosičů elektrického pole a jedná se o lepší elektroizolační materiál.

### Postup měření:

Pro účely měření byla opět zvolena voltampérová metoda, schéma zapojení je uvedeno na obrázku níže (Obr. 3.6). Dále je možné odpor měřit také metodou porovnávací např. Wheatstonův můstek či metodou kompenzační. [26, 28]



Obr. 3.6 VA metoda pro měření odporu izolantů (převzato z [29])

V prvních fázích experimentu byly nejprve vzorky z důvodu jejich uvedení do dielektricky stabilního stavu před měřením umístěny po dobu minimálně 24 hodin ve zkratovací knížce. Bohužel, vzhledem k velké přilnavosti materiálu k listům zkratovací knížky a jeho následnému nabití při odtržení folie bylo od tohoto postupu ustoupeno a vzorky byly měřeny bez kondicionace. Měření probíhalo při konstantním stejnosměrném napětí 500 V. Absorpční proud, jak již bylo řečeno, byl považován za ustálený po třicáté minutě. Na obrázcích níže je zobrazena měřicí aparatura, na které měření probíhalo.



Obr. 3.7 Elektrometr Keithley 6517



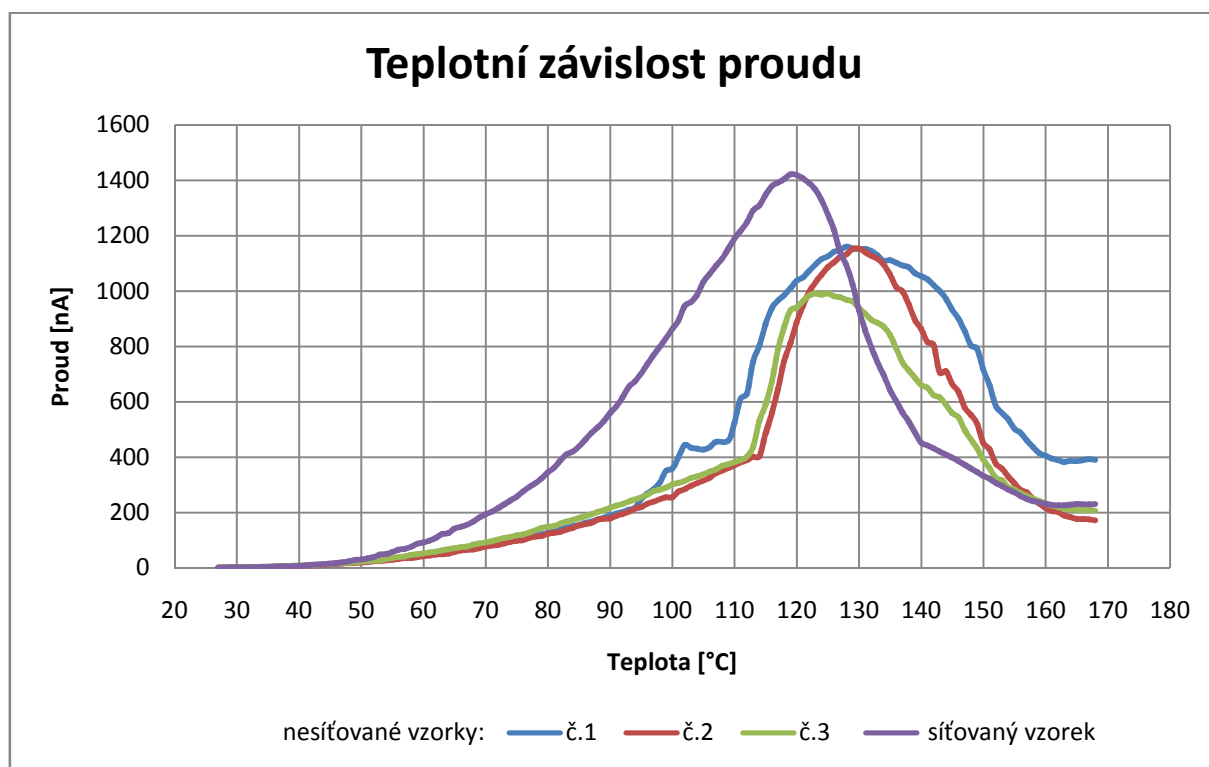
Obr. 3.8 Tříelektrodový systém Keithley 8008

### 3.4 Vyhodnocení dat

#### 3.4.1 Orientační měření

##### 3.4.1.1 Teplotní závislost proudu

Z níže uvedeného grafu (Obr. 3.9) je patrná rozdílnost mezi křivkou síťovaného materiálu a materiálu v nesíťovaném stavu. Pro účely této práce je pro nás zajímavější křivka nesíťovaného vzorku (měřen s četností 3), kde máme možnost vidět při zvyšující se teplotě proces síťování, projevují se zde dva druhy vodivosti. Mechanismus vodivosti se v materiálu výrazně mění v okolí teploty 120 °C, v tomto okamžiku nastává počátek procesu síťování. Síťovací reakce dosahuje svého maxima v okolí teploty 125 - 130 °C a končí při dosažení teploty 162 °C. Náhodně vybraný síťovaný vzorek vykazuje odlišné chování. V oblasti nárůstu proudu (tato oblast odpovídá s odkazem na výsledky DSC oblasti tavení EVA folie) mezi teplotou okolí a maximem reakce při teplotě v rozmezí 109 - 114 °C se mechanismus vodivosti nemění. Po dosažení maxima reakce hodnota proudu strmě klesá a v okolí teploty 140 °C nastává výrazná změna charakteru vodivosti.



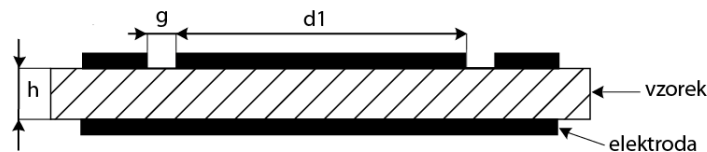
Obr. 3.9 Teplotní závislost proudu

### 3.4.1.2 Teplotní závislost $\text{tg } \delta$ a $\epsilon$

Ztrátový činitel ( $\text{tg } \delta$ ) byl získán přímo z vyhodnocovací jednotky automatického můstku. Relativní permitivita ( $\epsilon_r$ ) a imaginární část permitivity ( $\epsilon''$ ) byla dopočítána dle normy ČSN IEC 250 („Doporučené postupy ke stanovení permitivity a ztrátového činitele elektroizolačních materiálů při průmyslových, akustických a rozhlasových kmitočtech včetně metrových vlnových délek“) viz následující vztahy.

Výpočet parametrů elektrod:

Na následujícím obrázku je znázorněno označení elektrod dle normy [30], dle kterého je poté uskutečněn výpočet.



Obr. 3.10 Disková elektroda s ochranným prstencem  
(Zdroj: [31])

Parametry elektrodového systému byly dopočteny dle následujících vztahů:

$$g = 0,001 \text{ m} \quad h_{\text{sít}} = 0,6648 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$d_1 = 0,0495 \text{ m} \quad h_{\text{nesít}} = 0,5192 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Výpočet aktivní plochy elektrod:

$$A = \frac{\pi}{4} (d_1 + g)^2 = \frac{\pi}{4} (0,001 + 0,0495)^2 = 2,003 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (3.1)$$

Výpočet mezielektrodové kapacity:

$$C_0 = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{h} \quad (3.2)$$

$$\text{sítovaný: } C_0 = 0,267 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

$$\text{nesítovaný: } C_0 = 0,342 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

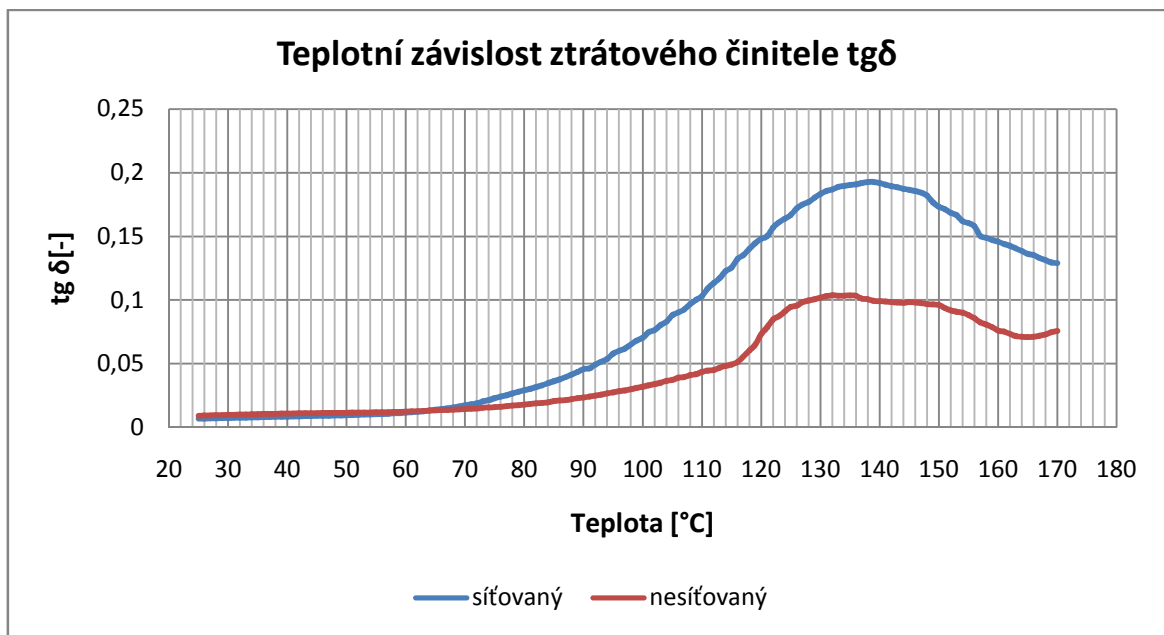
Výpočet požadovaných veličin:

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \quad (3.3)$$

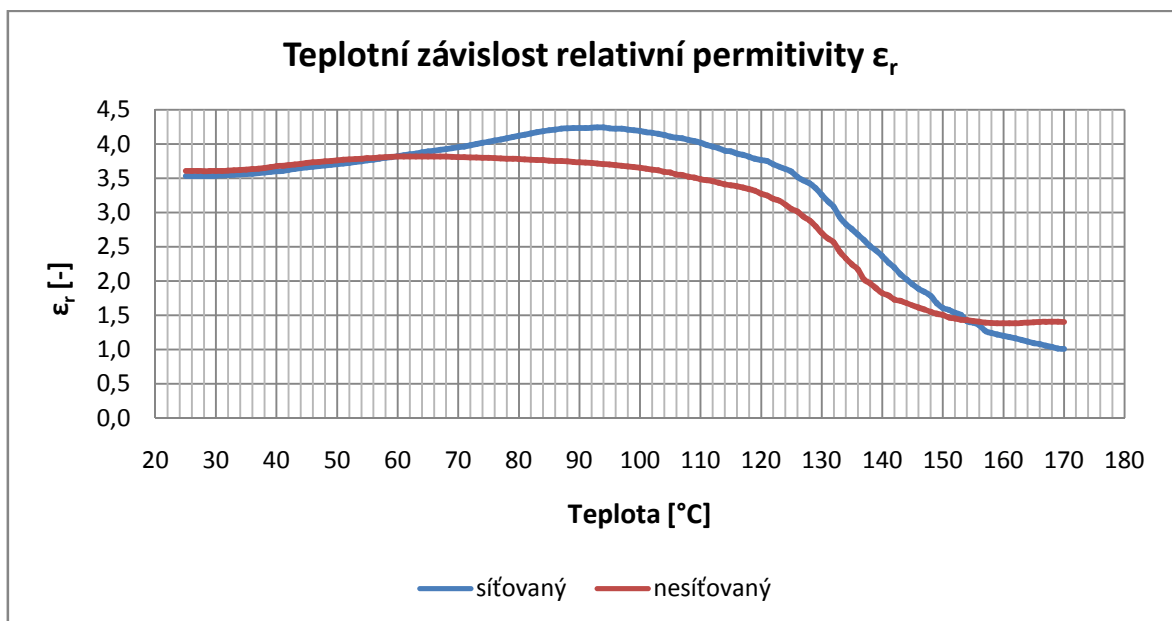
$C_x$  - získáno z automatického můstku

$$\epsilon'' = \text{tg } \delta \cdot \epsilon_r \quad (3.4)$$

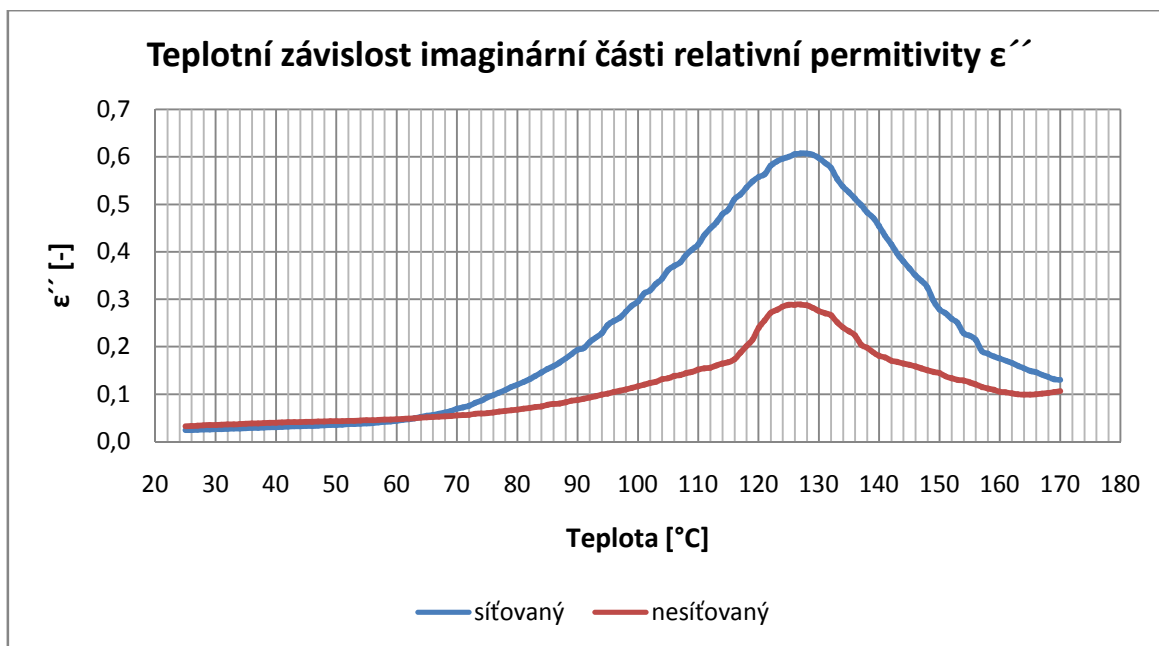
Všechny vypočtené hodnoty jsou uvedeny v příloze C (viz Tab. 6). Na následujících obrázcích jsou přiloženy grafy teplotních závislostí všech měřených veličin. Jak již bylo řečeno, u nesíťovaného vzorku se v průběhu síťování objevují dva mechanismy vodivosti. I z grafu teplotní závislosti ztrátového činitele (Obr. 3.11) máme možnost vyčíst počátek síťovací reakce (115 °C), maximum (131 °C) a konec (165 °C). U grafu teplotní závislosti relativní permitivity je počátek síťovací reakce při (116 °C), maximum (128 °C) a konec (162 °C). Vzorek nebylo možné po ohřevu opětovně použít, z toho důvodu jsou možné mírné odchylky zjištěných hodnot.



Obr. 3.11 Změřená teplotní závislost ztrátového činitele



Obr. 3.12 Změřená teplotní závislost relativní permitivity



Obr. 3. 13 Změřená teplotní závislost imaginární části relativní permitivity

Průběh reálné a imaginární části permitivity je úzce spojen se ztrátovým činitelem. Výsledné charakteristiky (Obr. 3.11, 3.12 a 3.13) vychází v souladu s odbornou literaturou. [28]

Obě aplikované metody (3.4.1.1 a 3.4.1.2) vykazují stejné výsledky. Je z nich patrný proces síťování i rozdílné chování síťovaného a nesíťovaného vzorku.

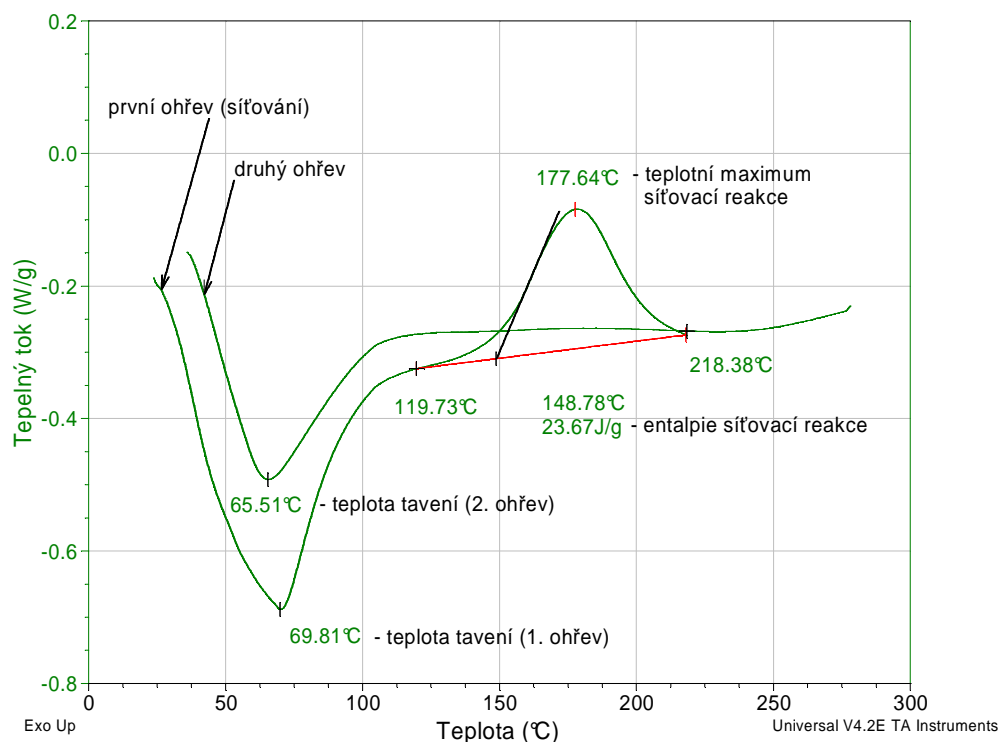
#### 3.4.1.3 Diferenční skenovací analýza

Termogram (Obr. 3.14) zobrazuje průběh tepelného toku v průběhu ohřevu vzorku EVA folie. V případě odklonu křivky pod základní linii termogramu probíhá ve vzorku endotermní chemická reakce [30], v našem případě se jedná o dosažení oblasti tavení folie. Pokud se křivka odkloní naopak nad základní linii, jedná se o exotermní reakci, v našem případě síťovací reakci.

Testovaný vzorek byl analyzován v tzv. režimu „reheatingu“, tj. opakovaným ohřevem. Jak je zřejmé z grafu (Obr. 3.14), testovaný materiál prochází při prvním ohřevu oblastí tavení začínající od teploty cca 45 - 50 °C s maximem této reakce (~lokálním minimem křivky) při teplotě 69,8 °C. Po jejím ustálení nastává rozsáhlá exotermní reakce odpovídající síťování vzorku [30]. Exotermní pík dosahuje svého maxima při teplotě 177,6 °C, následně reakce pozvolna odeznívá. Celková entalpie síťování je dle DSC 23,67 J/g. Při druhém ohřevu prochází již zcela síťovaný vzorek pouze oblastí tavení s maximem při teplotě 65,51 °C.



V průběhu tavení by se měly projevit dva druhy krystalizace - dva endotermní píky (dle [20] a [32]), odpovídající tavení nedokonalých, malých krystalitů, které jsou výsledkem začlenění vinylacetátu do struktury polyethylenu a tavení odpovídající větším a dokonaleji uspořádaným krystalitům polyethylenu. Na zaznamenaném termogramu se tyto dva píky překrývají a tudíž není možné jednoznačně separovat jejich maxima. To poukazuje na splynutí okamžiku tavení obou fází (vinylacetátové a polyetylenové) testovaného kopolymeru.



Obr. 3.14 Ukázka naměřených hodnot (DSC signál)

### 3.4.2 Hlavní část experimentu: měření absorpčních proudů

Jak již bylo řečeno, hlavní část experimentu byla věnována proměření absorpčních charakteristik, z nichž byla následně dopočtena vnitřní rezistivita a polarizační indexy (minutový i desetiminutový) pro všechny připravené vzorky. Z důvodu celkové časové náročnosti experimentu byl pro účely této práce absorpční proud považován za ustálený ve 30. minutě od přiložení napětí na vzorek (od zahájení polarizace). Výpočty jsou uskutečněny dle norem. [27,31]

**Výpočet polarizačních indexů:**

Minutový:

$$p_{i1} = \frac{R_{60}}{R_{15}} = \frac{i_{15}}{i_{60}} \quad (3.5)$$

$R_{15}$ ,  $R_{60}$  - jsou odpory v 15. a 60. sekundě od přiložení napětí [ $\Omega$ ]

$i_{15}$ ,  $i_{60}$  - jsou odpovídající absorpční proudy [A]

Desetiminutový:

$$p_{i10} = \frac{R_{600}}{R_{60}} = \frac{i_{60}}{i_{600}} \quad (3.6)$$

$R_{60}$ ,  $R_{600}$  - jsou odpory v 60. a 600. sekundě od přiložení napětí [ $\Omega$ ]

$i_{60}$ ,  $i_{600}$  - jsou odpovídající absorpční proudy [A]

**Výpočet vnitřní rezistivity:**Parametry elektrodového systému (využit stejný tvar elektrod viz *Obr. 3.10*):

$$g = 0,0035 \text{ m}$$

$$d_1 = 0,05 \text{ m}$$

Výpočet aktivní plochy elektrod:

$$A = \frac{\pi}{4}(d_1 + g)^2 = \frac{\pi}{4}(0,05 + 0,0035)^2 = 2,248 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (3.7)$$

Vnitřní rezistivita

$$\rho_V = \frac{R_V \cdot A}{h} \quad (3.8)$$

$R_V$  – vnitřní odpor

$A$  – aktivní plocha elektrod

$h$  – tloušťka vzorku

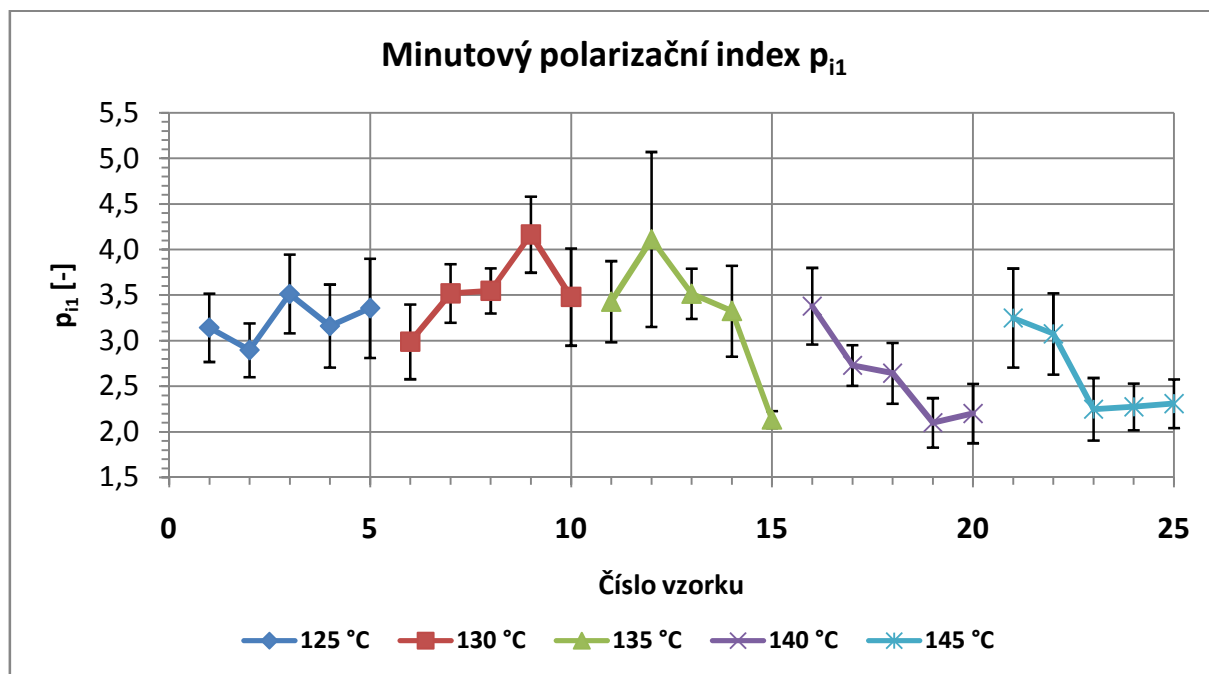
Pro přehlednost uvádím pouze výsledky průměrných hodnot společně se směrodatnou odchylkou, výsledky jednotlivých vzorků je možné najít v příloze C (*Tab. 7*).

Tab. 3.2 Výsledky měření hlavní části experimentu

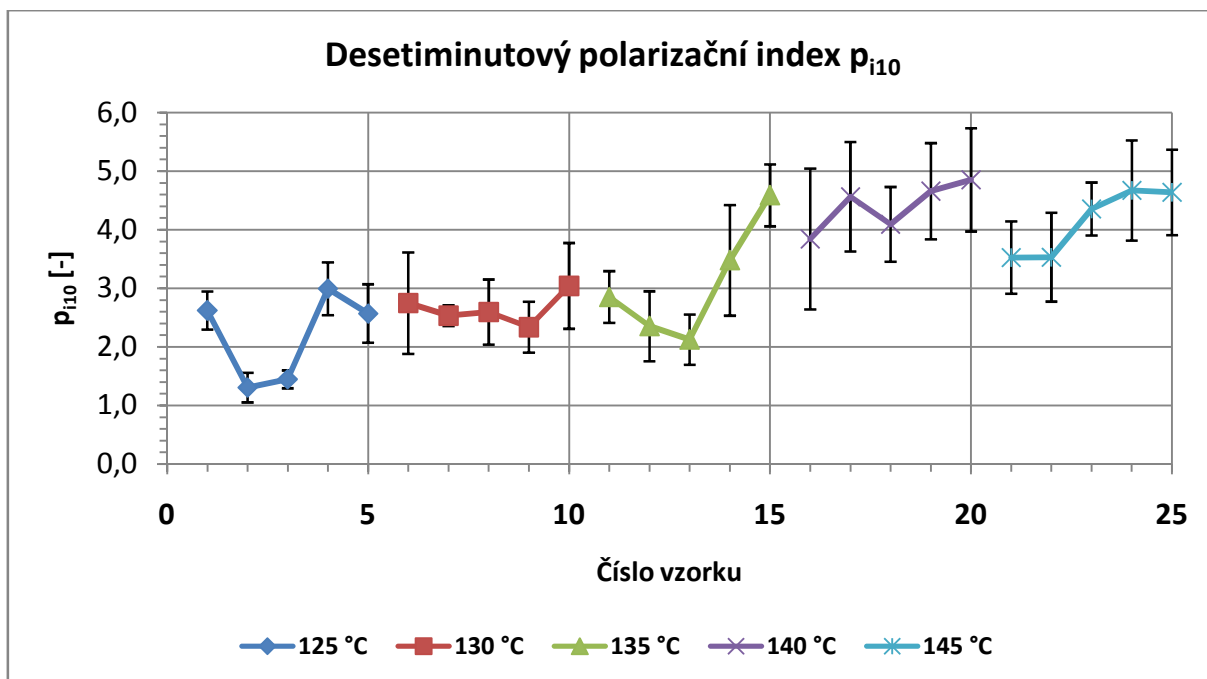
| Vzorek č. |          | $\pi 1$ [-]     | $\pi 10$ [-]    | $R_V$ [G $\Omega$ ]  | $\rho_V$ [M $\Omega$ m] |
|-----------|----------|-----------------|-----------------|----------------------|-------------------------|
| nesít.    |          | $1,68 \pm 0,12$ | $3,62 \pm 0,44$ | $2253,26 \pm 680,38$ | $11,82 \pm 3,24$        |
|           | V. koef. | 7,43            | 12,09           | 30,20                | 27,42                   |
| 1         |          | $3,14 \pm 0,38$ | $2,62 \pm 0,33$ | $3163,42 \pm 822,17$ | $15,39 \pm 3,97$        |
|           | V. koef. | 11,92           | 12,42           | 25,99                | 25,77                   |
| 2         |          | $2,90 \pm 0,30$ | $1,31 \pm 0,25$ | $923,16 \pm 290,35$  | $4,52 \pm 1,42$         |
|           | V. koef. | 10,18           | 19,38           | 31,45                | 31,36                   |

| Vzorek č. |          | $\rho_{i1}$ [-] | $\rho_{i10}$ [-]  | $R_v$ [G $\Omega$ ]   | $\rho_v$ [M $\Omega$ m] |
|-----------|----------|-----------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| 3         |          | $3,51 \pm 0,43$ | $1,45 \pm 0,15$   | $1065,05 \pm 317,96$  | $5,32 \pm 1,61$         |
|           | V. koef. | 12,30           | 10,58             | 29,84                 | 30,30                   |
| 4         |          | $3,16 \pm 0,46$ | $2,99 \pm 0,45$   | $2541,35 \pm 937,86$  | $12,51 \pm 4,54$        |
|           | V. koef. | 14,43           | 15,05             | 36,90                 | 36,34                   |
| 5         |          | $3,36 \pm 0,55$ | $2,57 \pm 0,50$   | $1911,18 \pm 417,97$  | $9,48 \pm 2,00$         |
|           | V. koef. | 16,24           | 19,42             | 21,87                 | 21,06                   |
| 6         |          | $2,99 \pm 0,41$ | $2,75 \pm 0,87$   | $3145,19 \pm 1747,75$ | $15,24 \pm 8,06$        |
|           | V. koef. | 13,73           | 31,50             | 55,57                 | 52,91                   |
| 7         |          | $3,52 \pm 0,32$ | $2,53 \pm 0,18$   | $2779,63 \pm 767,90$  | $13,28 \pm 3,37$        |
|           | V. koef. | 9,14            | 6,90              | 27,63                 | 25,34                   |
| 8         |          | $3,55 \pm 0,25$ | $2,596 \pm 0,555$ | $2790,31 \pm 909,60$  | $13,72 \pm 4,26$        |
|           | V. koef. | 6,99            | 21,38             | 32,60                 | 31,06                   |
| 9         |          | $4,16 \pm 0,42$ | $2,34 \pm 0,44$   | $3120,43 \pm 1376,99$ | $15,33 \pm 7,18$        |
|           | V. koef. | 10,02           | 18,63             | 44,13                 | 46,83                   |
| 10        |          | $3,48 \pm 0,53$ | $3,04 \pm 0,73$   | $3073,68 \pm 886,42$  | $15,21 \pm 4,26$        |
|           | V. koef. | 15,32           | 24,04             | 28,84                 | 28,01                   |
| 11        |          | $3,43 \pm 0,44$ | $2,85 \pm 0,44$   | $3020,13 \pm 783,06$  | $14,72 \pm 3,69$        |
|           | V. koef. | 12,97           | 15,43             | 25,93                 | 25,07                   |
| 12        |          | $4,11 \pm 0,96$ | $2,35 \pm 0,60$   | $3651,39 \pm 877,39$  | $17,00 \pm 3,95$        |
|           | V. koef. | 23,35           | 25,40             | 24,03                 | 23,23                   |
| 13        |          | $3,52 \pm 0,28$ | $2,12 \pm 0,43$   | $1984,29 \pm 1060,91$ | $9,89 \pm 5,30$         |
|           | V. koef. | 7,84            | 20,20             | 53,47                 | 53,54                   |
| 14        |          | $3,32 \pm 0,50$ | $3,48 \pm 0,94$   | $4325,30 \pm 1372,78$ | $20,88 \pm 6,38$        |
|           | V. koef. | 15,01           | 27,15             | 31,74                 | 30,55                   |
| 15        |          | $2,14 \pm 0,09$ | $4,59 \pm 0,53$   | $2825,59 \pm 1115,89$ | $14,68 \pm 5,75$        |
|           | V. koef. | 4,34            | 11,52             | 39,49                 | 39,18                   |
| 16        |          | $3,38 \pm 0,42$ | $3,84 \pm 1,20$   | $6560,31 \pm 3166,19$ | $30,81 \pm 14,45$       |
|           | V. koef. | 12,47           | 31,30             | 48,26                 | 46,90                   |
| 17        |          | $2,73 \pm 0,22$ | $4,57 \pm 0,94$   | $4065,54 \pm 1778,68$ | $20,07 \pm 8,12$        |
|           | V. koef. | 8,17            | 20,48             | 43,75                 | 40,43                   |
| 18        |          | $2,64 \pm 0,33$ | $4,09 \pm 0,64$   | $2828,81 \pm 931,12$  | $14,13 \pm 4,67$        |
|           | V. koef. | 12,65           | 15,59             | 32,92                 | 33,04                   |
| 19        |          | $2,10 \pm 0,27$ | $4,66 \pm 0,82$   | $3008,21 \pm 1242,14$ | $15,11 \pm 5,80$        |
|           | V. koef. | 12,90           | 17,61             | 41,29                 | 38,38                   |
| 20        |          | $2,20 \pm 0,33$ | $4,85 \pm 0,88$   | $3283,07 \pm 1811,49$ | $16,62 \pm 8,86$        |
|           | V. koef. | 14,78           | 18,15             | 55,18                 | 53,32                   |
| 21        |          | $3,25 \pm 0,54$ | $3,53 \pm 0,62$   | $3527,95 \pm 1113,43$ | $17,22 \pm 4,94$        |
|           | V. koef. | 16,75           | 17,52             | 31,56                 | 28,71                   |
| 22        |          | $3,08 \pm 0,45$ | $3,53 \pm 0,76$   | $2992,57 \pm 1597,73$ | $14,60 \pm 7,16$        |
|           | V. koef. | 14,49           | 21,43             | 53,39                 | 49,03                   |
| 23        |          | $2,25 \pm 0,34$ | $4,36 \pm 0,45$   | $2544,53 \pm 901,27$  | $12,79 \pm 4,39$        |
|           | V. koef. | 15,25           | 10,37             | 35,42                 | 34,30                   |
| 24        |          | $2,27 \pm 0,26$ | $4,67 \pm 0,86$   | $3172,82 \pm 1597,67$ | $15,74 \pm 7,70$        |
|           | V. koef. | 11,27           | 18,30             | 50,36                 | 48,92                   |
| 25        |          | $2,31 \pm 0,27$ | $4,64 \pm 0,73$   | $3224,47 \pm 705,33$  | $16,27 \pm 3,51$        |
|           | V. koef. | 11,55           | 15,73             | 21,87                 | 21,56                   |

Názorněji můžeme výsledky porovnat v následujících grafech. Na obrázku (Obr. 3.15) jsou znázorněny vyhodnocené minutové polarizační indexy ( $p_{i1}$ ) se směrodatnou odchylkou měření. Za vyhovující polarizační index, značící suchý a neznečištěný materiál, je brána hodnota větší než jedna. Pokud bychom posuzovali materiál pouze podle hodnoty  $p_{i1}$  bylo by nejvhodnější volit materiál síťovaný při teplotě 130 °C nebo 135 °C (vzorky č. 9 a 12). V případě vzorku č. 12 je ovšem nutné vzít v úvahu velkou směrodatnou odchylku naměřené hodnoty. Následující graf (Obr. 3. 16) je věnován desetiminutovému polarizačnímu indexu ( $p_{i10}$ ), který se využívá hlavně při měření vinutí strojů či jeho částí. Obdobně jako u  $p_{i1}$  vyžadujeme co největší hodnoty. V tomto případě můžeme za nejvhodnější vzorky považovat vzorky č. 20,15, 17, 19, 24 a 25.

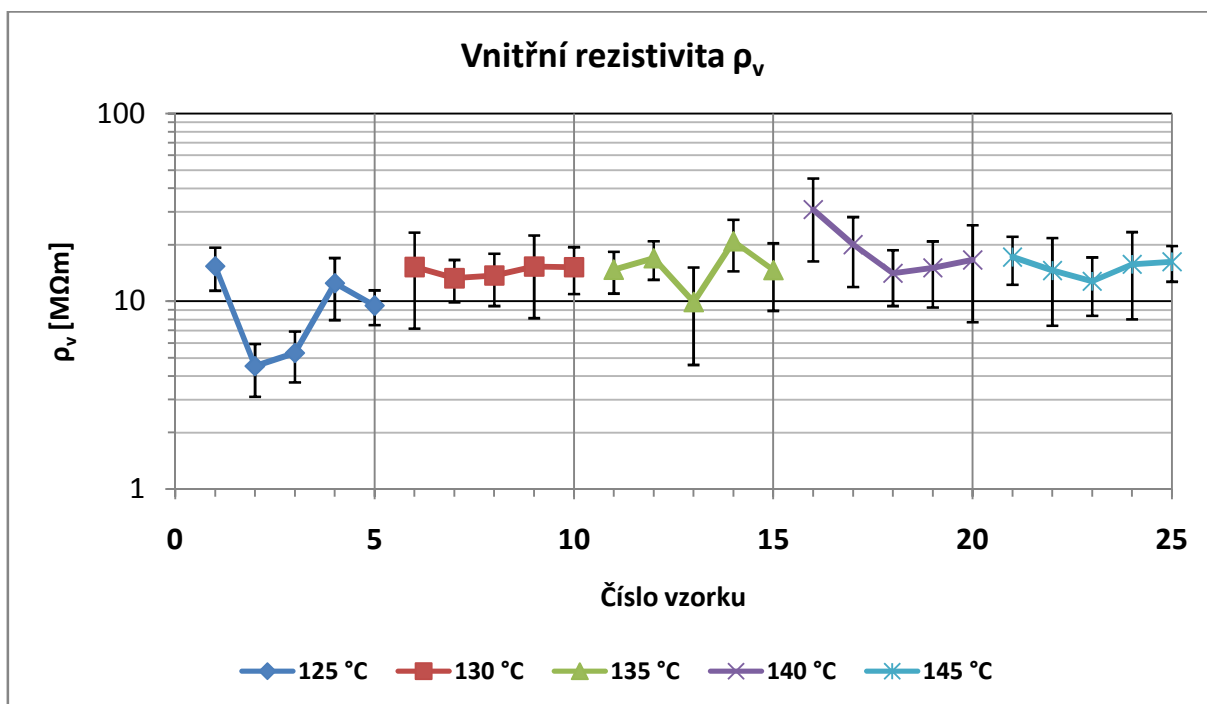


Obr. 3.15 Dopočtené minutové polarizační indexy



Obr. 3.16 Dopočtené desetiminutové polarizační indexy

Neméně důležitým parametrem pro zhodnocení stavu izolačního materiálu je vnitřní rezistivita  $\rho_v$ . Opět vyžadujeme hodnotu co největší (značící nenavlhlý a nepoškozený materiál). S probíhajícím stárnutím materiálu bude tato hodnota postupně klesat (především díky teplotě okolí). [18] Dle grafu (Obr. 3.17) nejlepším materiálem, z pohledu vnitřní rezistivity, je vzorek č. 16, případně č. 14 a 17.



Obr. 3.17 Dopočtené vnitřní rezistivity

## 4 Výsledky měření

Pro závěrečné zhodnocení experimentu není možné hodnotit dle jednotlivých parametrů, ale je potřeba nalézt jistý kompromis mezi minutovým/desetiminutovým polarizačním indexem, vnitřní rezistivitou a ekonomickou náročností síťování. Např. vzorek číslo 15 (síťovaný při teplotě 135 °C) má velmi dobrý desetiminutový polarizační index a vnitřní rezistivitu i ekonomická náročnost spojená především s ohřevem je přijatelná, bohužel jeho hodnota minutového polarizačního indexu je jedna z vůbec nejnižších dosažených hodnot. Pokud takto rozebereme všechny měřené vzorky, jeví se nejideálněji vzorky číslo 16, 17 a 14. Vzhledem k tomu, že první dva vzorky mají teplotu síťování 140 °C, vyhovuje pro naše účely nejvíce vzorek číslo 14 síťovaný při teplotě 135 °C.

Provedená měření ukázala rezervy v parametrech doporučených přímo výrobcem. Dle předchozích výsledků máme možnost jiné (ekonomicky méně nákladné) výroby. Nejlepším kompromisem mezi důležitými parametry vychází vzorek číslo 14. Bližší specifikace parametrů síťování viz tabulka *Tab. 3.1*. Úspora nákladů na výrobu PV panelů je tedy možná.

PV panely lze laminovat vhodnějšími materiály, ale použití EVA folie vychází prozatím nejekonomičtěji a proto si udržuje dominantní podíl v oblasti fotovoltaiky.

## Závěr

V této práci byla představena fotovoltaika jako jeden z obnovitelných zdrojů elektrické energie. Byla také přiblížena výroba PV článků i kompletace celých PV panelů a byly uvedeny některé z úskalí, které jsou s fotovoltaikou spojeny.

Hlavním cílem bylo vyhodnocení experimentu, zabývajícího se optimalizací síťování EVA folie, která představuje z pohledu případných degradací značné riziko. Komplikací u tohoto materiálu je relativně vysoká teplota skelného přechodu zamezující použití při teplotách překračujících -16,9 °C. S čímž je spojena větší křehkost materiálu a tedy i menší odolnost celého PV panelu. Dalším teplotním omezením je teplota tavení, která u síťovaného materiálu nastává již při 65 °C. Při použití ve fotovoltaice může být tato hodnota lehce překročena a u nakloněných panelů může mimo teplotních degračních účinků dojít i k „stečení“ materiálu do spodní části PV panelu. PV panely s EVA folií by se tedy neměli používat mimo teplotní rozmezí (-16,9 až 65 °C).

Přesto, že EVA má nesporné zápory, provedená měření ukázala ekonomičtější možnost výroby, než je doporučena výrobcem. Nejlepším kompromisem mezi důležitými parametry vychází teplota síťování 135 °C, přesněji vzorek číslo 14.

## Použitá literatura

- [1] PATEL, MUKUND, R.: *Wind and solar Power Systems*, CRC Press, 2006.
- [2] Kolektiv autorů: *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*. Praha, 2007 Dostupné z WWW:  
<[www.cez.cz/edee/content/file/o-spolecnosti/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf](http://www.cez.cz/edee/content/file/o-spolecnosti/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf)>.  
[cit. 2012-03-20]
- [3] POULEK, V.; LIBRA, M.: *Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů*. Elektro 3/2010, s. 6-9
- [4] JŮZA, P.: *Globální záření- kolik slunečního tepla dopadá na zemský povrch*. 2001, Dostupné z WWW:  
<<http://infomet.cz/index.php?id=read&idd=1293892370>> [cit. 2012-04-01]
- [5] APPELYARD, D.: *Recyklace PV materiálů*. Alternativní energie, 5/2009, s. 18-21.
- [6] BECHNÍK, B.: *Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti*. 2011, Dostupné z WWW:  
<<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>> [cit. 2012-04-01]
- [7] ZILVAR, J.: *Energetická soběstačnost: Samsø – 100 % energie z OZE, 2011* Dostupné z WWW:  
<<http://www.czrea.org/cs/evropska-unie-a-oze/energeticka-sobestactnost-samsoe>>  
[cit. 2012-04-01]
- [8] <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Karbid\\_křemíku](http://cs.wikipedia.org/wiki/Karbid_křemíku)> [cit. 2012-05-1]
- [9] FEJFAR, A.: *Fotovoltaika druhé a třetí generace*. Fyzikální ústav AV ČR, 2006, Dostupné z WWW:  
<<http://www.tzb-info.cz/3506-fotovoltaika-druhe-a-treti-generace>> [cit. 2012-04-28]
- [10] SHROTRIYA, V.; Li, G.; Yao, Y.: *Accurate Measurement and Characterization of Organic Solar Cells*, Advanced functional materials, 16 (2006) s. 2016–2023, Dostupné z WWW: <<http://organicsolar.com/papers/YY-PV-12-Vishal-Measurement-AFM-06.pdf>> [cit. 2012-04-28]
- [11] CENK, M.: *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: FCC Public, 2001.
- [12] <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>> [cit. 2012-05-1]
- [13] Bechník, B.: *Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, méně rozšířené technologie*. 2009. Dostupné z WWW:

- <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5517-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-mene-rozsirene-technologie>> [cit. 2012-05-1]
- [14] *Ražinace křemíku pro výrobu polovodičů*, Dostupné z WWW:  
<<http://www.prvky.com/14.html>> [cit. 2012-04-28]
- [15] <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Křemík>> [cit. 2012-04-28]
- [16] MLEZIVA, J.; ŠŇUPÁREK, J.: *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití.*, Sobotáles, 2000.
- [17] DUCHČEK, V.: *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití.* Praha: VŠCHT, 2005
- [18] ARTBAUER, J.; ADAMEC, V.; ŠEDOVIČ, J.: *Izolanty a izolácie.* Bratislava : Alfa, 1969.
- [19] MEISSNER, B.; ZILVAR, V.: *Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*, Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [20] POLANSKÝ, R.: *Mechanical behaviour and thermal stability of EVA encapsulant material used in photovoltaic modules.* [nepublikováno]
- [21] KEMPKE, M. D.; JOURGENSEN, G. J.; TERWILLIGER, K. M.: *Acetic acid production and glass transition concerns with ethylene-vinyl acetate used in photovoltaic device.* Solar Energy Materials & Solar Cells 91 (2007), s. 315-329.
- [22] CZANDERA, A. W.; PERN, F. J.: *Encapsulation of PV modules using ethylene vinyl acetate copolymer as a pottant: A critical review.* Solar Energy Materials & Solar Cells 43(1995), s. 101-181.
- [23] AGROUI, K.; BELGHACHI, A.; COLLINS, G.: *Quality control of EVA encapsulant in photovoltaic module process and outdoor exposure.* Desalination 209 (2007), s. 1-9.
- [24] KLEMCHUK, P.; EZRIN, M.; LAVIGNE, G.: *Investigation of the degradation and stabilization of EVA – based encapsulant in field-aged solar energy modules.* Polymer Degradation and Stability 55 (1997), s. 347-365.
- [25] FIKR, J.; KAHOVEC, J.: *Názvosloví organické chemie.* Olomouc: Rubico, 2002.
- [26] MUIRHEAD, I. J.; HAWKINS, B. K.: *An assessment of photovoltaic power in the Telstra network.* Conference of the Australian and New Zealand Solar Energy Society, 1995.
- [27] ČSN IEC 93, *Zkoušky tuhých elektroizolačních materiálů. Metody měření vnitřní rezistivity tuhých elektroizolačních materiálů*, 1993



- [28] ČSN IEC 345, Metody měření elektrického odporu a rezistivity elektroizolačních materiálů při zvýšených teplotách, 1992.
- [29] MENTLÍK, V.: *Dielektrické prvky a systémy*. Praha: BEN, 2006
- [30] MENTLÍK, V.;et al.: *Diagnostika elektrických zařízení*. Praha: BEN, 2008.
- [31] ČSN IEC 250, *Doporučené postupy ke stanovení permitivity a ztrátového činitele elektroizolačních materiálů při průmyslových, akustických a rozhlasových kmitočtech včetně metrových vlnových délek*, 1998
- [32] AGROUI, K.; MAALLEMI, A.; BOUMAOUR, M.: *Thermal stability of slow and fast cure EVA encapsulant material for photovoltaic module manufacturing proces*. Solar Energy Materials & Solar Cells 90 (2006), s. 2509-2514.

## Přílohy

### Příloha A - Materiálový list

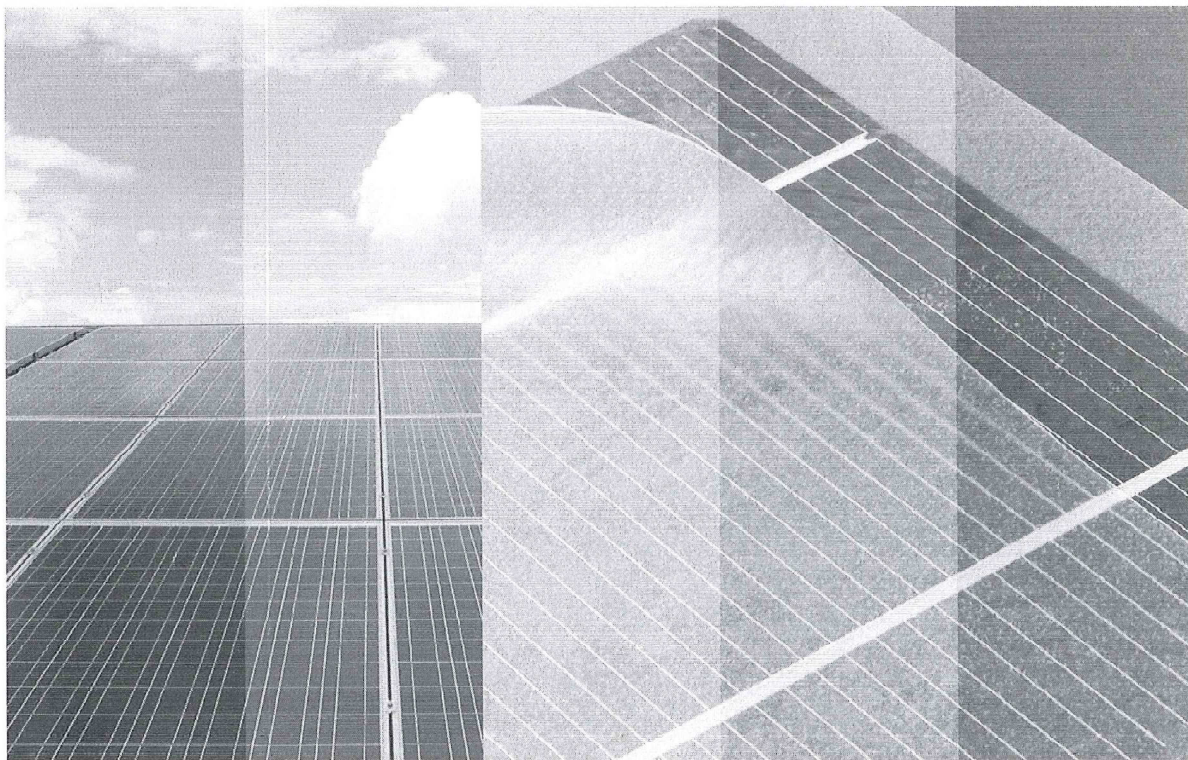
**etimex**

ETIMEX SOLAR GMBH

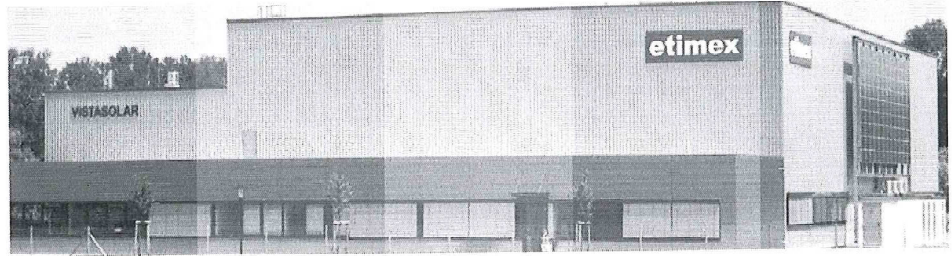
#### ■ VISTASOLAR® FILMS

ENCAPSULANTS FOR SOLAR CELLS.

- PROVEN QUALITY
- RELIABLE SUPPLY
- FLEXIBLE SERVICE
- CUSTOMER SUPPORT

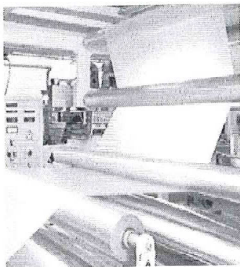


**etimex**



### VISTASOLAR® ENCAPSULANTS FOR SOLAR CELLS

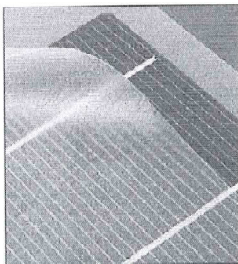
ETIMEX provides excellent products and services to the PV industry - since 1980!



- leading supplier of EVA films – standard cure, fast cure and ultra fast cure EVA
- excellent reliability of IEC by TÜV tested products
- under UL file no E315694 registered products
- company certified to DIN EN ISO 9001, DIN EN ISO 14001 and OHSAS 18001
- increased capacity, flexible production
- fast response to customers needs

ETIMEX has many years of experience in laboratory and application work!

- continuous and extensive quality controls
- assistance for customers with laboratory controls or laminator trials
- development of new products
- tests on own laminator and climate chamber
- service for gel content tests
- on site assistance for optimised lamination cycles



ETIMEX offers the widest range of EVA and other encapsulation films:

- innovative products UFC (ultra fast cure) – lowest cycle times
- laminated EVA with back sheet or scrim (non woven glass)
- EVA with different surface properties
- TPU (non curing) – with continuous process on roll laminator
- technical advantage by automated production and inline controls
- products made in Germany
- in 2010 production in USA

## VISTASOLAR® FILMS

### Products of ETIMEX Solar GmbH

#### EVA based encapsulants ETIMEX® VISTASOLAR®

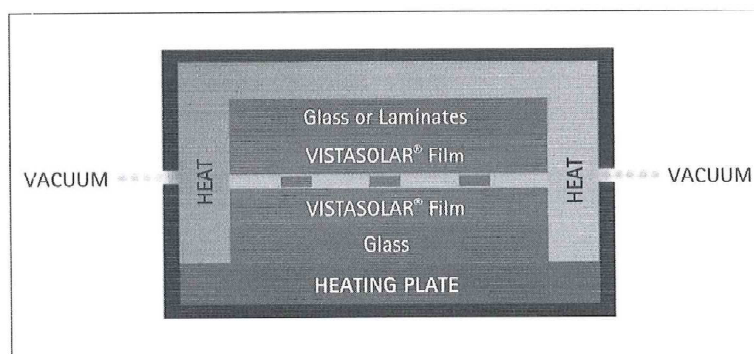
|                  |                              |  |
|------------------|------------------------------|--|
| 486.00<br>486.10 | Fast cure<br>Fast cure       | One side sticky<br>Both sides non sticky |
| 496.00<br>496.10 | Fast cure LS<br>Fast Cure LS | One side sticky<br>Both sides non sticky |
| 520.43           | Ultra Fast Cure LS           | Both sides non sticky                    |
| 485.00 / 485.10  | Standard cure                | Only on request                          |

#### TPU based encapsulants ETIMEX® VISTASOLAR®

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| 517.84<br>TPU Film<br>VISTASOLAR® | no curing – continuous processing on roll laminator<br>excellent UV stability, reversible process for repair<br>no measuring of gel content, easier to store |
|-----------------------------------|--|

- Width: max. 1650 mm, some types up to 2300 mm  
coloured films and TPU films max. 1020 mm
- Gauge: 0.300 to 1.200 mm, standard 0.500 mm and 0.460 mm
- Shelf life: We strongly recommend to use the film within 6 months after production. UFC has a shelf life of 4 months.  
Store dry (50 – 60 % r.h.) and below 30°C/ 85°F in undamaged original packaging!
- Laminates: VISTASOLAR® films are available laminated to nonwoven glass (scrim) or various backsheet materials
- Packaging: Standard reel size is 150 meters with HDPE film as interlayer. Each reel is sealed into a black PE bag. Special aluminium packing on request.

#### Application of ETIMEX® EVA VISTASOLAR® films:



|                 | Temp. plate / Pumping time | Temp. plate / Lamination time |
|-----------------|----------------------------|-------------------------------|
| Standard Cure   | 142 - 150 °C / 5 min.      | 150 °C / 20 - 25 min.         |
| Fast Cure       | 150 °C / 3 - 5 min.        | 150 °C / 10 - 15 min.         |
| Ultra Fast Cure | 150 °C / 2 - 3 min.        | 150 °C / 7 - 10 min.          |

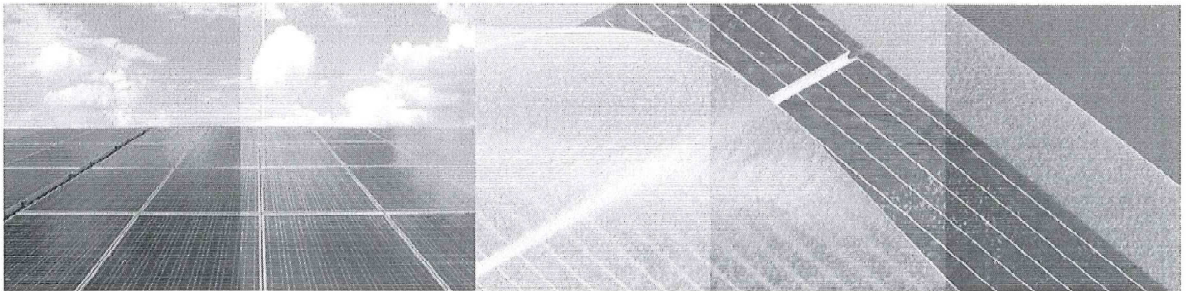
**etimex**

ETIMEX SOLAR GMBH

## VISTASOLAR® FILMS

### ENCAPSULANTS FOR SOLAR CELLS.

- LONGTERM PHOTOTHERMAL STABILITY
- VERY HIGH LIGHT TRANSMISSION
- SELECTION OF SHORT TO VERY SHORT CYCLE TIMES
- FLEXIBLE RESPONSE TO CUSTOMERS NEEDS
- WORLD WIDE SALES AND SERVICE



ETIMEX Solar GmbH

Industriestrasse 3  
D-89165 Dietenheim  
Germany

Phone: + 49 (0) 7347 67 - 201  
Fax: + 49 (0) 7347 67 - 209

ETIMEX Solar USA, Inc

777 Campus Commons Road, Suite 200  
Sacramento, CA 98525  
USA

Phone: +1-916-565-7449  
Fax: +1-916-565-7452

E-Mail: [solar@etimex-solar.com](mailto:solar@etimex-solar.com)  
[www.etimex-solar.com](http://www.etimex-solar.com)

Issue: July 2009

**Příloha B - Technické specifikace přístrojů**

Tab. 1 TA Instruments Q600

|   |  |
|---|--|
| System Design                                     | Horizontal Balance & Furnace                     |
| Balance Design                                    | Dual Beam  |
| Sample Capacity                                   | 200 mg (350 mg including sample holder)          |
| Balance Sensitivity                               | 0,1 µg   |
| Furnace Type                                      | Bifilar Wound                                    |
| Temperature Range                                 | Ambient to 1500 °C                               |
| Heating rate - Ambient to 1000 °C                 | 0,1 to 100 °C/min                                |
| Heating rate - Ambient to 1500 °C                 | 0,1 to 25 °C/min                                 |
| Furnace Cooling                                   | Forced Air (1500 to 50 °C in < 30 min)           |
| Thermocouples                                     | Platinum/Platinum-Rhodium (Type R)               |
| Temperature Calibration                           | Metal Standards (1 to 5 Points)                  |
| DTA Sensitivity                                   | 0,001 °C   |
| Calorimetric Accuracy/Precision                   | ± 2% (based on metal standards)                  |
| Mass Flow Controller with Automatic Gas Switching | Included   |
| Vacuum  | to 7 Pa (0,05 torr)                              |
| Reactive Gas Capability                           | Included - separate gas tube                     |
| Dual Sample TGA                                   | Included   |
| Auto-Stepwise TGA                                 | Included   |
| Sample Pans                                       | Platinum: 40 µL, 110 µL<br>Alumina: 40 µL, 90 µL |

**Příloha C - Tabulky naměřených a vypočtených hodnot**

Tab. 2 Tloušťky nesíťovaných vzorků

| Číslo vzorku      | Tloušťka [mm] |       |       |       |       | Průměr [mm] | Směrodatná odchylka [mm] | Variační koeficient [%] |       |
|-------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------------------------|-------------------------|-------|
| Nesíťované vzorky | 1             | 0,421 | 0,423 | 0,431 | 0,423 | 0,433       | 0,426                    | 0,005                   | 1,134 |
|                   | 2             | 0,431 | 0,431 | 0,424 | 0,412 | 0,431       | 0,426                    | 0,007                   | 1,741 |
|                   | 3             | 0,426 | 0,415 | 0,416 | 0,430 | 0,426       | 0,423                    | 0,006                   | 1,417 |
|                   | 4             | 0,412 | 0,409 | 0,417 | 0,420 | 0,414       | 0,414                    | 0,004                   | 0,923 |
|                   | 5             | 0,421 | 0,413 | 0,416 | 0,414 | 0,413       | 0,415                    | 0,003                   | 0,724 |
|                   | 6             | 0,431 | 0,442 | 0,430 | 0,429 | 0,438       | 0,434                    | 0,005                   | 1,175 |
|                   | 7             | 0,432 | 0,431 | 0,421 | 0,436 | 0,414       | 0,427                    | 0,008                   | 1,894 |
|                   | 8             | 0,418 | 0,422 | 0,431 | 0,423 | 0,423       | 0,423                    | 0,004                   | 0,998 |
|                   | 9             | 0,458 | 0,445 | 0,449 | 0,435 | 0,457       | 0,449                    | 0,008                   | 1,882 |
|                   | 10            | 0,422 | 0,413 | 0,412 | 0,412 | 0,424       | 0,417                    | 0,005                   | 1,267 |

Tab. 3 Tloušťky síťovaných vzorků

| Číslo vzorku | Tloušťka [mm] |       |       |       |       |       | Průměr [mm] | Směrodatná odchyška [mm] | Variační koeficient [%] |
|--------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| 1            | 1             | 0,456 | 0,500 | 0,459 | 0,449 | 0,457 | 0,464       | 0,018                    | 3,924                   |
|              | 2             | 0,461 | 0,473 | 0,462 | 0,430 | 0,480 | 0,461       | 0,017                    | 3,714                   |
|              | 3             | 0,475 | 0,463 | 0,453 | 0,422 | 0,471 | 0,457       | 0,019                    | 4,150                   |
|              | 4             | 0,454 | 0,449 | 0,447 | 0,447 | 0,470 | 0,453       | 0,009                    | 1,916                   |
|              | 5             | 0,462 | 0,456 | 0,480 | 0,461 | 0,464 | 0,465       | 0,008                    | 1,752                   |
|              | 6             | 0,479 | 0,456 | 0,471 | 0,482 | 0,449 | 0,467       | 0,013                    | 2,755                   |
|              | 7             | 0,442 | 0,457 | 0,457 | 0,459 | 0,487 | 0,460       | 0,015                    | 3,179                   |
|              | 8             | 0,463 | 0,459 | 0,449 | 0,515 | 0,470 | 0,471       | 0,023                    | 4,866                   |
|              | 9             | 0,469 | 0,444 | 0,428 | 0,480 | 0,471 | 0,458       | 0,019                    | 4,218                   |
|              | 10            | 0,470 | 0,494 | 0,434 | 0,440 | 0,467 | 0,461       | 0,022                    | 4,729                   |
| 2            | 1             | 0,477 | 0,465 | 0,471 | 0,459 | 0,476 | 0,470       | 0,007                    | 1,448                   |
|              | 2             | 0,436 | 0,438 | 0,429 | 0,451 | 0,440 | 0,439       | 0,007                    | 1,627                   |
|              | 3             | 0,472 | 0,452 | 0,446 | 0,470 | 0,459 | 0,460       | 0,010                    | 2,185                   |
|              | 4             | 0,430 | 0,464 | 0,448 | 0,459 | 0,429 | 0,446       | 0,014                    | 3,237                   |
|              | 5             | 0,454 | 0,451 | 0,461 | 0,449 | 0,430 | 0,449       | 0,010                    | 2,302                   |
|              | 6             | 0,480 | 0,455 | 0,470 | 0,531 | 0,467 | 0,481       | 0,026                    | 5,500                   |
|              | 7             | 0,436 | 0,472 | 0,451 | 0,468 | 0,453 | 0,456       | 0,013                    | 2,832                   |
|              | 8             | 0,476 | 0,420 | 0,458 | 0,538 | 0,478 | 0,474       | 0,038                    | 8,055                   |
|              | 9             | 0,489 | 0,476 | 0,437 | 0,426 | 0,475 | 0,461       | 0,025                    | 5,323                   |
|              | 10            | 0,464 | 0,461 | 0,418 | 0,448 | 0,461 | 0,450       | 0,017                    | 3,801                   |
| 3            | 1             | 0,460 | 0,489 | 0,509 | 0,449 | 0,447 | 0,471       | 0,024                    | 5,158                   |
|              | 2             | 0,424 | 0,470 | 0,474 | 0,433 | 0,445 | 0,449       | 0,020                    | 4,411                   |
|              | 3             | 0,452 | 0,452 | 0,494 | 0,448 | 0,472 | 0,464       | 0,017                    | 3,745                   |
|              | 4             | 0,432 | 0,438 | 0,449 | 0,444 | 0,487 | 0,450       | 0,019                    | 4,302                   |
|              | 5             | 0,445 | 0,462 | 0,484 | 0,431 | 0,492 | 0,463       | 0,023                    | 4,956                   |
|              | 6             | 0,402 | 0,453 | 0,468 | 0,453 | 0,433 | 0,442       | 0,023                    | 5,160                   |
|              | 7             | 0,459 | 0,457 | 0,413 | 0,414 | 0,407 | 0,430       | 0,023                    | 5,348                   |
|              | 8             | 0,452 | 0,429 | 0,448 | 0,435 | 0,469 | 0,447       | 0,014                    | 3,130                   |
|              | 9             | 0,456 | 0,472 | 0,457 | 0,444 | 0,434 | 0,453       | 0,013                    | 2,842                   |
|              | 10            | 0,480 | 0,439 | 0,446 | 0,439 | 0,434 | 0,448       | 0,017                    | 3,719                   |
| 4            | 1             | 0,455 | 0,426 | 0,458 | 0,424 | 0,461 | 0,445       | 0,016                    | 3,662                   |
|              | 2             | 0,429 | 0,459 | 0,450 | 0,444 | 0,455 | 0,447       | 0,010                    | 2,343                   |
|              | 3             | 0,466 | 0,450 | 0,443 | 0,458 | 0,449 | 0,453       | 0,008                    | 1,762                   |
|              | 4             | 0,465 | 0,434 | 0,411 | 0,459 | 0,465 | 0,447       | 0,021                    | 4,755                   |
|              | 5             | 0,441 | 0,448 | 0,452 | 0,447 | 0,443 | 0,446       | 0,004                    | 0,867                   |
|              | 6             | 0,474 | 0,439 | 0,492 | 0,428 | 0,454 | 0,457       | 0,023                    | 5,068                   |
|              | 7             | 0,469 | 0,443 | 0,456 | 0,473 | 0,480 | 0,464       | 0,013                    | 2,836                   |
|              | 8             | 0,481 | 0,450 | 0,451 | 0,458 | 0,462 | 0,460       | 0,011                    | 2,437                   |
|              | 9             | 0,442 | 0,495 | 0,444 | 0,453 | 0,462 | 0,459       | 0,019                    | 4,194                   |
|              | 10            | 0,459 | 0,472 | 0,498 | 0,449 | 0,490 | 0,474       | 0,018                    | 3,876                   |

| Číslo vzorku | Tloušťka [mm] |       |       |       |       |       | Průměr [mm] | Směrodatná odchylna [mm] | Variační koeficient [%] |
|--------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| 5            | 1             | 0,437 | 0,451 | 0,472 | 0,446 | 0,440 | 0,449       | 0,012                    | 2,757                   |
|              | 2             | 0,456 | 0,432 | 0,428 | 0,434 | 0,437 | 0,437       | 0,010                    | 2,229                   |
|              | 3             | 0,437 | 0,427 | 0,459 | 0,442 | 0,448 | 0,443       | 0,011                    | 2,419                   |
|              | 4             | 0,461 | 0,554 | 0,554 | 0,407 | 0,437 | 0,483       | 0,061                    | 12,590                  |
|              | 5             | 0,437 | 0,416 | 0,453 | 0,455 | 0,458 | 0,444       | 0,016                    | 3,535                   |
|              | 6             | 0,442 | 0,456 | 0,456 | 0,436 | 0,450 | 0,448       | 0,008                    | 1,763                   |
|              | 7             | 0,469 | 0,438 | 0,437 | 0,483 | 0,450 | 0,455       | 0,018                    | 3,949                   |
|              | 8             | 0,462 | 0,475 | 0,449 | 0,458 | 0,440 | 0,457       | 0,012                    | 2,595                   |
|              | 9             | 0,469 | 0,446 | 0,471 | 0,444 | 0,456 | 0,457       | 0,011                    | 2,457                   |
| 6            | 1             | 0,443 | 0,427 | 0,433 | 0,428 | 0,466 | 0,439       | 0,014                    | 3,290                   |
|              | 2             | 0,466 | 0,474 | 0,445 | 0,465 | 0,461 | 0,462       | 0,010                    | 2,073                   |
|              | 3             | 0,460 | 0,454 | 0,469 | 0,451 | 0,445 | 0,456       | 0,008                    | 1,795                   |
|              | 4             | 0,505 | 0,479 | 0,464 | 0,526 | 0,506 | 0,496       | 0,022                    | 4,412                   |
|              | 5             | 0,423 | 0,459 | 0,457 | 0,456 | 0,431 | 0,445       | 0,015                    | 3,393                   |
|              | 6             | 0,449 | 0,486 | 0,444 | 0,442 | 0,439 | 0,452       | 0,017                    | 3,829                   |
|              | 7             | 0,458 | 0,445 | 0,457 | 0,465 | 0,452 | 0,455       | 0,007                    | 1,461                   |
|              | 8             | 0,438 | 0,455 | 0,433 | 0,435 | 0,467 | 0,446       | 0,013                    | 2,969                   |
|              | 9             | 0,442 | 0,417 | 0,462 | 0,641 | 0,453 | 0,483       | 0,080                    | 16,651                  |
|              | 10            | 0,463 | 0,444 | 0,448 | 0,446 | 0,434 | 0,447       | 0,009                    | 2,089                   |
| 7            | 1             | 0,458 | 0,472 | 0,452 | 0,451 | 0,447 | 0,456       | 0,009                    | 1,917                   |
|              | 2             | 0,496 | 0,439 | 0,479 | 0,459 | 0,464 | 0,467       | 0,019                    | 4,106                   |
|              | 3             | 0,461 | 0,483 | 0,459 | 0,457 | 0,457 | 0,463       | 0,010                    | 2,139                   |
|              | 4             | 0,511 | 0,499 | 0,608 | 0,430 | 0,414 | 0,492       | 0,069                    | 14,010                  |
|              | 5             | 0,498 | 0,501 | 0,500 | 0,436 | 0,519 | 0,491       | 0,028                    | 5,791                   |
|              | 6             | 0,435 | 0,453 | 0,444 | 0,465 | 0,456 | 0,451       | 0,010                    | 2,283                   |
|              | 7             | 0,475 | 0,437 | 0,432 | 0,472 | 0,428 | 0,449       | 0,020                    | 4,543                   |
|              | 8             | 0,513 | 0,447 | 0,496 | 0,466 | 0,459 | 0,476       | 0,024                    | 5,143                   |
|              | 9             | 0,480 | 0,494 | 0,443 | 0,452 | 0,497 | 0,473       | 0,022                    | 4,636                   |
|              | 10            | 0,476 | 0,471 | 0,467 | 0,453 | 0,450 | 0,463       | 0,010                    | 2,195                   |
| 8            | 1             | 0,508 | 0,458 | 0,493 | 0,458 | 0,465 | 0,476       | 0,020                    | 4,283                   |
|              | 2             | 0,469 | 0,454 | 0,506 | 0,464 | 0,419 | 0,462       | 0,028                    | 6,041                   |
|              | 3             | 0,469 | 0,446 | 0,459 | 0,477 | 0,454 | 0,461       | 0,011                    | 2,372                   |
|              | 4             | 0,425 | 0,446 | 0,476 | 0,477 | 0,440 | 0,453       | 0,021                    | 4,533                   |
|              | 5             | 0,459 | 0,480 | 0,469 | 0,416 | 0,505 | 0,466       | 0,029                    | 6,277                   |
|              | 6             | 0,453 | 0,450 | 0,366 | 0,454 | 0,425 | 0,430       | 0,034                    | 7,808                   |
|              | 7             | 0,463 | 0,421 | 0,473 | 0,426 | 0,472 | 0,451       | 0,023                    | 5,050                   |
|              | 8             | 0,465 | 0,460 | 0,472 | 0,453 | 0,430 | 0,456       | 0,014                    | 3,160                   |
|              | 9             | 0,436 | 0,451 | 0,457 | 0,444 | 0,416 | 0,441       | 0,014                    | 3,232                   |
|              | 10            | 0,493 | 0,428 | 0,434 | 0,439 | 0,462 | 0,451       | 0,024                    | 5,288                   |



| Číslo vzorku | Tloušťka [mm] |       |       |       |       | Průměr [mm] | Směrodatná odchylna [mm] | Variační koeficient [%] |       |
|--------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------------------------|-------------------------|-------|
| 9            | 1             | 0,439 | 0,465 | 0,434 | 0,473 | 0,435       | 0,449                    | 0,016                   | 3,662 |
|              | 2             | 0,457 | 0,482 | 0,481 | 0,444 | 0,492       | 0,471                    | 0,018                   | 3,781 |
|              | 3             | 0,458 | 0,475 | 0,456 | 0,467 | 0,427       | 0,457                    | 0,016                   | 3,565 |
|              | 4             | 0,490 | 0,433 | 0,481 | 0,488 | 0,476       | 0,474                    | 0,021                   | 4,414 |
|              | 5             | 0,523 | 0,458 | 0,435 | 0,471 | 0,453       | 0,468                    | 0,030                   | 6,373 |
|              | 6             | 0,462 | 0,468 | 0,443 | 0,483 | 0,452       | 0,462                    | 0,014                   | 2,966 |
|              | 7             | 0,469 | 0,437 | 0,500 | 0,518 | 0,448       | 0,474                    | 0,031                   | 6,450 |
|              | 8             | 0,468 | 0,452 | 0,472 | 0,444 | 0,463       | 0,460                    | 0,010                   | 2,253 |
|              | 9             | 0,429 | 0,456 | 0,475 | 0,444 | 0,453       | 0,451                    | 0,015                   | 3,341 |
|              | 10            | 0,436 | 0,454 | 0,367 | 0,447 | 0,483       | 0,437                    | 0,038                   | 8,798 |
| 10           | 1             | 0,433 | 0,448 | 0,470 | 0,442 | 0,442       | 0,447                    | 0,012                   | 2,787 |
|              | 2             | 0,463 | 0,457 | 0,460 | 0,433 | 0,453       | 0,453                    | 0,011                   | 2,345 |
|              | 3             | 0,441 | 0,441 | 0,447 | 0,444 | 0,462       | 0,447                    | 0,008                   | 1,750 |
|              | 4             | 0,443 | 0,444 | 0,444 | 0,446 | 0,427       | 0,441                    | 0,007                   | 1,581 |
|              | 5             | 0,462 | 0,433 | 0,468 | 0,456 | 0,457       | 0,455                    | 0,012                   | 2,612 |
|              | 6             | 0,460 | 0,458 | 0,457 | 0,508 | 0,477       | 0,472                    | 0,019                   | 4,115 |
|              | 7             | 0,457 | 0,467 | 0,455 | 0,442 | 0,443       | 0,453                    | 0,009                   | 2,064 |
|              | 8             | 0,461 | 0,436 | 0,455 | 0,445 | 0,481       | 0,456                    | 0,015                   | 3,359 |
|              | 9             | 0,470 | 0,425 | 0,452 | 0,453 | 0,441       | 0,448                    | 0,015                   | 3,314 |
|              | 10            | 0,455 | 0,486 | 0,445 | 0,443 | 0,459       | 0,458                    | 0,015                   | 3,367 |
| 11           | 1             | 0,445 | 0,463 | 0,464 | 0,498 | 0,453       | 0,465                    | 0,018                   | 3,895 |
|              | 2             | 0,447 | 0,493 | 0,460 | 0,465 | 0,499       | 0,473                    | 0,020                   | 4,214 |
|              | 3             | 0,473 | 0,466 | 0,460 | 0,471 | 0,471       | 0,468                    | 0,005                   | 1,005 |
|              | 4             | 0,420 | 0,454 | 0,431 | 0,449 | 0,447       | 0,440                    | 0,013                   | 2,886 |
|              | 5             | 0,456 | 0,459 | 0,451 | 0,413 | 0,485       | 0,453                    | 0,023                   | 5,106 |
|              | 6             | 0,481 | 0,503 | 0,495 | 0,463 | 0,451       | 0,479                    | 0,019                   | 4,046 |
|              | 7             | 0,474 | 0,443 | 0,490 | 0,434 | 0,450       | 0,458                    | 0,021                   | 4,520 |
|              | 8             | 0,480 | 0,513 | 0,442 | 0,454 | 0,453       | 0,468                    | 0,026                   | 5,456 |
|              | 9             | 0,402 | 0,441 | 0,427 | 0,434 | 0,454       | 0,432                    | 0,017                   | 4,004 |
| 12           | 1             | 0,507 | 0,492 | 0,493 | 0,502 | 0,445       | 0,488                    | 0,022                   | 4,535 |
|              | 2             | 0,535 | 0,514 | 0,494 | 0,474 | 0,481       | 0,500                    | 0,022                   | 4,470 |
|              | 3             | 0,463 | 0,482 | 0,546 | 0,431 | 0,468       | 0,478                    | 0,038                   | 7,924 |
|              | 4             | 0,527 | 0,473 | 0,458 | 0,494 | 0,445       | 0,479                    | 0,029                   | 6,018 |
|              | 5             | 0,494 | 0,483 | 0,457 | 0,462 | 0,479       | 0,475                    | 0,014                   | 2,877 |
|              | 6             | 0,512 | 0,465 | 0,470 | 0,455 | 0,503       | 0,481                    | 0,022                   | 4,647 |
|              | 7             | 0,471 | 0,458 | 0,488 | 0,453 | 0,499       | 0,474                    | 0,017                   | 3,688 |
|              | 8             | 0,443 | 0,468 | 0,489 | 0,543 | 0,453       | 0,479                    | 0,035                   | 7,401 |
|              | 9             | 0,486 | 0,443 | 0,489 | 0,492 | 0,473       | 0,477                    | 0,018                   | 3,778 |
|              | 10            | 0,511 | 0,451 | 0,452 | 0,506 | 0,518       | 0,488                    | 0,030                   | 6,096 |

| Číslo vzorku | Tloušťka [mm] |       |       |       |       | Průměr [mm] | Směrodatná odchylna [mm] | Variační koeficient [%] |       |
|--------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------------------------|-------------------------|-------|
| 13           | 1             | 0,446 | 0,462 | 0,444 | 0,419 | 0,453       | 0,445                    | 0,014                   | 3,228 |
|              | 2             | 0,471 | 0,454 | 0,464 | 0,439 | 0,467       | 0,459                    | 0,011                   | 2,499 |
|              | 3             | 0,457 | 0,464 | 0,470 | 0,464 | 0,491       | 0,469                    | 0,012                   | 2,483 |
|              | 4             | 0,447 | 0,424 | 0,472 | 0,453 | 0,433       | 0,446                    | 0,017                   | 3,725 |
|              | 5             | 0,489 | 0,430 | 0,469 | 0,422 | 0,439       | 0,450                    | 0,025                   | 5,613 |
|              | 6             | 0,463 | 0,432 | 0,442 | 0,441 | 0,461       | 0,448                    | 0,012                   | 2,707 |
|              | 7             | 0,461 | 0,479 | 0,432 | 0,439 | 0,448       | 0,452                    | 0,017                   | 3,697 |
|              | 8             | 0,443 | 0,443 | 0,433 | 0,436 | 0,430       | 0,437                    | 0,005                   | 1,202 |
|              | 9             | 0,476 | 0,439 | 0,421 | 0,382 | 0,469       | 0,437                    | 0,034                   | 7,806 |
|              | 10            | 0,474 | 0,486 | 0,440 | 0,464 | 0,439       | 0,461                    | 0,019                   | 4,035 |
| 14           | 1             | 0,475 | 0,459 | 0,437 | 0,524 | 0,525       | 0,480                    | 0,018                   | 3,833 |
|              | 2             | 0,473 | 0,443 | 0,458 | 0,475 | 0,486       | 0,470                    | 0,022                   | 4,592 |
|              | 3             | 0,445 | 0,413 | 0,453 | 0,450 | 0,414       | 0,452                    | 0,015                   | 3,229 |
|              | 4             | 0,478 | 0,454 | 0,472 | 0,494 | 0,447       | 0,469                    | 0,017                   | 3,598 |
|              | 5             | 0,478 | 0,473 | 0,487 | 0,472 | 0,438       | 0,470                    | 0,017                   | 3,550 |
|              | 6             | 0,446 | 0,442 | 0,435 | 0,435 | 0,430       | 0,438                    | 0,006                   | 1,298 |
|              | 7             | 0,467 | 0,439 | 0,462 | 0,462 | 0,461       | 0,458                    | 0,010                   | 2,145 |
|              | 8             | 0,447 | 0,435 | 0,442 | 0,457 | 0,477       | 0,452                    | 0,015                   | 3,229 |
|              | 9             | 0,507 | 0,476 | 0,464 | 0,463 | 0,441       | 0,470                    | 0,022                   | 4,592 |
|              | 10            | 0,497 | 0,455 | 0,495 | 0,494 | 0,461       | 0,480                    | 0,018                   | 3,833 |
| 15           | 1             | 0,422 | 0,439 | 0,439 | 0,445 | 0,441       | 0,437                    | 0,008                   | 1,809 |
|              | 2             | 0,446 | 0,439 | 0,444 | 0,440 | 0,427       | 0,439                    | 0,007                   | 1,506 |
|              | 3             | 0,429 | 0,445 | 0,433 | 0,425 | 0,437       | 0,434                    | 0,007                   | 1,586 |
|              | 4             | 0,460 | 0,434 | 0,442 | 0,447 | 0,432       | 0,443                    | 0,010                   | 2,275 |
|              | 5             | 0,414 | 0,412 | 0,398 | 0,429 | 0,386       | 0,408                    | 0,015                   | 3,599 |
|              | 6             | 0,411 | 0,408 | 0,416 | 0,426 | 0,430       | 0,418                    | 0,008                   | 2,031 |
|              | 7             | 0,433 | 0,421 | 0,415 | 0,458 | 0,446       | 0,435                    | 0,016                   | 3,637 |
|              | 8             | 0,450 | 0,427 | 0,425 | 0,426 | 0,443       | 0,434                    | 0,010                   | 2,373 |
|              | 9             | 0,444 | 0,429 | 0,428 | 0,454 | 0,443       | 0,440                    | 0,010                   | 2,241 |
|              | 10            | 0,434 | 0,437 | 0,449 | 0,447 | 0,430       | 0,439                    | 0,007                   | 1,682 |
| 16           | 1             | 0,468 | 0,460 | 0,466 | 0,466 | 0,452       | 0,462                    | 0,006                   | 1,265 |
|              | 2             | 0,498 | 0,509 | 0,473 | 0,547 | 0,474       | 0,500                    | 0,027                   | 5,438 |
|              | 3             | 0,498 | 0,463 | 0,478 | 0,505 | 0,454       | 0,480                    | 0,020                   | 4,083 |
|              | 4             | 0,448 | 0,438 | 0,506 | 0,477 | 0,441       | 0,462                    | 0,026                   | 5,623 |
|              | 5             | 0,472 | 0,449 | 0,472 | 0,454 | 0,504       | 0,470                    | 0,019                   | 4,103 |
|              | 6             | 0,456 | 0,459 | 0,532 | 0,441 | 0,472       | 0,472                    | 0,032                   | 6,690 |
|              | 7             | 0,464 | 0,474 | 0,474 | 0,469 | 0,442       | 0,465                    | 0,012                   | 2,560 |
|              | 8             | 0,497 | 0,485 | 0,433 | 0,455 | 0,454       | 0,465                    | 0,023                   | 4,971 |
|              | 9             | 0,457 | 0,460 | 0,482 | 0,470 | 0,494       | 0,473                    | 0,014                   | 2,925 |
|              | 10            | 0,508 | 0,555 | 0,502 | 0,501 | 0,490       | 0,511                    | 0,023                   | 4,432 |

| Číslo vzorku | Tloušťka [mm] |       |       |       |       |       | Průměr [mm] | Směrodatná odchylna [mm] | Variační koeficient [%] |
|--------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| 17           | 1             | 0,446 | 0,484 | 0,442 | 0,450 | 0,430 | 0,442       | 0,015                    | 3,368                   |
|              | 2             | 0,469 | 0,454 | 0,473 | 0,473 | 0,475 | 0,469       | 0,008                    | 1,632                   |
|              | 3             | 0,470 | 0,463 | 0,470 | 0,462 | 0,427 | 0,458       | 0,016                    | 3,503                   |
|              | 4             | 0,414 | 0,415 | 0,432 | 0,434 | 0,445 | 0,428       | 0,012                    | 2,776                   |
|              | 5             | 0,433 | 0,428 | 0,454 | 0,416 | 0,446 | 0,435       | 0,013                    | 3,073                   |
|              | 6             | 0,474 | 0,491 | 0,506 | 0,458 | 0,454 | 0,477       | 0,020                    | 4,128                   |
|              | 7             | 0,450 | 0,449 | 0,451 | 0,447 | 0,454 | 0,450       | 0,002                    | 0,514                   |
|              | 8             | 0,456 | 0,450 | 0,467 | 0,463 | 0,452 | 0,458       | 0,006                    | 1,414                   |
|              | 9             | 0,447 | 0,460 | 0,421 | 0,453 | 0,428 | 0,442       | 0,015                    | 3,368                   |
| 18           | 1             | 0,461 | 0,470 | 0,466 | 0,450 | 0,451 | 0,460       | 0,008                    | 1,733                   |
|              | 2             | 0,444 | 0,425 | 0,441 | 0,456 | 0,438 | 0,441       | 0,010                    | 2,266                   |
|              | 3             | 0,476 | 0,452 | 0,463 | 0,454 | 0,466 | 0,462       | 0,009                    | 1,878                   |
|              | 4             | 0,445 | 0,455 | 0,450 | 0,442 | 0,430 | 0,444       | 0,008                    | 1,902                   |
|              | 5             | 0,446 | 0,478 | 0,421 | 0,451 | 0,461 | 0,451       | 0,019                    | 4,148                   |
|              | 6             | 0,469 | 0,463 | 0,445 | 0,450 | 0,455 | 0,456       | 0,009                    | 1,898                   |
|              | 7             | 0,423 | 0,431 | 0,443 | 0,443 | 0,465 | 0,441       | 0,014                    | 3,220                   |
|              | 8             | 0,450 | 0,461 | 0,430 | 0,459 | 0,470 | 0,454       | 0,014                    | 2,991                   |
|              | 9             | 0,452 | 0,449 | 0,457 | 0,459 | 0,452 | 0,454       | 0,004                    | 0,805                   |
|              | 10            | 0,438 | 0,442 | 0,439 | 0,426 | 0,443 | 0,438       | 0,006                    | 1,391                   |
| 19           | 1             | 0,429 | 0,432 | 0,440 | 0,439 | 0,449 | 0,438       | 0,007                    | 1,592                   |
|              | 2             | 0,437 | 0,444 | 0,446 | 0,434 | 0,469 | 0,446       | 0,012                    | 2,761                   |
|              | 3             | 0,434 | 0,430 | 0,441 | 0,425 | 0,430 | 0,432       | 0,005                    | 1,234                   |
|              | 4             | 0,423 | 0,437 | 0,425 | 0,417 | 0,439 | 0,428       | 0,008                    | 1,973                   |
|              | 5             | 0,447 | 0,388 | 0,449 | 0,430 | 0,455 | 0,434       | 0,024                    | 5,615                   |
|              | 6             | 0,437 | 0,451 | 0,468 | 0,465 | 0,468 | 0,458       | 0,012                    | 2,655                   |
|              | 7             | 0,439 | 0,446 | 0,452 | 0,454 | 0,449 | 0,448       | 0,005                    | 1,173                   |
|              | 8             | 0,462 | 0,456 | 0,452 | 0,560 | 0,420 | 0,470       | 0,047                    | 10,063                  |
|              | 9             | 0,432 | 0,453 | 0,448 | 0,464 | 0,432 | 0,446       | 0,012                    | 2,782                   |
|              | 10            | 0,426 | 0,426 | 0,457 | 0,484 | 0,428 | 0,444       | 0,023                    | 5,205                   |
| 20           | 1             | 0,448 | 0,444 | 0,436 | 0,437 | 0,427 | 0,438       | 0,007                    | 1,649                   |
|              | 2             | 0,404 | 0,463 | 0,441 | 0,435 | 0,408 | 0,430       | 0,022                    | 5,087                   |
|              | 3             | 0,449 | 0,486 | 0,448 | 0,453 | 0,437 | 0,455       | 0,017                    | 3,645                   |
|              | 4             | 0,459 | 0,443 | 0,426 | 0,422 | 0,450 | 0,440       | 0,014                    | 3,198                   |
|              | 5             | 0,435 | 0,450 | 0,456 | 0,437 | 0,439 | 0,443       | 0,008                    | 1,841                   |
|              | 6             | 0,431 | 0,433 | 0,434 | 0,412 | 0,434 | 0,429       | 0,008                    | 1,976                   |
|              | 7             | 0,450 | 0,454 | 0,443 | 0,427 | 0,455 | 0,446       | 0,010                    | 2,311                   |
|              | 8             | 0,473 | 0,423 | 0,478 | 0,434 | 0,449 | 0,451       | 0,021                    | 4,740                   |
|              | 9             | 0,470 | 0,462 | 0,413 | 0,438 | 0,433 | 0,443       | 0,021                    | 4,640                   |
|              | 10            | 0,447 | 0,436 | 0,453 | 0,430 | 0,439 | 0,441       | 0,008                    | 1,842                   |

| Číslo vzorku | Tloušťka [mm] |       |       |       |       |       | Průměr [mm] | Směrodatná odchylna [mm] | Variační koeficient [%] |
|--------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| 21           | 1             | 0,439 | 0,442 | 0,425 | 0,441 | 0,452 | 0,440       | 0,009                    | 1,969                   |
|              | 2             | 0,502 | 0,474 | 0,465 | 0,456 | 0,507 | 0,481       | 0,020                    | 4,208                   |
|              | 3             | 0,435 | 0,434 | 0,455 | 0,449 | 0,443 | 0,443       | 0,008                    | 1,819                   |
|              | 4             | 0,467 | 0,489 | 0,446 | 0,443 | 0,488 | 0,467       | 0,020                    | 4,223                   |
|              | 5             | 0,434 | 0,448 | 0,453 | 0,454 | 0,465 | 0,451       | 0,010                    | 2,233                   |
|              | 6             | 0,442 | 0,469 | 0,453 | 0,448 | 0,450 | 0,452       | 0,009                    | 2,000                   |
|              | 7             | 0,445 | 0,451 | 0,404 | 0,439 | 0,427 | 0,433       | 0,017                    | 3,836                   |
|              | 8             | 0,476 | 0,475 | 0,462 | 0,472 | 0,514 | 0,480       | 0,018                    | 3,711                   |
|              | 9             | 0,460 | 0,475 | 0,458 | 0,531 | 0,503 | 0,485       | 0,028                    | 5,749                   |
|              | 10            | 0,448 | 0,405 | 0,414 | 0,455 | 0,453 | 0,435       | 0,021                    | 4,859                   |
| 22           | 1             | 0,442 | 0,428 | 0,426 | 0,442 | 0,415 | 0,431       | 0,010                    | 2,394                   |
|              | 2             | 0,461 | 0,441 | 0,425 | 0,426 | 0,440 | 0,439       | 0,013                    | 2,978                   |
|              | 3             | 0,445 | 0,430 | 0,446 | 0,452 | 0,445 | 0,444       | 0,007                    | 1,642                   |
|              | 4             | 0,456 | 0,448 | 0,436 | 0,457 | 0,439 | 0,447       | 0,009                    | 1,915                   |
|              | 5             | 0,470 | 0,466 | 0,456 | 0,427 | 0,457 | 0,455       | 0,015                    | 3,310                   |
|              | 6             | 0,457 | 0,585 | 0,492 | 0,474 | 0,488 | 0,499       | 0,045                    | 8,938                   |
|              | 7             | 0,441 | 0,446 | 0,452 | 0,414 | 0,482 | 0,447       | 0,022                    | 4,877                   |
|              | 8             | 0,466 | 0,460 | 0,468 | 0,454 | 0,461 | 0,462       | 0,005                    | 1,064                   |
|              | 9             | 0,468 | 0,426 | 0,512 | 0,442 | 0,499 | 0,469       | 0,033                    | 6,954                   |
|              | 10            | 0,441 | 0,454 | 0,439 | 0,456 | 0,441 | 0,446       | 0,007                    | 1,625                   |
| 23           | 1             | 0,449 | 0,449 | 0,459 | 0,422 | 0,445 | 0,445       | 0,012                    | 2,766                   |
|              | 2             | 0,453 | 0,450 | 0,436 | 0,460 | 0,451 | 0,450       | 0,008                    | 1,738                   |
|              | 3             | 0,434 | 0,438 | 0,451 | 0,456 | 0,448 | 0,445       | 0,008                    | 1,838                   |
|              | 4             | 0,466 | 0,457 | 0,438 | 0,435 | 0,452 | 0,450       | 0,012                    | 2,588                   |
|              | 5             | 0,451 | 0,424 | 0,442 | 0,437 | 0,478 | 0,446       | 0,018                    | 4,044                   |
|              | 6             | 0,421 | 0,465 | 0,503 | 0,450 | 0,440 | 0,456       | 0,028                    | 6,054                   |
|              | 7             | 0,444 | 0,449 | 0,461 | 0,432 | 0,446 | 0,446       | 0,009                    | 2,085                   |
|              | 8             | 0,444 | 0,435 | 0,436 | 0,439 | 0,440 | 0,439       | 0,003                    | 0,726                   |
|              | 9             | 0,434 | 0,430 | 0,449 | 0,433 | 0,457 | 0,441       | 0,011                    | 2,387                   |
|              | 10            | 0,441 | 0,454 | 0,436 | 0,424 | 0,445 | 0,440       | 0,010                    | 2,259                   |
| 24           | 1             | 0,481 | 0,420 | 0,441 | 0,432 | 0,447 | 0,444       | 0,021                    | 4,621                   |
|              | 2             | 0,527 | 0,405 | 0,467 | 0,430 | 0,458 | 0,457       | 0,041                    | 8,979                   |
|              | 3             | 0,437 | 0,450 | 0,444 | 0,449 | 0,453 | 0,447       | 0,006                    | 1,256                   |
|              | 4             | 0,436 | 0,439 | 0,446 | 0,414 | 0,433 | 0,434       | 0,011                    | 2,469                   |
|              | 5             | 0,472 | 0,447 | 0,459 | 0,446 | 0,419 | 0,449       | 0,018                    | 3,914                   |
|              | 6             | 0,452 | 0,422 | 0,421 | 0,448 | 0,440 | 0,437       | 0,013                    | 2,960                   |
|              | 7             | 0,481 | 0,456 | 0,434 | 0,555 | 0,529 | 0,491       | 0,045                    | 9,160                   |
|              | 8             | 0,447 | 0,435 | 0,448 | 0,471 | 0,451 | 0,450       | 0,012                    | 2,588                   |
|              | 9             | 0,460 | 0,448 | 0,459 | 0,446 | 0,445 | 0,452       | 0,007                    | 1,446                   |
|              | 10            | 0,453 | 0,448 | 0,456 | 0,436 | 0,436 | 0,446       | 0,008                    | 1,884                   |

| Číslo vzorku | Tloušťka [mm] |       |       |       |       |       | Průměr [mm] | Směrodatná odchylna [mm] | Variační koeficient [%] |
|--------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------------------------|-------------------------|
|              | 1             | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |             |                          |                         |
| 25           | 1             | 0,444 | 0,440 | 0,432 | 0,437 | 0,450 | 0,441       | 0,006                    | 1,389                   |
|              | 2             | 0,444 | 0,486 | 0,451 | 0,463 | 0,453 | 0,459       | 0,015                    | 3,183                   |
|              | 3             | 0,462 | 0,422 | 0,465 | 0,427 | 0,465 | 0,448       | 0,019                    | 4,339                   |
|              | 4             | 0,448 | 0,476 | 0,446 | 0,438 | 0,458 | 0,453       | 0,013                    | 2,882                   |
|              | 5             | 0,418 | 0,413 | 0,433 | 0,463 | 0,451 | 0,436       | 0,019                    | 4,374                   |
|              | 6             | 0,426 | 0,439 | 0,430 | 0,423 | 0,415 | 0,427       | 0,008                    | 1,855                   |
|              | 7             | 0,448 | 0,470 | 0,434 | 0,458 | 0,546 | 0,471       | 0,039                    | 8,324                   |
|              | 8             | 0,440 | 0,426 | 0,430 | 0,453 | 0,419 | 0,434       | 0,012                    | 2,731                   |
|              | 9             | 0,426 | 0,460 | 0,456 | 0,434 | 0,445 | 0,444       | 0,013                    | 2,891                   |
|              | 10            | 0,443 | 0,391 | 0,471 | 0,465 | 0,434 | 0,441       | 0,028                    | 6,440                   |

Tab. 4 Teplotní závislost proudu

| Nesíťované vzorky |        |           |       |           |       | Síťovaný vzorek |       |
|-------------------|--------|-----------|-------|-----------|-------|-----------------|-------|
| 1. měření         |        | 2. měření |       | 3. měření |       | T[°C]           | I[nA] |
| T [°C]            | I [nA] | T[°C]     | I[nA] | T[°C]     | I[nA] |                 |       |
| 27                | 2,1    | 27        | 1,8   | 27        | 2,13  | 27              | 1,65  |
| 28                | 2,3    | 28        | 1,93  | 28        | 2,43  | 28              | 1,88  |
| 29                | 2,5    | 29        | 2,2   | 29        | 2,62  | 29              | 2,11  |
| 30                | 2,8    | 30        | 2,47  | 30        | 2,93  | 30              | 2,3   |
| 31                | 3,2    | 31        | 2,76  | 31        | 3,3   | 31              | 2,54  |
| 32                | 3,5    | 32        | 3,27  | 32        | 3,63  | 32              | 2,86  |
| 33                | 4,1    | 33        | 3,41  | 33        | 4,2   | 33              | 3,19  |
| 34                | 4,6    | 34        | 3,7   | 34        | 4,64  | 34              | 3,61  |
| 35                | 5,3    | 35        | 4,35  | 35        | 5,15  | 35              | 4,2   |
| 36                | 6,2    | 36        | 5,16  | 36        | 5,94  | 36              | 4,74  |
| 37                | 6,7    | 37        | 5,34  | 37        | 6,28  | 37              | 5,5   |
| 38                | 7,2    | 38        | 5,75  | 38        | 7,03  | 38              | 6,38  |
| 39                | 7,9    | 39        | 5,97  | 39        | 8,08  | 39              | 7,13  |
| 40                | 8,7    | 40        | 6,6   | 40        | 8,92  | 40              | 8,76  |
| 41                | 9,7    | 41        | 8,7   | 41        | 9,82  | 41              | 9,89  |
| 42                | 10,5   | 42        | 9,91  | 42        | 11,62 | 42              | 11,88 |
| 43                | 11,8   | 43        | 10,16 | 43        | 12,12 | 43              | 12,67 |
| 44                | 13     | 44        | 12,24 | 44        | 13,78 | 44              | 14,56 |
| 45                | 14     | 45        | 13,8  | 45        | 14,85 | 45              | 16,89 |
| 46                | 15,5   | 46        | 14,9  | 46        | 16,95 | 46              | 18,28 |
| 47                | 17     | 47        | 16,1  | 47        | 17,91 | 47              | 21,5  |
| 48                | 19     | 48        | 17,42 | 48        | 19,2  | 48              | 24,1  |
| 49                | 20     | 49        | 18,33 | 49        | 20,86 | 49              | 29,5  |
| 50                | 21,6   | 50        | 19,87 | 50        | 23,2  | 50              | 31,6  |

| Nesíťované vzorky |        |           |       |           |       |    | Síťovaný vzorek |       |
|-------------------|--------|-----------|-------|-----------|-------|----|-----------------|-------|
| 1. měření         |        | 2. měření |       | 3. měření |       |    | T[°C]           | I[nA] |
| T [°C]            | I [nA] | T[°C]     | I[nA] | T[°C]     | I[nA] |    |                 |       |
| 51                | 23,7   | 51        | 21,8  | 51        | 25,7  | 51 | 35,1            |       |
| 52                | 25,8   | 52        | 23,9  | 52        | 27,1  | 52 | 39,9            |       |
| 53                | 27,9   | 53        | 26,1  | 53        | 28,4  | 53 | 48,5            |       |
| 54                | 31,3   | 54        | 27,8  | 54        | 32,2  | 54 | 50,8            |       |
| 55                | 33,4   | 55        | 30,1  | 55        | 37    | 55 | 57,5            |       |
| 56                | 36     | 56        | 32,9  | 56        | 39,2  | 56 | 65,9            |       |
| 57                | 38,1   | 57        | 35,9  | 57        | 41,9  | 57 | 69,1            |       |
| 58                | 41,4   | 58        | 36,2  | 58        | 47,2  | 58 | 76,3            |       |
| 59                | 44,2   | 59        | 39,2  | 59        | 50,2  | 59 | 87,6            |       |
| 60                | 47     | 60        | 42,6  | 60        | 53,8  | 60 | 92,3            |       |
| 61                | 50     | 61        | 45,5  | 61        | 57,2  | 61 | 99,8            |       |
| 62                | 53,8   | 62        | 48,9  | 62        | 59,3  | 62 | 108,9           |       |
| 63                | 56,6   | 63        | 50,2  | 63        | 63,8  | 63 | 122,3           |       |
| 64                | 60     | 64        | 52,3  | 64        | 68,2  | 64 | 126,5           |       |
| 65                | 62,3   | 65        | 57,8  | 65        | 72    | 65 | 142             |       |
| 66                | 65,7   | 66        | 63,3  | 66        | 75,5  | 66 | 149             |       |
| 67                | 70     | 67        | 65,8  | 67        | 77,8  | 67 | 156             |       |
| 68                | 73     | 68        | 67,5  | 68        | 84,8  | 68 | 168             |       |
| 69                | 77,4   | 69        | 71,8  | 69        | 89,2  | 69 | 182,3           |       |
| 70                | 80     | 70        | 77,6  | 70        | 92,2  | 70 | 194,3           |       |
| 71                | 85,4   | 71        | 81    | 71        | 97,2  | 71 | 204             |       |
| 72                | 89,4   | 72        | 82,9  | 72        | 102,9 | 72 | 216             |       |
| 73                | 95     | 73        | 89,2  | 73        | 109,2 | 73 | 230             |       |
| 74                | 97,1   | 74        | 95    | 74        | 112,7 | 74 | 244             |       |
| 75                | 101,9  | 75        | 98,6  | 75        | 118,1 | 75 | 258             |       |
| 76                | 108,4  | 76        | 101,1 | 76        | 121,2 | 76 | 276             |       |
| 77                | 112,8  | 77        | 109,2 | 77        | 129   | 77 | 293             |       |
| 78                | 117,4  | 78        | 113,9 | 78        | 136,1 | 78 | 307             |       |
| 79                | 121,2  | 79        | 116,2 | 79        | 144,6 | 79 | 324             |       |
| 80                | 127,6  | 80        | 124,3 | 80        | 149   | 80 | 346             |       |
| 81                | 132,6  | 81        | 127,3 | 81        | 152   | 81 | 362             |       |
| 82                | 140,3  | 82        | 131   | 82        | 160,8 | 82 | 388             |       |
| 83                | 145,3  | 83        | 139   | 83        | 167,4 | 83 | 411             |       |
| 84                | 151    | 84        | 145,2 | 84        | 173,8 | 84 | 421             |       |
| 85                | 155,6  | 85        | 154   | 85        | 180,5 | 85 | 439             |       |
| 86                | 163,2  | 87        | 162,7 | 86        | 187,9 | 86 | 464             |       |
| 87                | 168    | 88        | 174,3 | 87        | 194,2 | 87 | 488             |       |
| 88                | 175,3  | 89        | 178,5 | 88        | 202,9 | 88 | 507             |       |
| 89                | 181,3  | 90        | 179   | 89        | 208,9 | 89 | 531             |       |
| 90                | 188,5  | 91        | 189   | 90        | 217   | 90 | 560             |       |

| Nesíťované vzorky |        |           |       |           |       |     | Síťovaný vzorek |       |
|-------------------|--------|-----------|-------|-----------|-------|-----|-----------------|-------|
| 1. měření         |        | 2. měření |       | 3. měření |       |     | T[°C]           | I[nA] |
| T [°C]            | I [nA] | T[°C]     | I[nA] | T[°C]     | I[nA] |     |                 |       |
| 91                | 196,7  | 92        | 196   | 91        | 225   | 91  | 584             |       |
| 92                | 202,4  | 93        | 203,6 | 92        | 231   | 92  | 616             |       |
| 93                | 211    | 94        | 215   | 93        | 240   | 93  | 654             |       |
| 94                | 217    | 95        | 220   | 94        | 248   | 94  | 674             |       |
| 95                | 249    | 96        | 233   | 95        | 256   | 95  | 702             |       |
| 96                | 269    | 97        | 239   | 96        | 265   | 96  | 736             |       |
| 97                | 285    | 98        | 249   | 97        | 277   | 97  | 769             |       |
| 98                | 309    | 99        | 256   | 98        | 283   | 98  | 799             |       |
| 99                | 351    | 100       | 256   | 99        | 290   | 99  | 830             |       |
| 100               | 359    | 101       | 276   | 100       | 302   | 100 | 863             |       |
| 101               | 400    | 102       | 284   | 101       | 308   | 101 | 893             |       |
| 102               | 444    | 103       | 297   | 102       | 314   | 102 | 946             |       |
| 103               | 435    | 104       | 307   | 103       | 325   | 103 | 961             |       |
| 104               | 431    | 105       | 316   | 104       | 331   | 104 | 986             |       |
| 105               | 428    | 106       | 326   | 105       | 339   | 105 | 1033            |       |
| 106               | 436    | 107       | 342   | 106       | 348   | 106 | 1061            |       |
| 107               | 456    | 108       | 352   | 107       | 356   | 107 | 1091            |       |
| 109               | 460    | 109       | 361   | 108       | 369   | 108 | 1117            |       |
| 110               | 525    | 110       | 371   | 109       | 375   | 109 | 1154            |       |
| 111               | 611    | 111       | 382   | 110       | 383   | 110 | 1189            |       |
| 112               | 630    | 112       | 390   | 111       | 390   | 111 | 1217            |       |
| 113               | 744    | 113       | 402   | 112       | 402   | 112 | 1248            |       |
| 114               | 803    | 114       | 404   | 113       | 437   | 113 | 1291            |       |
| 115               | 880    | 115       | 485   | 114       | 532   | 114 | 1309            |       |
| 116               | 939    | 116       | 559   | 115       | 589   | 115 | 1346            |       |
| 117               | 966    | 117       | 647   | 116       | 674   | 116 | 1379            |       |
| 118               | 985    | 118       | 747   | 117       | 789   | 117 | 1391            |       |
| 119               | 1010   | 119       | 813   | 118       | 869   | 118 | 1404            |       |
| 120               | 1037   | 120       | 886   | 119       | 930   | 119 | 1422            |       |
| 121               | 1049   | 121       | 946   | 120       | 941   | 120 | 1419            |       |
| 122               | 1073   | 122       | 996   | 121       | 964   | 121 | 1407            |       |
| 123               | 1096   | 123       | 1031  | 122       | 984   | 122 | 1390            |       |
| 124               | 1115   | 124       | 1059  | 123       | 991   | 123 | 1366            |       |
| 125               | 1126   | 125       | 1087  | 124       | 987   | 124 | 1328            |       |
| 126               | 1142   | 126       | 1104  | 125       | 992   | 125 | 1276            |       |
| 127               | 1150   | 127       | 1124  | 126       | 981   | 126 | 1220            |       |
| 128               | 1161   | 128       | 1133  | 127       | 978   | 127 | 1140            |       |
| 129               | 1154   | 129       | 1152  | 128       | 969   | 128 | 1092            |       |
| 130               | 1151   | 130       | 1153  | 129       | 963   | 129 | 1024            |       |

| Nesíťované vzorky |        |           |       |           |       |     | Síťovaný vzorek |       |
|-------------------|--------|-----------|-------|-----------|-------|-----|-----------------|-------|
| 1. měření         |        | 2. měření |       | 3. měření |       |     | T[°C]           | I[nA] |
| T [°C]            | I [nA] | T[°C]     | I[nA] | T[°C]     | I[nA] |     |                 |       |
| 131               | 1152   | 131       | 1141  | 130       | 939   | 130 | 931             |       |
| 132               | 1144   | 132       | 1127  | 131       | 919   | 131 | 860             |       |
| 133               | 1129   | 133       | 1117  | 132       | 896   | 132 | 796             |       |
| 134               | 1109   | 134       | 1096  | 133       | 885   | 133 | 742             |       |
| 135               | 1112   | 135       | 1060  | 134       | 871   | 134 | 697             |       |
| 136               | 1103   | 136       | 1015  | 135       | 842   | 135 | 643             |       |
| 137               | 1092   | 137       | 999   | 136       | 794   | 136 | 604             |       |
| 138               | 1087   | 138       | 954   | 137       | 742   | 137 | 562             |       |
| 139               | 1065   | 139       | 896   | 138       | 714   | 138 | 529             |       |
| 140               | 1054   | 140       | 864   | 139       | 687   | 139 | 489             |       |
| 141               | 1042   | 141       | 816   | 140       | 661   | 140 | 453             |       |
| 142               | 1022   | 142       | 806   | 141       | 651   | 141 | 443             |       |
| 143               | 1001   | 143       | 706   | 142       | 624   | 142 | 432             |       |
| 144               | 972    | 144       | 711   | 143       | 616   | 143 | 421             |       |
| 145               | 933    | 145       | 665   | 144       | 589   | 144 | 409             |       |
| 146               | 900    | 146       | 636   | 145       | 560   | 145 | 399             |       |
| 147               | 856    | 147       | 580   | 146       | 544   | 146 | 386             |       |
| 148               | 803    | 148       | 553   | 147       | 500   | 147 | 373             |       |
| 149               | 792    | 149       | 521   | 148       | 465   | 148 | 360             |       |
| 150               | 718    | 150       | 452   | 149       | 432   | 149 | 347             |       |
| 151               | 660    | 151       | 429   | 150       | 392   | 150 | 333             |       |
| 152               | 587    | 152       | 378   | 151       | 361   | 151 | 323             |       |
| 153               | 560    | 153       | 359   | 152       | 326   | 152 | 308             |       |
| 154               | 537    | 154       | 331   | 153       | 317   | 153 | 296             |       |
| 155               | 503    | 155       | 305   | 154       | 293   | 154 | 283             |       |
| 156               | 488    | 156       | 282   | 155       | 283   | 155 | 273             |       |
| 157               | 460    | 157       | 273   | 156       | 271   | 156 | 260             |       |
| 158               | 437    | 158       | 250   | 157       | 260   | 157 | 249             |       |
| 159               | 415    | 159       | 233   | 158       | 251   | 158 | 242             |       |
| 160               | 406    | 160       | 217   | 159       | 243   | 159 | 237             |       |
| 161               | 395    | 161       | 206   | 160       | 233   | 160 | 232             |       |
| 162               | 390    | 162       | 202   | 161       | 225   | 161 | 228             |       |
| 163               | 383    | 163       | 190   | 162       | 220   | 162 | 227             |       |
| 164               | 387    | 164       | 184   | 163       | 215   | 163 | 227             |       |
| 165               | 386    | 165       | 177   | 164       | 212   | 164 | 229             |       |
| 166               | 390    | 166       | 177   | 165       | 210   | 165 | 231             |       |
| 167               | 393    | 167       | 176   | 166       | 209   | 166 | 230             |       |
| 168               | 391    | 168       | 172   | 167       | 209   | 167 | 230             |       |
|                   |        |           |       | 168       | 207   | 168 | 231             |       |



Tab. 5 Tloušťky vzorků použitých pro měření teplotní závislosti proudu

| Tloušťka [mm] | Nesíťované vzorky |           |           | Síťovaný vzorek |
|---------------|-------------------|-----------|-----------|-----------------|
|               | 1. měření         | 2. měření | 3. měření |                 |
| $h_1$         | 0,441             | 0,542     | 0,504     | 0,584           |
| $h_2$         | 0,449             | 0,519     | 0,529     | 0,557           |
| $h_3$         | 0,512             | 0,533     | 0,510     | 0,613           |
| $h_4$         | 0,486             | 0,546     | 0,523     | 0,624           |
| $h_5$         | 0,543             | 0,480     | 0,512     | 0,618           |
| průměr h      | 0,486             | 0,524     | 0,516     | 0,599           |

Tab. 6 Teplotní závislost ztrátového činitele, relativní permitivity a imaginární části relativní permitivity

| t [°C] | Nesíťovaný vzorek |                       |                  |                  | Síťovaný vzorek |                       |                  |                  |
|--------|-------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------------|------------------|------------------|
|        | $C_x$ [nF]        | $\text{tg}\delta$ [-] | $\epsilon_r$ [-] | $\epsilon''$ [-] | $C_x$ [nF]      | $\text{tg}\delta$ [-] | $\epsilon_r$ [-] | $\epsilon''$ [-] |
| 25     | 0,1233            | 0,0090                | 3,6090           | 0,0326           | 0,0943          | 0,0068                | 3,5340           | 0,0241           |
| 26     | 0,1232            | 0,0092                | 3,6068           | 0,0333           | 0,0942          | 0,0069                | 3,5317           | 0,0244           |
| 27     | 0,1232            | 0,0094                | 3,6071           | 0,0338           | 0,0943          | 0,0071                | 3,5334           | 0,0250           |
| 28     | 0,1231            | 0,0096                | 3,6043           | 0,0347           | 0,0943          | 0,0072                | 3,5334           | 0,0254           |
| 29     | 0,1231            | 0,0097                | 3,6050           | 0,0351           | 0,0943          | 0,0073                | 3,5345           | 0,0259           |
| 30     | 0,1232            | 0,0098                | 3,6062           | 0,0354           | 0,0944          | 0,0074                | 3,5393           | 0,0262           |
| 31     | 0,1233            | 0,0099                | 3,6092           | 0,0358           | 0,0945          | 0,0075                | 3,5435           | 0,0265           |
| 32     | 0,1233            | 0,0101                | 3,6107           | 0,0364           | 0,0946          | 0,0076                | 3,5460           | 0,0270           |
| 33     | 0,1235            | 0,0101                | 3,6144           | 0,0366           | 0,0947          | 0,0077                | 3,5513           | 0,0274           |
| 34     | 0,1237            | 0,0103                | 3,6217           | 0,0374           | 0,0948          | 0,0078                | 3,5551           | 0,0278           |
| 35     | 0,1239            | 0,0104                | 3,6280           | 0,0378           | 0,0950          | 0,0080                | 3,5608           | 0,0284           |
| 36     | 0,1241            | 0,0105                | 3,6336           | 0,0382           | 0,0951          | 0,0081                | 3,5664           | 0,0287           |
| 37     | 0,1243            | 0,0106                | 3,6397           | 0,0385           | 0,0953          | 0,0081                | 3,5736           | 0,0291           |
| 38     | 0,1247            | 0,0107                | 3,6499           | 0,0390           | 0,0956          | 0,0083                | 3,5844           | 0,0296           |
| 39     | 0,1251            | 0,0108                | 3,6623           | 0,0395           | 0,0958          | 0,0084                | 3,5927           | 0,0300           |
| 40     | 0,1255            | 0,0109                | 3,6751           | 0,0401           | 0,0961          | 0,0084                | 3,6015           | 0,0304           |
| 41     | 0,1258            | 0,0110                | 3,6820           | 0,0404           | 0,0963          | 0,0086                | 3,6081           | 0,0309           |
| 42     | 0,1262            | 0,0111                | 3,6936           | 0,0409           | 0,0965          | 0,0087                | 3,6190           | 0,0314           |
| 43     | 0,1264            | 0,0111                | 3,7007           | 0,0412           | 0,0969          | 0,0088                | 3,6342           | 0,0320           |
| 44     | 0,1268            | 0,0112                | 3,7119           | 0,0414           | 0,0973          | 0,0089                | 3,6469           | 0,0325           |
| 45     | 0,1272            | 0,0112                | 3,7232           | 0,0417           | 0,0976          | 0,0090                | 3,6578           | 0,0329           |
| 46     | 0,1274            | 0,0113                | 3,7311           | 0,0420           | 0,0978          | 0,0091                | 3,6662           | 0,0332           |
| 47     | 0,1277            | 0,0113                | 3,7397           | 0,0424           | 0,0981          | 0,0092                | 3,6789           | 0,0339           |
| 48     | 0,1280            | 0,0113                | 3,7471           | 0,0425           | 0,0984          | 0,0093                | 3,6874           | 0,0343           |
| 49     | 0,1282            | 0,0114                | 3,7540           | 0,0428           | 0,0986          | 0,0094                | 3,6954           | 0,0347           |
| 50     | 0,1284            | 0,0115                | 3,7604           | 0,0431           | 0,0988          | 0,0095                | 3,7031           | 0,0352           |

| t [°C] | Nesíťovaný vzorek   |         |                    |        |  | Síťovaný vzorek     |         |                    |        |
|--------|---------------------|---------|--------------------|--------|--|---------------------|---------|--------------------|--------|
|        | C <sub>x</sub> [nF] | tgδ [-] | ε <sub>r</sub> [-] | ε' [-] |  | C <sub>x</sub> [nF] | tgδ [-] | ε <sub>r</sub> [-] | ε' [-] |
| 51     | 0,1288              | 0,0115  | 3,7703             | 0,0434 |  | 0,0991              | 0,0097  | 3,7142             | 0,0360 |
| 52     | 0,1290              | 0,0115  | 3,7770             | 0,0436 |  | 0,0994              | 0,0099  | 3,7257             | 0,0368 |
| 53     | 0,1292              | 0,0116  | 3,7815             | 0,0438 |  | 0,0997              | 0,0100  | 3,7363             | 0,0373 |
| 54     | 0,1293              | 0,0117  | 3,7862             | 0,0443 |  | 0,1000              | 0,0101  | 3,7476             | 0,0380 |
| 55     | 0,1296              | 0,0118  | 3,7938             | 0,0449 |  | 0,1003              | 0,0103  | 3,7601             | 0,0387 |
| 56     | 0,1297              | 0,0118  | 3,7961             | 0,0450 |  | 0,1006              | 0,0104  | 3,7717             | 0,0394 |
| 57     | 0,1300              | 0,0120  | 3,8052             | 0,0455 |  | 0,1010              | 0,0107  | 3,7864             | 0,0405 |
| 58     | 0,1302              | 0,0121  | 3,8104             | 0,0462 |  | 0,1014              | 0,0110  | 3,8007             | 0,0418 |
| 59     | 0,1303              | 0,0122  | 3,8143             | 0,0467 |  | 0,1016              | 0,0112  | 3,8095             | 0,0427 |
| 60     | 0,1304              | 0,0124  | 3,8170             | 0,0473 |  | 0,1020              | 0,0115  | 3,8237             | 0,0441 |
| 61     | 0,1304              | 0,0126  | 3,8182             | 0,0481 |  | 0,1024              | 0,0119  | 3,8375             | 0,0457 |
| 62     | 0,1304              | 0,0127  | 3,8179             | 0,0486 |  | 0,1027              | 0,0123  | 3,8512             | 0,0472 |
| 63     | 0,1304              | 0,0129  | 3,8183             | 0,0494 |  | 0,1030              | 0,0127  | 3,8610             | 0,0489 |
| 64     | 0,1304              | 0,0132  | 3,8179             | 0,0503 |  | 0,1034              | 0,0134  | 3,8759             | 0,0518 |
| 65     | 0,1304              | 0,0134  | 3,8179             | 0,0511 |  | 0,1038              | 0,0140  | 3,8906             | 0,0543 |
| 66     | 0,1304              | 0,0136  | 3,8190             | 0,0518 |  | 0,1041              | 0,0144  | 3,9008             | 0,0560 |
| 67     | 0,1304              | 0,0138  | 3,8177             | 0,0525 |  | 0,1044              | 0,0150  | 3,9135             | 0,0587 |
| 68     | 0,1303              | 0,0139  | 3,8152             | 0,0531 |  | 0,1048              | 0,0157  | 3,9267             | 0,0615 |
| 69     | 0,1302              | 0,0142  | 3,8127             | 0,0540 |  | 0,1051              | 0,0164  | 3,9411             | 0,0648 |
| 70     | 0,1301              | 0,0145  | 3,8097             | 0,0551 |  | 0,1055              | 0,0175  | 3,9536             | 0,0692 |
| 71     | 0,1301              | 0,0147  | 3,8076             | 0,0559 |  | 0,1058              | 0,0183  | 3,9646             | 0,0724 |
| 72     | 0,1300              | 0,0149  | 3,8054             | 0,0567 |  | 0,1062              | 0,0190  | 3,9796             | 0,0757 |
| 73     | 0,1299              | 0,0154  | 3,8019             | 0,0584 |  | 0,1067              | 0,0203  | 4,0007             | 0,0814 |
| 74     | 0,1298              | 0,0156  | 3,7992             | 0,0592 |  | 0,1073              | 0,0215  | 4,0206             | 0,0864 |
| 75     | 0,1297              | 0,0158  | 3,7978             | 0,0600 |  | 0,1076              | 0,0230  | 4,0327             | 0,0929 |
| 76     | 0,1296              | 0,0162  | 3,7951             | 0,0614 |  | 0,1080              | 0,0241  | 4,0492             | 0,0975 |
| 77     | 0,1295              | 0,0166  | 3,7908             | 0,0630 |  | 0,1085              | 0,0253  | 4,0666             | 0,1029 |
| 78     | 0,1293              | 0,0171  | 3,7865             | 0,0647 |  | 0,1090              | 0,0267  | 4,0842             | 0,1089 |
| 79     | 0,1292              | 0,0174  | 3,7833             | 0,0660 |  | 0,1095              | 0,0280  | 4,1041             | 0,1151 |
| 80     | 0,1292              | 0,0179  | 3,7812             | 0,0677 |  | 0,1099              | 0,0291  | 4,1189             | 0,1200 |
| 81     | 0,1290              | 0,0184  | 3,7761             | 0,0695 |  | 0,1103              | 0,0303  | 4,1362             | 0,1255 |
| 82     | 0,1288              | 0,0188  | 3,7714             | 0,0710 |  | 0,1108              | 0,0317  | 4,1526             | 0,1317 |
| 83     | 0,1287              | 0,0193  | 3,7674             | 0,0726 |  | 0,1113              | 0,0331  | 4,1722             | 0,1382 |
| 84     | 0,1286              | 0,0197  | 3,7643             | 0,0740 |  | 0,1117              | 0,0347  | 4,1876             | 0,1453 |
| 85     | 0,1283              | 0,0206  | 3,7570             | 0,0775 |  | 0,1120              | 0,0364  | 4,1990             | 0,1527 |
| 86     | 0,1282              | 0,0211  | 3,7529             | 0,0793 |  | 0,1123              | 0,0379  | 4,2113             | 0,1594 |
| 87     | 0,1281              | 0,0214  | 3,7505             | 0,0804 |  | 0,1127              | 0,0394  | 4,2242             | 0,1665 |
| 88     | 0,1279              | 0,0221  | 3,7456             | 0,0828 |  | 0,1128              | 0,0415  | 4,2293             | 0,1753 |
| 89     | 0,1277              | 0,0230  | 3,7380             | 0,0860 |  | 0,1129              | 0,0435  | 4,2319             | 0,1841 |
| 90     | 0,1275              | 0,0235  | 3,7341             | 0,0876 |  | 0,1130              | 0,0457  | 4,2348             | 0,1936 |

| t [°C] | Nesíťovaný vzorek   |         |                    |        |  | Síťovaný vzorek     |         |                    |        |
|--------|---------------------|---------|--------------------|--------|--|---------------------|---------|--------------------|--------|
|        | C <sub>x</sub> [nF] | tgδ [-] | ε <sub>r</sub> [-] | ε''[-] |  | C <sub>x</sub> [nF] | tgδ [-] | ε <sub>r</sub> [-] | ε''[-] |
| 91     | 0,1274              | 0,0242  | 3,7284             | 0,0902 |  | 0,1130              | 0,0464  | 4,2351             | 0,1967 |
| 92     | 0,1271              | 0,0250  | 3,7218             | 0,0929 |  | 0,1131              | 0,0494  | 4,2395             | 0,2094 |
| 93     | 0,1269              | 0,0258  | 3,7146             | 0,0957 |  | 0,1132              | 0,0516  | 4,2436             | 0,2191 |
| 94     | 0,1266              | 0,0267  | 3,7059             | 0,0991 |  | 0,1131              | 0,0539  | 4,2411             | 0,2284 |
| 95     | 0,1264              | 0,0274  | 3,6999             | 0,1013 |  | 0,1128              | 0,0580  | 4,2297             | 0,2453 |
| 96     | 0,1260              | 0,0284  | 3,6898             | 0,1048 |  | 0,1127              | 0,0601  | 4,2255             | 0,2539 |
| 97     | 0,1258              | 0,0290  | 3,6832             | 0,1069 |  | 0,1126              | 0,0619  | 4,2226             | 0,2612 |
| 98     | 0,1255              | 0,0300  | 3,6734             | 0,1100 |  | 0,1124              | 0,0651  | 4,2120             | 0,2741 |
| 99     | 0,1251              | 0,0310  | 3,6625             | 0,1136 |  | 0,1120              | 0,0683  | 4,1993             | 0,2867 |
| 100    | 0,1248              | 0,0319  | 3,6523             | 0,1164 |  | 0,1118              | 0,0705  | 4,1897             | 0,2953 |
| 101    | 0,1243              | 0,0330  | 3,6398             | 0,1199 |  | 0,1113              | 0,0748  | 4,1708             | 0,3120 |
| 102    | 0,1239              | 0,0340  | 3,6275             | 0,1232 |  | 0,1111              | 0,0764  | 4,1650             | 0,3182 |
| 103    | 0,1235              | 0,0350  | 3,6146             | 0,1264 |  | 0,1106              | 0,0802  | 4,1473             | 0,3324 |
| 104    | 0,1227              | 0,0365  | 3,5933             | 0,1312 |  | 0,1102              | 0,0831  | 4,1319             | 0,3433 |
| 105    | 0,1224              | 0,0373  | 3,5820             | 0,1337 |  | 0,1095              | 0,0881  | 4,1058             | 0,3616 |
| 106    | 0,1214              | 0,0389  | 3,5554             | 0,1385 |  | 0,1092              | 0,0904  | 4,0942             | 0,3702 |
| 107    | 0,1211              | 0,0395  | 3,5464             | 0,1399 |  | 0,1089              | 0,0925  | 4,0827             | 0,3778 |
| 108    | 0,1203              | 0,0410  | 3,5231             | 0,1444 |  | 0,1083              | 0,0968  | 4,0593             | 0,3930 |
| 109    | 0,1199              | 0,0419  | 3,5107             | 0,1471 |  | 0,1078              | 0,1002  | 4,0400             | 0,4047 |
| 110    | 0,1190              | 0,0435  | 3,4851             | 0,1516 |  | 0,1073              | 0,1033  | 4,0206             | 0,4152 |
| 111    | 0,1185              | 0,0445  | 3,4700             | 0,1543 |  | 0,1063              | 0,1091  | 3,9861             | 0,4350 |
| 112    | 0,1181              | 0,0451  | 3,4587             | 0,1560 |  | 0,1057              | 0,1134  | 3,9616             | 0,4492 |
| 113    | 0,1173              | 0,0468  | 3,4341             | 0,1607 |  | 0,1050              | 0,1172  | 3,9373             | 0,4616 |
| 114    | 0,1165              | 0,0483  | 3,4117             | 0,1647 |  | 0,1041              | 0,1229  | 3,9036             | 0,4796 |
| 115    | 0,1161              | 0,0492  | 3,3989             | 0,1674 |  | 0,1038              | 0,1256  | 3,8913             | 0,4888 |
| 116    | 0,1156              | 0,0512  | 3,3851             | 0,1735 |  | 0,1030              | 0,1323  | 3,8598             | 0,5107 |
| 117    | 0,1149              | 0,0557  | 3,3625             | 0,1872 |  | 0,1025              | 0,1354  | 3,8430             | 0,5204 |
| 118    | 0,1141              | 0,0603  | 3,3392             | 0,2015 |  | 0,1017              | 0,1404  | 3,8131             | 0,5352 |
| 119    | 0,1133              | 0,0649  | 3,3179             | 0,2154 |  | 0,1010              | 0,1447  | 3,7861             | 0,5480 |
| 120    | 0,1120              | 0,0733  | 3,2775             | 0,2402 |  | 0,1004              | 0,1481  | 3,7651             | 0,5578 |
| 121    | 0,1109              | 0,0784  | 3,2481             | 0,2546 |  | 0,1001              | 0,1500  | 3,7531             | 0,5631 |
| 122    | 0,1093              | 0,0848  | 3,2007             | 0,2713 |  | 0,0988              | 0,1568  | 3,7044             | 0,5810 |
| 123    | 0,1084              | 0,0874  | 3,1740             | 0,2774 |  | 0,0978              | 0,1609  | 3,6679             | 0,5902 |
| 124    | 0,1065              | 0,0912  | 3,1188             | 0,2844 |  | 0,0970              | 0,1639  | 3,6346             | 0,5959 |
| 125    | 0,1042              | 0,0945  | 3,0502             | 0,2883 |  | 0,0960              | 0,1667  | 3,5982             | 0,5999 |
| 126    | 0,1030              | 0,0956  | 3,0160             | 0,2883 |  | 0,0939              | 0,1721  | 3,5198             | 0,6057 |
| 127    | 0,1003              | 0,0983  | 2,9372             | 0,2889 |  | 0,0925              | 0,1751  | 3,4661             | 0,6071 |
| 128    | 0,0985              | 0,0995  | 2,8826             | 0,2869 |  | 0,0914              | 0,1771  | 3,4255             | 0,6067 |
| 129    | 0,0956              | 0,1007  | 2,7974             | 0,2818 |  | 0,0895              | 0,1802  | 3,3539             | 0,6045 |
| 130    | 0,0923              | 0,1019  | 2,7010             | 0,2752 |  | 0,0869              | 0,1833  | 3,2576             | 0,5972 |

| t [°C] | Nesíťovaný vzorek |                 |                  |                  |  | Síťovaný vzorek |                 |                  |                  |
|--------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|--|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
|        | $C_x$ [nF]        | tg $\delta$ [-] | $\epsilon_r$ [-] | $\epsilon''$ [-] |  | $C_x$ [nF]      | tg $\delta$ [-] | $\epsilon_r$ [-] | $\epsilon''$ [-] |
| 131    | 0,0896            | 0,1032          | 2,6228           | 0,2706           |  | 0,0844          | 0,1856          | 3,1628           | 0,5871           |
| 132    | 0,0876            | 0,1037          | 2,5655           | 0,2661           |  | 0,0823          | 0,1870          | 3,0851           | 0,5768           |
| 133    | 0,0830            | 0,1035          | 2,4294           | 0,2515           |  | 0,0783          | 0,1888          | 2,9335           | 0,5539           |
| 134    | 0,0796            | 0,1034          | 2,3294           | 0,2409           |  | 0,0756          | 0,1897          | 2,8335           | 0,5375           |
| 135    | 0,0766            | 0,1037          | 2,2429           | 0,2325           |  | 0,0736          | 0,1904          | 2,7584           | 0,5252           |
| 136    | 0,0741            | 0,1033          | 2,1685           | 0,2240           |  | 0,0715          | 0,1910          | 2,6795           | 0,5117           |
| 137    | 0,0690            | 0,1012          | 2,0215           | 0,2046           |  | 0,0693          | 0,1919          | 2,5968           | 0,4982           |
| 138    | 0,0672            | 0,1005          | 1,9661           | 0,1976           |  | 0,0669          | 0,1926          | 2,5074           | 0,4830           |
| 139    | 0,0646            | 0,0994          | 1,8910           | 0,1879           |  | 0,0652          | 0,1927          | 2,4444           | 0,4711           |
| 140    | 0,0622            | 0,0991          | 1,8222           | 0,1805           |  | 0,0630          | 0,1920          | 2,3627           | 0,4536           |
| 141    | 0,0612            | 0,0990          | 1,7904           | 0,1772           |  | 0,0606          | 0,1908          | 2,2713           | 0,4333           |
| 142    | 0,0591            | 0,0984          | 1,7305           | 0,1703           |  | 0,0586          | 0,1895          | 2,1971           | 0,4163           |
| 143    | 0,0583            | 0,0982          | 1,7078           | 0,1677           |  | 0,0560          | 0,1885          | 2,0990           | 0,3958           |
| 144    | 0,0573            | 0,0980          | 1,6787           | 0,1644           |  | 0,0540          | 0,1875          | 2,0238           | 0,3794           |
| 145    | 0,0562            | 0,0983          | 1,6457           | 0,1618           |  | 0,0522          | 0,1867          | 1,9549           | 0,3650           |
| 146    | 0,0551            | 0,0982          | 1,6127           | 0,1584           |  | 0,0503          | 0,1856          | 1,8865           | 0,3502           |
| 147    | 0,0541            | 0,0976          | 1,5842           | 0,1546           |  | 0,0491          | 0,1845          | 1,8392           | 0,3393           |
| 148    | 0,0530            | 0,0968          | 1,5528           | 0,1504           |  | 0,0476          | 0,1820          | 1,7841           | 0,3248           |
| 149    | 0,0520            | 0,0966          | 1,5217           | 0,1470           |  | 0,0448          | 0,1769          | 1,6775           | 0,2967           |
| 150    | 0,0513            | 0,0961          | 1,5030           | 0,1445           |  | 0,0429          | 0,1733          | 1,6072           | 0,2786           |
| 151    | 0,0500            | 0,0937          | 1,4650           | 0,1373           |  | 0,0421          | 0,1715          | 1,5778           | 0,2706           |
| 152    | 0,0497            | 0,0920          | 1,4543           | 0,1337           |  | 0,0410          | 0,1686          | 1,5352           | 0,2588           |
| 153    | 0,0491            | 0,0908          | 1,4363           | 0,1304           |  | 0,0401          | 0,1667          | 1,5025           | 0,2504           |
| 154    | 0,0488            | 0,0901          | 1,4284           | 0,1288           |  | 0,0376          | 0,1621          | 1,4099           | 0,2285           |
| 155    | 0,0484            | 0,0882          | 1,4167           | 0,1250           |  | 0,0371          | 0,1606          | 1,3902           | 0,2232           |
| 156    | 0,0480            | 0,0857          | 1,4050           | 0,1205           |  | 0,0362          | 0,1580          | 1,3571           | 0,2144           |
| 157    | 0,0476            | 0,0826          | 1,3930           | 0,1150           |  | 0,0339          | 0,1504          | 1,2697           | 0,1910           |
| 158    | 0,0474            | 0,0807          | 1,3865           | 0,1119           |  | 0,0332          | 0,1488          | 1,2446           | 0,1852           |
| 159    | 0,0472            | 0,0787          | 1,3832           | 0,1089           |  | 0,0325          | 0,1473          | 1,2199           | 0,1796           |
| 160    | 0,0472            | 0,0760          | 1,3827           | 0,1050           |  | 0,0321          | 0,1458          | 1,2022           | 0,1753           |
| 161    | 0,0472            | 0,0751          | 1,3814           | 0,1038           |  | 0,0315          | 0,1442          | 1,1820           | 0,1704           |
| 162    | 0,0472            | 0,0735          | 1,3826           | 0,1016           |  | 0,0310          | 0,1426          | 1,1630           | 0,1659           |
| 163    | 0,0474            | 0,0716          | 1,3882           | 0,0995           |  | 0,0304          | 0,1406          | 1,1388           | 0,1601           |
| 164    | 0,0475            | 0,0712          | 1,3914           | 0,0991           |  | 0,0298          | 0,1386          | 1,1167           | 0,1547           |
| 165    | 0,0477            | 0,0710          | 1,3974           | 0,0992           |  | 0,0292          | 0,1364          | 1,0934           | 0,1492           |
| 166    | 0,0479            | 0,0712          | 1,4030           | 0,0999           |  | 0,0288          | 0,1353          | 1,0802           | 0,1462           |
| 167    | 0,0480            | 0,0719          | 1,4038           | 0,1009           |  | 0,0282          | 0,1331          | 1,0568           | 0,1407           |
| 168    | 0,0480            | 0,0730          | 1,4059           | 0,1027           |  | 0,0276          | 0,1314          | 1,0359           | 0,1361           |
| 169    | 0,0480            | 0,0746          | 1,4042           | 0,1048           |  | 0,0271          | 0,1294          | 1,0150           | 0,1314           |
| 170    | 0,0479            | 0,0758          | 1,4017           | 0,1062           |  | 0,0270          | 0,1291          | 1,0104           | 0,1304           |

Tab. 7 Tloušťky vzorků použitých pro měření teplotní závislosti ztrátového činitele, relativní permitivity a imaginární části relativní permitivity pro síťovaný vzorek

| Tloušťka [mm] | Nesíťovaný vzorek |  | Síťovaný vzorek |
|---------------|-------------------|--|-----------------|
| $h_1$         | 0,52              |  | 0,644           |
| $h_2$         | 0,527             |  | 0,742           |
| $h_3$         | 0,516             |  | 0,641           |
| $h_4$         | 0,514             |  | 0,632           |
| $h_5$         | 0,519             |  | 0,665           |
| průměr h      | 0,5192            |  | 0,6648          |

| Vzorek číslo      | Podčíslo | I [pA] |        |       |       |        |        |        |       |        |          | Průměr  | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |  |
|-------------------|----------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|----------|---------|---------------------|---------------------|--|
|                   |          | 1      | 2      | 3     | 4     | 5      | 6      | 7      | 8     | 9      | 10       |         |                     |                     |  |
| Nesíťované vzorky |          |        |        |       |       |        |        |        |       |        |          |         |                     |                     |  |
|                   | 15       | 1425   | 1428   | 1517  | 1597  | 1643   | 1413   | 1400   | 1590  | 919    | 1436,889 | 202,303 | 14,079              |                     |  |
|                   | 60       | 834    | 853    | 902   | 922   | 873    | 858    | 825    | 948   | 669    | 853,778  | 75,724  | 8,869               |                     |  |
|                   | 600      | 232    | 208    | 277   | 291   | 249    | 237    | 227    | 301   | 146    | 240,889  | 44,556  | 18,496              |                     |  |
|                   | 1800     | 224    | 198    | 275   | 289   | 250    | 236    | 229    | 305   | 124    | 236,667  | 51,060  | 21,575              |                     |  |
|                   |          |        |        |       |       |        |        |        |       |        |          |         |                     |                     |  |
|                   | pi1      | 1,709  | 1,674  | 1,682 | 1,732 | 1,882  | 1,647  | 1,697  | 1,677 | 1,374  | 1,675    | 0,124   | 7,430               |                     |  |
|                   | pi10     | 3,595  | 4,101  | 3,256 | 3,168 | 3,506  | 3,620  | 3,634  | 3,150 | 4,582  | 3,624    | 0,438   | 12,094              |                     |  |
|                   | Rv [TΩ]  | 2,232  | 2,525  | 1,818 | 1,730 | 2,000  | 2,119  | 2,183  | 1,639 | 4,032  | 2,253    | 0,680   | 30,195              |                     |  |
|                   | h [mm]   | 0,426  | 0,426  | 0,423 | 0,414 | 0,415  | 0,434  | 0,427  | 0,423 | 0,449  | 0,426    | 0,010   | 2,277               |                     |  |
|                   | ρv [MΩm] | 11,774 | 13,332 | 9,672 | 9,385 | 10,823 | 10,974 | 11,500 | 8,704 | 20,197 | 11,818   | 3,241   | 27,424              |                     |  |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |        |        |        |       |        |        |        |        |       | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2      | 3      | 4      | 5     | 6      | 7      | 8      | 9      | 10    |          |                     |                     |
| 1            | 15       | 920    | 1205   | 1704   | 1258   | 1683  | 1476   | 1279   | 1020   | 1250   | 1770  | 1356,500 | 276,837             | 20,408              |
|              | 60       | 276    | 477    | 563    | 416    | 671   | 455    | 381    | 318    | 329    | 521   | 440,700  | 116,103             | 26,345              |
|              | 600      | 121    | 149    | 221    | 141    | 271   | 174    | 127    | 118    | 144    | 241   | 170,700  | 51,736              | 30,308              |
|              | 1800     | 120    | 144    | 225    | 140    | 265   | 177    | 130    | 119    | 147    | 245   | 171,200  | 51,493              | 30,078              |
|              |          |        |        |        |        |       |        |        |        |        |       |          |                     |                     |
|              | pi1      | 3,333  | 2,526  | 3,027  | 3,024  | 2,508 | 3,244  | 3,357  | 3,208  | 3,799  | 3,397 | 3,142    | 0,375               | 11,920              |
|              | pi10     | 2,281  | 3,201  | 2,548  | 2,950  | 2,476 | 2,615  | 3,000  | 2,695  | 2,285  | 2,162 | 2,621    | 0,326               | 12,423              |
|              | Rv [TΩ]  | 4,167  | 3,472  | 2,222  | 3,571  | 1,887 | 2,825  | 3,846  | 4,202  | 3,401  | 2,041 | 3,163    | 0,822               | 25,990              |
|              | h [mm]   | 0,464  | 0,461  | 0,457  | 0,453  | 0,465 | 0,467  | 0,460  | 0,471  | 0,458  | 0,461 | 0,462    | 0,005               | 1,068               |
|              | ρv [MΩm] | 20,178 | 16,924 | 10,936 | 17,708 | 9,129 | 13,586 | 18,780 | 20,045 | 16,680 | 9,952 | 15,392   | 3,967               | 25,771              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |          |                     |                     |
| 2            | 15       | 2123   | 2782  | 2140  | 2013  | 3384  | 1508  | 2031  | 1675  | 1628  | 1637  | 2092,100 | 556,404             | 26,595              |
|              | 60       | 700    | 856   | 919   | 802   | 1123  | 541   | 755   | 568   | 506   | 515   | 728,500  | 192,639             | 26,443              |
|              | 600      | 596    | 482   | 863   | 716   | 723   | 510   | 764   | 427   | 320   | 364   | 576,500  | 174,698             | 30,303              |
|              | 1800     | 600    | 508   | 874   | 732   | 756   | 530   | 785   | 446   | 341   | 376   | 594,800  | 174,679             | 29,368              |
|              |          |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |                     |                     |
|              | pi1      | 3,033  | 3,250 | 2,329 | 2,510 | 3,013 | 2,787 | 2,690 | 2,949 | 3,217 | 3,179 | 2,896    | 0,295               | 10,180              |
|              | pi10     | 1,174  | 1,776 | 1,065 | 1,120 | 1,553 | 1,061 | 0,988 | 1,330 | 1,581 | 1,415 | 1,306    | 0,253               | 19,384              |
|              | Rv [TΩ]  | 0,833  | 0,984 | 0,572 | 0,683 | 0,661 | 0,943 | 0,637 | 1,121 | 1,466 | 1,330 | 0,923    | 0,290               | 31,452              |
|              | h [mm]   | 0,470  | 0,439 | 0,460 | 0,446 | 0,449 | 0,481 | 0,456 | 0,474 | 0,461 | 0,450 | 0,458    | 0,013               | 2,728               |
|              | ρv [MΩm] | 3,989  | 5,042 | 2,797 | 3,443 | 3,311 | 4,413 | 3,140 | 5,317 | 7,156 | 6,637 | 4,525    | 1,419               | 31,356              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |          |                     |                     |
| 3            | 15       | 1681   | 1989  | 2851  | 2690  | 2437  | 2251  | 2320  | 2987  | 2630  | 1874  | 2371,000 | 408,545             | 17,231              |
|              | 60       | 523    | 573   | 987   | 834   | 806   | 647   | 541   | 808   | 709   | 453   | 688,100  | 160,763             | 23,363              |
|              | 600      | 376    | 345   | 744   | 554   | 640   | 434   | 456   | 556   | 471   | 268   | 484,400  | 135,319             | 27,935              |
|              | 1800     | 398    | 368   | 768   | 599   | 662   | 442   | 471   | 609   | 493   | 282   | 509,200  | 140,893             | 27,670              |
|              |          |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |                     |                     |
|              | pi1      | 3,214  | 3,471 | 2,889 | 3,225 | 3,024 | 3,479 | 4,288 | 3,697 | 3,709 | 4,137 | 3,513    | 0,432               | 12,299              |
|              | pi10     | 1,391  | 1,661 | 1,327 | 1,505 | 1,259 | 1,491 | 1,186 | 1,453 | 1,505 | 1,690 | 1,447    | 0,153               | 10,582              |
|              | Rv [TΩ]  | 1,256  | 1,359 | 0,651 | 0,835 | 0,755 | 1,131 | 1,062 | 0,821 | 1,014 | 1,773 | 1,066    | 0,318               | 29,836              |
|              | h [mm]   | 0,471  | 0,449 | 0,464 | 0,450 | 0,463 | 0,442 | 0,430 | 0,447 | 0,453 | 0,448 | 0,452    | 0,011               | 2,477               |
|              | ρv [MΩm] | 5,999  | 6,800 | 3,157 | 4,170 | 3,669 | 5,756 | 5,550 | 4,133 | 5,037 | 8,905 | 5,317    | 1,611               | 30,301              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |       |        |        |       |        |        |        |        |        | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2     | 3      | 4      | 5     | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |          |                     |                     |
| 4            | 15       | 2558   | 2396  | 1298   | 1816   | 2381  | 1702   | 1413   | 2062   | 1854   | 1683   | 1916,300 | 403,605             | 21,062              |
|              | 60       | 891    | 871   | 433    | 596    | 885   | 505    | 416    | 691    | 589    | 386    | 626,300  | 189,054             | 30,186              |
|              | 600      | 327    | 318   | 112    | 186    | 319   | 187    | 124    | 200    | 203    | 174    | 215,000  | 75,189              | 34,972              |
|              | 1800     | 345    | 340   | 113    | 194    | 340   | 190    | 131    | 206    | 214    | 178    | 225,100  | 81,919              | 36,392              |
|              |          |        |       |        |        |       |        |        |        |        |        |          |                     |                     |
|              | pi1      | 2,871  | 2,751 | 2,998  | 3,047  | 2,690 | 3,370  | 3,397  | 2,984  | 3,148  | 4,360  | 3,162    | 0,456               | 14,433              |
|              | pi10     | 2,725  | 2,739 | 3,866  | 3,204  | 2,774 | 2,701  | 3,355  | 3,455  | 2,901  | 2,218  | 2,994    | 0,450               | 15,047              |
|              | Rv [TΩ]  | 1,449  | 1,471 | 4,425  | 2,577  | 1,471 | 2,632  | 3,817  | 2,427  | 2,336  | 2,809  | 2,541    | 0,938               | 36,904              |
|              | h [mm]   | 0,445  | 0,447 | 0,453  | 0,447  | 0,446 | 0,457  | 0,464  | 0,460  | 0,459  | 0,474  | 0,455    | 0,009               | 1,954               |
|              | ρv [MΩm] | 7,325  | 7,389 | 21,948 | 12,967 | 7,409 | 12,934 | 18,484 | 11,851 | 11,438 | 13,333 | 12,508   | 4,545               | 36,335              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |       |        |        |       |       |        |       |       |    | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|----|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2     | 3      | 4      | 5     | 6     | 7      | 8     | 9     | 10 |          |                     |                     |
| 5            | 15       | 2081   | 2427  | 1911   | 1623   | 2475  | 2180  | 2068   | 2210  | 2601  |    | 2175,111 | 284,979             | 13,102              |
|              | 60       | 631    | 913   | 654    | 476    | 945   | 521   | 553    | 535   | 803   |    | 670,111  | 165,291             | 24,666              |
|              | 600      | 194    | 293   | 214    | 198    | 320   | 272   | 233    | 251   | 416   |    | 265,667  | 66,672              | 25,096              |
|              | 1800     | 198    | 317   | 231    | 210    | 345   | 275   | 234    | 255   | 421   |    | 276,222  | 68,425              | 24,772              |
|              |          |        |       |        |        |       |       |        |       |       |    |          |                     |                     |
|              | pi1      | 3,298  | 2,658 | 2,922  | 3,410  | 2,619 | 4,184 | 3,740  | 4,131 | 3,239 |    | 3,356    | 0,545               | 16,237              |
|              | pi10     | 3,253  | 3,116 | 3,056  | 2,404  | 2,953 | 1,915 | 2,373  | 2,131 | 1,930 |    | 2,570    | 0,499               | 19,424              |
|              | Rv [TΩ]  | 2,525  | 1,577 | 2,165  | 2,381  | 1,449 | 1,818 | 2,137  | 1,961 | 1,188 |    | 1,911    | 0,418               | 21,870              |
|              | h [mm]   | 0,449  | 0,437 | 0,443  | 0,483  | 0,444 | 0,448 | 0,455  | 0,457 | 0,457 |    | 0,453    | 0,012               | 2,744               |
|              | ρv [MΩm] | 12,638 | 8,106 | 10,994 | 11,091 | 7,341 | 9,123 | 10,548 | 9,649 | 5,840 |    | 9,481    | 1,996               | 21,055              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |        |        |        |        |        |       |        |        |       | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7     | 8      | 9      | 10    |          |                     |                     |
| 6            | 15       | 2140   | 1153   | 1198   | 978    | 1019   | 1614   | 2027  | 1813   | 931    | 2351  | 1522,400 | 505,638             | 33,213              |
|              | 60       | 575    | 532    | 447    | 303    | 377    | 496    | 741   | 611    | 287    | 740   | 510,900  | 153,491             | 30,043              |
|              | 600      | 442    | 153    | 111    | 80     | 107    | 219    | 297   | 232    | 131    | 415   | 218,700  | 122,485             | 56,006              |
|              | 1800     | 459    | 144    | 106    | 75     | 106    | 232    | 320   | 236    | 132    | 429   | 223,900  | 130,991             | 58,504              |
|              |          |        |        |        |        |        |        |       |        |        |       |          |                     |                     |
|              | pi1      | 3,722  | 2,167  | 2,680  | 3,228  | 2,703  | 3,254  | 2,735 | 2,967  | 3,244  | 3,177 | 2,988    | 0,410               | 13,725              |
|              | pi10     | 1,301  | 3,477  | 4,027  | 3,788  | 3,523  | 2,265  | 2,495 | 2,634  | 2,191  | 1,783 | 2,748    | 0,866               | 31,501              |
|              | Rv [TΩ]  | 1,089  | 3,472  | 4,717  | 6,667  | 4,717  | 2,155  | 1,563 | 2,119  | 3,788  | 1,166 | 3,145    | 1,748               | 55,569              |
|              | h [mm]   | 0,439  | 0,462  | 0,456  | 0,496  | 0,445  | 0,452  | 0,455 | 0,446  | 0,483  | 0,447 | 0,458    | 0,017               | 3,729               |
|              | ρv [MΩm] | 5,573  | 16,888 | 23,264 | 30,215 | 23,818 | 10,719 | 7,713 | 10,688 | 17,630 | 5,861 | 15,237   | 8,061               | 52,907              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |       |        |        |        |        |        |        |        |       | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2     | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10    |          |                     |                     |
| 7            | 15       | 1681   | 2016  | 2013   | 945    | 1264   | 1795   | 1310   | 1419   | 1494   | 2161  | 1609,800 | 370,404             | 23,009              |
|              | 60       | 494    | 623   | 582    | 247    | 404    | 526    | 420    | 383    | 357    | 580   | 461,600  | 113,129             | 24,508              |
|              | 600      | 201    | 260   | 218    | 111    | 145    | 192    | 170    | 152    | 132    | 245   | 182,600  | 46,648              | 25,547              |
|              | 1800     | 210    | 292   | 230    | 118    | 151    | 216    | 179    | 160    | 134    | 248   | 193,800  | 52,117              | 26,892              |
|              |          |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |          |                     |                     |
|              | pi1      | 3,403  | 3,236 | 3,459  | 3,826  | 3,129  | 3,413  | 3,119  | 3,705  | 4,185  | 3,726 | 3,520    | 0,322               | 9,143               |
|              | pi10     | 2,458  | 2,396 | 2,670  | 2,225  | 2,786  | 2,740  | 2,471  | 2,520  | 2,705  | 2,367 | 2,534    | 0,175               | 6,899               |
|              | Rv [TΩ]  | 2,381  | 1,712 | 2,174  | 4,237  | 3,311  | 2,315  | 2,793  | 3,125  | 3,731  | 2,016 | 2,780    | 0,768               | 27,626              |
|              | h [mm]   | 0,456  | 0,467 | 0,463  | 0,492  | 0,491  | 0,451  | 0,449  | 0,476  | 0,473  | 0,463 | 0,468    | 0,014               | 3,071               |
|              | ρv [MΩm] | 11,738 | 8,236 | 10,546 | 19,345 | 15,167 | 11,548 | 13,991 | 14,752 | 17,726 | 9,780 | 13,283   | 3,366               | 25,344              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |        |        |       |        |        |       |        |       |        | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2      | 3      | 4     | 5      | 6      | 7     | 8      | 9     | 10     |          |                     |                     |
| 8            | 15       | 1373   | 1495   | 1462   | 1786  | 1203   | 1440   | 2113  | 1766   | 2951  | 1578   | 1716,700 | 477,454             | 27,812              |
|              | 60       | 396    | 424    | 446    | 458   | 382    | 371    | 564   | 472    | 851   | 477    | 484,100  | 133,386             | 27,553              |
|              | 600      | 137    | 128    | 134    | 243   | 119    | 196    | 232   | 188    | 456   | 181    | 201,400  | 94,329              | 46,837              |
|              | 1800     | 140    | 136    | 137    | 257   | 125    | 199    | 254   | 192    | 492   | 169    | 210,100  | 104,271             | 49,629              |
|              |          |        |        |        |       |        |        |       |        |       |        |          |                     |                     |
|              | pi1      | 3,467  | 3,526  | 3,278  | 3,900 | 3,149  | 3,881  | 3,746 | 3,742  | 3,468 | 3,308  | 3,547    | 0,248               | 6,990               |
|              | pi10     | 2,891  | 3,313  | 3,328  | 1,885 | 3,210  | 1,893  | 2,431 | 2,511  | 1,866 | 2,635  | 2,596    | 0,555               | 21,385              |
|              | Rv [TΩ]  | 3,571  | 3,676  | 3,650  | 1,946 | 4,000  | 2,513  | 1,969 | 2,604  | 1,016 | 2,959  | 2,790    | 0,910               | 32,598              |
|              | h [mm]   | 0,476  | 0,462  | 0,461  | 0,453 | 0,466  | 0,430  | 0,451 | 0,456  | 0,441 | 0,451  | 0,455    | 0,012               | 2,736               |
|              | ρv [MΩm] | 16,853 | 17,874 | 17,797 | 9,659 | 19,304 | 13,148 | 9,812 | 12,838 | 5,183 | 14,740 | 13,721   | 4,262               | 31,064              |



| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |        |        |       |        |        |        |        |       |        | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2      | 3      | 4     | 5      | 6      | 7      | 8      | 9     | 10     |          |                     |                     |
| 9            | 15       | 2017   | 1517   | 1664   | 1791  | 1497   | 1903   | 1371   | 1629   | 2081  | 841    | 1631,100 | 342,757             | 21,014              |
|              | 60       | 526    | 400    | 331    | 398   | 366    | 529    | 337    | 389    | 533   | 181    | 399,000  | 104,004             | 26,066              |
|              | 600      | 238    | 152    | 204    | 213   | 148    | 165    | 134    | 145    | 251   | 89     | 173,900  | 48,325              | 27,789              |
|              | 1800     | 251    | 165    | 211    | 266   | 152    | 163    | 142    | 152    | 261   | 73     | 183,600  | 58,995              | 32,132              |
|              |          |        |        |        |       |        |        |        |        |       |        |          |                     |                     |
|              | pi1      | 3,835  | 3,793  | 5,027  | 4,500 | 4,090  | 3,597  | 4,068  | 4,188  | 3,904 | 4,646  | 4,165    | 0,417               | 10,018              |
|              | pi10     | 2,210  | 2,632  | 1,623  | 1,869 | 2,473  | 3,206  | 2,515  | 2,683  | 2,124 | 2,034  | 2,337    | 0,435               | 18,631              |
|              | Rv [TΩ]  | 1,992  | 3,030  | 2,370  | 1,880 | 3,289  | 3,067  | 3,521  | 3,289  | 1,916 | 6,849  | 3,120    | 1,377               | 44,128              |
|              | h [mm]   | 0,449  | 0,471  | 0,457  | 0,474 | 0,468  | 0,462  | 0,474  | 0,460  | 0,451 | 0,437  | 0,460    | 0,011               | 2,473               |
|              | pV [MΩm] | 9,969  | 14,457 | 11,667 | 8,922 | 15,801 | 14,939 | 16,685 | 16,083 | 9,540 | 35,202 | 15,326   | 7,178               | 46,831              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |        |       |        |        |        |        |        |        |        | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2      | 3     | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |          |                     |                     |
| 10           | 15       | 1810   | 1775   | 2472  | 2010   | 1571   | 1403   | 1621   | 1606   | 1629   | 1095   | 1699,200 | 346,525             | 20,393              |
|              | 60       | 445    | 467    | 879   | 531    | 378    | 424    | 618    | 524    | 522    | 270    | 505,800  | 153,923             | 30,432              |
|              | 600      | 257    | 167    | 273   | 190    | 148    | 140    | 169    | 116    | 143    | 109    | 171,200  | 52,272              | 30,533              |
|              | 1800     | 272    | 183    | 292   | 207    | 142    | 142    | 175    | 117    | 147    | 112    | 178,900  | 58,591              | 32,751              |
|              |          |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |          |                     |                     |
|              | pi1      | 4,067  | 3,801  | 2,812 | 3,785  | 4,156  | 3,309  | 2,623  | 3,065  | 3,121  | 4,056  | 3,480    | 0,533               | 15,317              |
|              | pi10     | 1,732  | 2,796  | 3,220 | 2,795  | 2,554  | 3,029  | 3,657  | 4,517  | 3,650  | 2,477  | 3,043    | 0,732               | 24,045              |
|              | Rv [TΩ]  | 1,838  | 2,732  | 1,712 | 2,415  | 3,521  | 3,521  | 2,857  | 4,274  | 3,401  | 4,464  | 3,074    | 0,886               | 28,839              |
|              | h [mm]   | 0,447  | 0,453  | 0,447 | 0,441  | 0,455  | 0,472  | 0,453  | 0,456  | 0,448  | 0,458  | 0,453    | 0,008               | 1,763               |
|              | pV [MΩm] | 9,245  | 13,553 | 8,611 | 12,318 | 17,389 | 16,770 | 14,185 | 21,086 | 17,060 | 21,931 | 15,215   | 4,261               | 28,008              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |        |        |        |        |        |        |        |       |    | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|----|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9     | 10 |          |                     |                     |
| 11           | 15       | 1264   | 1368   | 1608   | 1764   | 1623   | 1642   | 1394   | 1651   | 2301  |    | 1623,889 | 284,268             | 17,505              |
|              | 60       | 313    | 487    | 478    | 448    | 396    | 529    | 447    | 512    | 727   |    | 481,889  | 106,204             | 22,039              |
|              | 600      | 115    | 136    | 165    | 169    | 155    | 196    | 131    | 164    | 356   |    | 176,333  | 67,412              | 38,230              |
|              | 1800     | 118    | 138    | 171    | 178    | 166    | 189    | 132    | 178    | 375   |    | 182,778  | 71,673              | 39,213              |
|              |          |        |        |        |        |        |        |        |        |       |    |          |                     |                     |
|              | pi1      | 4,038  | 2,809  | 3,364  | 3,938  | 4,098  | 3,104  | 3,119  | 3,225  | 3,165 |    | 3,429    | 0,445               | 12,970              |
|              | pi10     | 2,722  | 3,581  | 2,897  | 2,651  | 2,555  | 2,699  | 3,412  | 3,122  | 2,042 |    | 2,853    | 0,440               | 15,432              |
|              | Rv [TΩ]  | 4,237  | 3,623  | 2,924  | 2,809  | 3,012  | 2,646  | 3,788  | 2,809  | 1,333 |    | 3,020    | 0,783               | 25,928              |
|              | h [mm]   | 0,465  | 0,473  | 0,468  | 0,440  | 0,453  | 0,479  | 0,458  | 0,468  | 0,432 |    | 0,459    | 0,015               | 3,179               |
|              | pV [MΩm] | 20,502 | 17,227 | 14,039 | 14,345 | 14,954 | 12,426 | 18,584 | 13,481 | 6,945 |    | 14,723   | 3,690               | 25,065              |

| Vzorek<br>číslo | Podčíslo | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | Průměr   | Směrodatná<br>odchylka | Variční<br>koeficient |
|-----------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|------------------------|-----------------------|
|                 |          | t [s]  | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] |          |                        |                       |
| 12              | 15       | 1303   | 1003   | 1643   | 1238   | 1654   | 1610   | 1765   | 856    | 1332   | 1110   | 1351,400 | 292,437                | 21,640                |
|                 | 60       | 446    | 221    | 543    | 250    | 271    | 529    | 493    | 198    | 334    | 239    | 352,400  | 129,406                | 36,721                |
|                 | 600      | 120    | 107    | 168    | 110    | 154    | 231    | 224    | 110    | 151    | 121    | 149,600  | 43,779                 | 29,264                |
|                 | 1800     | 128    | 105    | 169    | 110    | 169    | 194    | 208    | 102    | 150    | 120    | 145,500  | 36,239                 | 24,906                |
| 12              | pi1      | 2,922  | 4,538  | 3,026  | 4,952  | 6,103  | 3,043  | 3,580  | 4,323  | 3,988  | 4,644  | 4,112    | 0,960                  | 23,349                |
|                 | pi10     | 3,717  | 2,065  | 3,232  | 2,273  | 1,760  | 2,290  | 2,201  | 1,800  | 2,212  | 1,975  | 2,352    | 0,597                  | 25,395                |
|                 | Rv [TΩ]  | 3,906  | 4,762  | 2,959  | 4,545  | 2,959  | 2,577  | 2,404  | 4,902  | 3,333  | 4,167  | 3,651    | 0,877                  | 24,029                |
|                 | h [mm]   | 0,488  | 0,500  | 0,478  | 0,479  | 0,475  | 0,481  | 0,474  | 0,479  | 0,477  | 0,488  | 0,482    | 0,007                  | 1,541                 |
|                 | pV [MΩm] | 18,002 | 21,427 | 13,914 | 21,315 | 14,002 | 12,045 | 11,405 | 22,996 | 15,723 | 19,210 | 17,004   | 3,950                  | 23,231                |

| Vzorek<br>číslo | Podčíslo | 1     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | Průměr   | Směrodatná<br>odchylka | Variční<br>koeficient |
|-----------------|----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|------------------------|-----------------------|
|                 |          | t [s] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] |          |                        |                       |
| 13              | 15       | 2520  | 2341   | 1583   | 1571   | 1312   | 2371   | 2741   | 2921   | 1816   | 2531   | 2170,700 | 527,006                | 24,278                |
|                 | 60       | 766   | 703    | 463    | 411    | 345    | 653    | 764    | 1005   | 512    | 661    | 628,300  | 188,379                | 29,982                |
|                 | 600      | 321   | 348    | 177    | 136    | 154    | 349    | 479    | 630    | 255    | 352    | 320,100  | 144,954                | 45,284                |
|                 | 1800     | 334   | 327    | 174    | 114    | 161    | 370    | 504    | 561    | 268    | 370    | 318,300  | 137,437                | 43,179                |
| 13              | pi1      | 3,290 | 3,330  | 3,419  | 3,822  | 3,803  | 3,631  | 3,588  | 2,906  | 3,547  | 3,829  | 3,517    | 0,276                  | 7,840                 |
|                 | pi10     | 2,386 | 2,020  | 2,616  | 3,022  | 2,240  | 1,871  | 1,595  | 1,595  | 2,008  | 1,878  | 2,123    | 0,429                  | 20,198                |
|                 | Rv [TΩ]  | 1,497 | 1,529  | 2,874  | 4,386  | 3,106  | 1,351  | 0,992  | 0,891  | 1,866  | 1,351  | 1,984    | 1,061                  | 53,466                |
|                 | h [mm]   | 0,445 | 0,459  | 0,469  | 0,446  | 0,450  | 0,448  | 0,452  | 0,437  | 0,437  | 0,461  | 0,450    | 0,010                  | 2,155                 |
|                 | pV [MΩm] | 7,566 | 7,489  | 13,768 | 22,117 | 15,521 | 6,784  | 4,936  | 4,585  | 9,589  | 6,595  | 9,895    | 5,298                  | 53,543                |

| Vzorek<br>číslo | Podčíslo | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | Průměr   | Směrodatná<br>odchylka | Variční<br>koeficient |
|-----------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|------------------------|-----------------------|
|                 |          | t [s]  | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] |          |                        |                       |
| 14              | 15       | 1313   | 1512   | 2294   | 1391   | 1618   | 1813   | 1689   | 1339   | 1070   | 1230   | 1526,900 | 331,893                | 21,736                |
|                 | 60       | 351    | 336    | 613    | 422    | 528    | 632    | 561    | 429    | 343    | 443    | 465,800  | 105,414                | 22,631                |
|                 | 600      | 134    | 151    | 245    | 196    | 132    | 152    | 133    | 116    | 73     | 98     | 143,000  | 46,167                 | 32,285                |
|                 | 1800     | 105    | 140    | 248    | 114    | 127    | 150    | 129    | 109    | 66     | 96     | 128,400  | 45,807                 | 35,675                |
| 14              | pi1      | 3,741  | 4,500  | 3,742  | 3,296  | 3,064  | 2,869  | 3,011  | 3,121  | 3,120  | 2,777  | 3,324    | 0,499                  | 15,006                |
|                 | pi10     | 2,619  | 2,225  | 2,502  | 2,153  | 4,000  | 4,158  | 4,218  | 3,698  | 4,699  | 4,520  | 3,479    | 0,945                  | 27,148                |
|                 | Rv [TΩ]  | 4,762  | 3,571  | 2,016  | 4,386  | 3,937  | 3,333  | 3,876  | 4,587  | 7,576  | 5,208  | 4,325    | 1,373                  | 31,738                |
|                 | h [mm]   | 0,480  | 0,470  | 0,452  | 0,469  | 0,470  | 0,438  | 0,458  | 0,452  | 0,470  | 0,480  | 0,464    | 0,013                  | 2,818                 |
|                 | pV [MΩm] | 22,283 | 17,075 | 10,036 | 21,023 | 18,847 | 17,124 | 19,016 | 22,834 | 36,219 | 24,372 | 20,883   | 6,380                  | 30,553                |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |       |        |        |        |        |        |        |        |       | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2     | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10    |          |                     |                     |
| 15           | 15       | 1851   | 1934  | 1714   | 1753   | 2101   | 2054   | 1077   | 1942   | 1843   | 2194  | 1846,300 | 293,908             | 15,919              |
|              | 60       | 864    | 1013  | 749    | 813    | 1005   | 945    | 509    | 911    | 864    | 989   | 866,200  | 144,319             | 16,661              |
|              | 600      | 213    | 249   | 159    | 176    | 206    | 201    | 101    | 192    | 157    | 278   | 193,200  | 47,116              | 24,387              |
|              | 1800     | 206    | 263   | 167    | 180    | 208    | 208    | 84     | 188    | 166    | 290   | 196,000  | 53,215              | 27,150              |
|              |          |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |          |                     |                     |
|              | pi1      | 2,142  | 1,909 | 2,288  | 2,156  | 2,091  | 2,174  | 2,116  | 2,132  | 2,133  | 2,218 | 2,136    | 0,093               | 4,337               |
|              | pi10     | 4,056  | 4,068 | 4,711  | 4,619  | 4,879  | 4,701  | 5,040  | 4,745  | 5,503  | 3,558 | 4,588    | 0,529               | 11,521              |
|              | Rv [TΩ]  | 2,427  | 1,901 | 2,994  | 2,778  | 2,404  | 2,404  | 5,952  | 2,660  | 3,012  | 1,724 | 2,826    | 1,116               | 39,492              |
|              | h [mm]   | 0,437  | 0,439 | 0,434  | 0,443  | 0,408  | 0,418  | 0,435  | 0,434  | 0,440  | 0,439 | 0,433    | 0,010               | 2,422               |
|              | ρv [MΩm] | 12,480 | 9,731 | 15,515 | 14,096 | 13,251 | 12,922 | 30,789 | 13,770 | 15,403 | 8,821 | 14,678   | 5,751               | 39,179              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |        |        |        |        |        |        |        |        |        | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |          |                     |                     |
| 16           | 15       | 2081   | 1198   | 1002   | 1138   | 889    | 1496   | 1246   | 1054   | 1112   | 926    | 1214,200 | 332,834             | 27,412              |
|              | 60       | 616    | 338    | 298    | 300    | 245    | 361    | 452    | 395    | 336    | 289    | 363,000  | 100,949             | 27,810              |
|              | 600      | 322    | 111    | 77     | 97     | 48     | 118    | 138    | 101    | 69     | 46     | 112,700  | 75,286              | 66,802              |
|              | 1800     | 328    | 109    | 78     | 96     | 41     | 117    | 99     | 74     | 65     | 42     | 104,900  | 78,333              | 74,674              |
|              |          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |                     |                     |
|              | pi1      | 3,378  | 3,544  | 3,362  | 3,793  | 3,629  | 4,144  | 2,757  | 2,668  | 3,310  | 3,204  | 3,379    | 0,421               | 12,467              |
|              | pi10     | 1,913  | 3,045  | 3,870  | 3,093  | 5,104  | 3,059  | 3,275  | 3,911  | 4,870  | 6,283  | 3,842    | 1,203               | 31,299              |
|              | Rv [TΩ]  | 1,524  | 4,587  | 6,410  | 5,208  | 12,195 | 4,274  | 5,051  | 6,757  | 7,692  | 11,905 | 6,560    | 3,166               | 48,263              |
|              | h [mm]   | 0,462  | 0,500  | 0,480  | 0,462  | 0,470  | 0,472  | 0,465  | 0,465  | 0,473  | 0,511  | 0,476    | 0,016               | 3,345               |
|              | ρv [MΩm] | 7,411  | 20,616 | 30,046 | 25,343 | 58,304 | 20,354 | 24,437 | 32,679 | 36,590 | 52,351 | 30,813   | 14,452              | 46,903              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |        |        |        |        |        |        |        |        |    | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10 |          |                     |                     |
| 17           | 15       | 2091   | 1519   | 1730   | 1774   | 2073   | 1054   | 1783   | 1248   | 1723   |    | 1666,111 | 324,867             | 19,499              |
|              | 60       | 785    | 507    | 651    | 614    | 812    | 398    | 701    | 511    | 545    |    | 613,778  | 129,468             | 21,094              |
|              | 600      | 208    | 117    | 174    | 139    | 218    | 60     | 124    | 107    | 135    |    | 142,444  | 47,270              | 33,185              |
|              | 1800     | 222    | 116    | 155    | 144    | 224    | 59     | 135    | 98     | 131    |    | 142,667  | 50,513              | 35,406              |
|              |          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |          |                     |                     |
|              | pi1      | 2,664  | 2,996  | 2,657  | 2,889  | 2,553  | 2,648  | 2,544  | 2,442  | 3,161  |    | 2,728    | 0,223               | 8,173               |
|              | pi10     | 3,774  | 4,333  | 3,741  | 4,417  | 3,725  | 6,633  | 5,653  | 4,776  | 4,037  |    | 4,566    | 0,935               | 20,483              |
|              | Rv [TΩ]  | 2,252  | 4,310  | 3,226  | 3,472  | 2,232  | 8,475  | 3,704  | 5,102  | 3,817  |    | 4,066    | 1,779               | 43,750              |
|              | h [mm]   | 0,442  | 0,469  | 0,458  | 0,428  | 0,435  | 0,477  | 0,450  | 0,458  | 0,442  |    | 0,451    | 0,015               | 3,316               |
|              | ρv [MΩm] | 11,460 | 20,669 | 15,819 | 18,237 | 11,525 | 39,973 | 18,494 | 25,064 | 19,421 |    | 20,074   | 8,116               | 40,434              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |        |        |        |        |        |        |        |       |        | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9     | 10     |          |                     |                     |
| 18           | 15       | 2653   | 1654   | 1738   | 2121   | 1922   | 1636   | 1419   | 1851   | 1903  | 2763   | 1966,000 | 413,252             | 21,020              |
|              | 60       | 918    | 673    | 523    | 812    | 853    | 574    | 493    | 698    | 820   | 1261   | 762,500  | 215,481             | 28,260              |
|              | 600      | 349    | 140    | 139    | 181    | 199    | 128    | 119    | 171    | 170   | 367    | 196,300  | 84,334              | 42,962              |
|              | 1800     | 364    | 145    | 142    | 194    | 206    | 127    | 120    | 179    | 180   | 395    | 205,200  | 91,478              | 44,580              |
| 18           | pi1      | 2,890  | 2,458  | 3,323  | 2,612  | 2,253  | 2,850  | 2,878  | 2,652  | 2,321 | 2,191  | 2,643    | 0,334               | 12,647              |
|              | pi10     | 2,630  | 4,807  | 3,763  | 4,486  | 4,286  | 4,484  | 4,143  | 4,082  | 4,824 | 3,436  | 4,094    | 0,638               | 15,585              |
|              | Rv [TΩ]  | 1,374  | 3,448  | 3,521  | 2,577  | 2,427  | 3,937  | 4,167  | 2,793  | 2,778 | 1,266  | 2,829    | 0,931               | 32,916              |
|              | h [mm]   | 0,460  | 0,441  | 0,462  | 0,444  | 0,451  | 0,456  | 0,441  | 0,454  | 0,454 | 0,438  | 0,450    | 0,008               | 1,812               |
| pv [MΩm]     | 6,719    | 17,586 | 17,126 | 13,037 | 12,088 | 19,392 | 21,240 | 13,831 | 13,760 | 6,503 | 14,128 | 4,667    | 33,036              |                     |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |        |        |        |        |        |        |        |        |        | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |          |                     |                     |
| 19           | 15       | 2180   | 1913   | 2012   | 1536   | 2263   | 1664   | 1224   | 1101   | 1606   | 1769   | 1726,800 | 361,948             | 20,961              |
|              | 60       | 1095   | 927    | 955    | 618    | 899    | 1009   | 695    | 474    | 745    | 913    | 833,000  | 183,300             | 22,005              |
|              | 600      | 283    | 221    | 239    | 168    | 242    | 205    | 129    | 85     | 142    | 152    | 186,600  | 58,140              | 31,157              |
|              | 1800     | 283    | 216    | 244    | 177    | 257    | 201    | 127    | 81     | 148    | 156    | 189,000  | 59,816              | 31,649              |
| 19           | pi1      | 1,991  | 2,064  | 2,107  | 2,485  | 2,517  | 1,649  | 1,761  | 2,323  | 2,156  | 1,938  | 2,099    | 0,271               | 12,899              |
|              | pi10     | 3,869  | 4,195  | 3,996  | 3,679  | 3,715  | 4,922  | 5,388  | 5,576  | 5,246  | 6,007  | 4,659    | 0,821               | 17,613              |
|              | Rv [TΩ]  | 1,767  | 2,315  | 2,049  | 2,825  | 1,946  | 2,488  | 3,937  | 6,173  | 3,378  | 3,205  | 3,008    | 1,242               | 41,292              |
|              | h [mm]   | 0,438  | 0,446  | 0,432  | 0,428  | 0,434  | 0,458  | 0,448  | 0,470  | 0,446  | 0,444  | 0,444    | 0,012               | 2,686               |
| pv [MΩm]     | 9,072    | 11,668 | 10,663 | 14,830 | 10,082 | 12,215 | 19,755 | 29,525 | 17,036 | 16,221 | 15,107 | 5,798    | 38,378              |                     |

| Vzorek číslo | Podčíslo | I [pA] |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |          |                     |                     |
| 20           | 15       | 2173   | 1478  | 1143  | 2191  | 1852  | 2094  | 1413  | 1576  | 1934  | 1765  | 1761,900 | 334,827             | 19,004              |
|              | 60       | 853    | 644   | 399   | 1093  | 768   | 927   | 752   | 911   | 978   | 867   | 819,200  | 183,864             | 22,444              |
|              | 600      | 236    | 136   | 61    | 220   | 170   | 223   | 131   | 166   | 269   | 169   | 178,100  | 57,780              | 32,442              |
|              | 1800     | 238    | 144   | 60    | 232   | 172   | 238   | 121   | 167   | 267   | 181   | 182,000  | 60,309              | 33,137              |
| 20           | pi1      | 2,547  | 2,295 | 2,865 | 2,005 | 2,411 | 2,259 | 1,879 | 1,730 | 1,978 | 2,036 | 2,200    | 0,325               | 14,785              |
|              | pi10     | 3,614  | 4,735 | 6,541 | 4,968 | 4,518 | 4,157 | 5,740 | 5,488 | 3,636 | 5,130 | 4,853    | 0,881               | 18,149              |
|              | Rv [TΩ]  | 2,101  | 3,472 | 8,333 | 2,155 | 2,907 | 2,101 | 4,132 | 2,994 | 1,873 | 2,762 | 3,283    | 1,811               | 55,177              |
|              | h [mm]   | 0,438  | 0,430 | 0,455 | 0,440 | 0,443 | 0,429 | 0,446 | 0,451 | 0,443 | 0,441 | 0,442    | 0,008               | 1,747               |
| pv [MΩm]     | 0,011    | 0,018  | 0,041 | 0,011 | 0,015 | 0,011 | 0,021 | 0,015 | 0,009 | 0,014 | 0,017 | 0,009    | 53,318              |                     |

| Vzorek číslo | Podčíslo | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | t [s]  | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] |          |                     |                     |
| 21           | 15       | 2018   | 1378   | 2101   | 1601   | 1443   | 1875   | 2201   | 1283   | 1103   | 1458   | 1646,100 | 358,175             | 21,759              |
|              | 60       | 799    | 483    | 787    | 382    | 393    | 478    | 667    | 462    | 306    | 490    | 524,700  | 160,899             | 30,665              |
|              | 600      | 212    | 125    | 196    | 134    | 112    | 171    | 251    | 98     | 96     | 126    | 152,100  | 50,079              | 32,925              |
|              | 1800     | 231    | 128    | 209    | 138    | 115    | 171    | 266    | 98     | 96     | 134    | 158,600  | 55,613              | 35,065              |
| 22           | pi1      | 2,526  | 2,853  | 2,670  | 4,191  | 3,672  | 3,923  | 3,300  | 2,777  | 3,605  | 2,976  | 3,249    | 0,544               | 16,751              |
|              | pi10     | 3,769  | 3,864  | 4,015  | 2,851  | 3,509  | 2,795  | 2,657  | 4,714  | 3,188  | 3,889  | 3,525    | 0,618               | 17,523              |
|              | Rv [TΩ]  | 2,165  | 3,906  | 2,392  | 3,623  | 4,348  | 2,924  | 1,880  | 5,102  | 5,208  | 3,731  | 3,528    | 1,113               | 31,560              |
|              | h [mm]   | 0,440  | 0,481  | 0,443  | 0,467  | 0,451  | 0,452  | 0,433  | 0,480  | 0,485  | 0,485  | 0,435    | 0,457               | 0,019               |
| pv [MΩm]     | 11,064   | 18,264 | 12,134 | 17,456 | 21,681 | 14,529 | 9,754  | 23,905 | 24,121 | 19,283 | 17,219 | 17,219   | 4,943               | 28,707              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | t [s]  | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] |          |                     |                     |
| 22           | 15       | 3331   | 1834   | 2007   | 2041   | 2118   | 1110   | 1524   | 1817   | 1724   | 2541   | 2004,700 | 568,821             | 28,374              |
|              | 60       | 1194   | 727    | 681    | 771    | 694    | 262    | 494    | 587    | 560    | 771    | 674,100  | 226,977             | 33,671              |
|              | 600      | 501    | 175    | 181    | 229    | 221    | 71     | 105    | 128    | 186    | 305    | 210,200  | 115,715             | 55,050              |
|              | 1800     | 531    | 178    | 185    | 238    | 230    | 73     | 112    | 136    | 187    | 326    | 219,600  | 123,607             | 56,287              |
| 23           | pi1      | 2,790  | 2,523  | 2,947  | 2,647  | 3,052  | 4,237  | 3,085  | 3,095  | 3,079  | 3,296  | 3,075    | 0,446               | 14,489              |
|              | pi10     | 2,383  | 4,154  | 3,762  | 3,367  | 3,140  | 3,690  | 4,705  | 4,586  | 3,011  | 2,528  | 3,533    | 0,757               | 21,431              |
|              | Rv [TΩ]  | 0,942  | 2,809  | 2,703  | 2,101  | 2,174  | 6,849  | 4,464  | 3,676  | 2,674  | 1,534  | 2,993    | 1,598               | 53,390              |
|              | h [mm]   | 0,431  | 0,439  | 0,444  | 0,447  | 0,455  | 0,499  | 0,447  | 0,462  | 0,469  | 0,446  | 0,454    | 0,454               | 0,018               |
| pv [MΩm]     | 4,916    | 14,397 | 13,696 | 10,561 | 10,736 | 30,844 | 22,451 | 17,897 | 12,805 | 7,727  | 14,603 | 14,603   | 7,160               | 49,034              |

| Vzorek číslo | Podčíslo | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | Průměr   | Směrodatná odchylka | Variační koeficient |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------------------|---------------------|
|              |          | t [s]  | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] |          |                     |                     |
| 23           | 15       | 2246   | 1928   | 2054   | 1738   | 1826   | 1191   | 1720   | 2623   | 2025   | 2274   | 1962,500 | 367,449             | 18,723              |
|              | 60       | 996    | 804    | 936    | 1016   | 970    | 456    | 596    | 1403   | 824    | 1026   | 902,700  | 245,403             | 27,185              |
|              | 600      | 264    | 169    | 236    | 224    | 182    | 103    | 153    | 352    | 191    | 224    | 209,800  | 64,554              | 30,769              |
|              | 1800     | 276    | 172    | 239    | 231    | 203    | 105    | 152    | 373    | 201    | 235    | 218,700  | 69,310              | 31,692              |
| 23           | pi1      | 2,255  | 2,398  | 2,194  | 1,711  | 1,882  | 2,612  | 2,886  | 1,870  | 2,458  | 2,216  | 2,248    | 0,343               | 15,249              |
|              | pi10     | 3,773  | 4,757  | 3,966  | 4,536  | 5,330  | 4,427  | 3,895  | 3,986  | 4,314  | 4,580  | 4,356    | 0,452               | 10,368              |
|              | Rv [TΩ]  | 1,812  | 2,907  | 2,092  | 2,165  | 2,463  | 4,762  | 3,289  | 1,340  | 2,488  | 2,128  | 2,545    | 0,901               | 35,420              |
|              | h [mm]   | 0,445  | 0,450  | 0,445  | 0,450  | 0,446  | 0,456  | 0,446  | 0,439  | 0,441  | 0,440  | 0,446    | 0,446               | 0,005               |
| pv [MΩm]     | 9,156    | 14,522 | 10,559 | 10,823 | 12,404 | 23,486 | 16,565 | 6,867  | 12,692 | 10,870 | 12,794 | 12,794   | 4,389               | 34,304              |

| Vzorek<br>číslo | Podčíslo<br>t [s] | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | Průměr<br>I [pA] | Směrodatná<br>odchylka | Variační<br>koeficient |
|-----------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|------------------------|------------------------|
|                 |                   | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] |                  |                        |                        |
| 24              | 15                | 1947   | 1130   | 2018   | 1698   | 1441   | 1764   | 1363   | 2039   | 2274   | 3091   | 1876,500         | 523,406                | 27,893                 |
|                 | 60                | 875    | 468    | 1001   | 784    | 642    | 767    | 458    | 956    | 1073   | 1443   | 846,700          | 281,074                | 33,196                 |
|                 | 600               | 188    | 81     | 216    | 139    | 107    | 182    | 102    | 217    | 291    | 448    | 197,100          | 103,368                | 52,444                 |
|                 | 1800              | 194    | 74     | 228    | 145    | 112    | 191    | 109    | 217    | 293    | 466    | 202,900          | 107,442                | 52,953                 |
| 24              | pi1               | 2,225  | 2,415  | 2,016  | 2,166  | 2,245  | 2,300  | 2,976  | 2,133  | 2,119  | 2,142  | 2,274            | 0,256                  | 11,265                 |
|                 | pi10              | 4,654  | 5,778  | 4,634  | 5,640  | 6,000  | 4,214  | 4,490  | 4,406  | 3,687  | 3,221  | 4,672            | 0,855                  | 18,304                 |
|                 | Rv [TΩ]           | 2,577  | 6,757  | 2,193  | 3,448  | 4,464  | 2,618  | 4,587  | 2,304  | 1,706  | 1,073  | 3,173            | 1,598                  | 50,355                 |
|                 | h [mm]            | 0,444  | 0,457  | 0,447  | 0,434  | 0,449  | 0,437  | 0,491  | 0,450  | 0,452  | 0,446  | 0,451            | 0,015                  | 3,328                  |
|                 | pv [MΩm]          | 13,043 | 33,208 | 11,039 | 17,878 | 22,371 | 13,479 | 21,002 | 11,500 | 8,495  | 5,411  | 15,742           | 7,701                  | 48,917                 |

| Vzorek<br>číslo | Podčíslo<br>t [s] | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | Průměr<br>I [pA] | Směrodatná<br>odchylka | Variační<br>koeficient |
|-----------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|------------------------|------------------------|
|                 |                   | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] | I [pA] |                  |                        |                        |
| 25              | 15                | 2124   | 1596   | 1296   | 1475   | 1554   | 1911   | 1576   | 1864   | 1764   | 1296   | 1645,600         | 255,002                | 15,496                 |
|                 | 60                | 1086   | 589    | 471    | 706    | 670    | 775    | 671    | 938    | 844    | 546    | 729,600          | 177,058                | 24,268                 |
|                 | 600               | 271    | 155    | 119    | 123    | 117    | 168    | 149    | 169    | 185    | 139    | 159,500          | 43,098                 | 27,021                 |
|                 | 1800              | 272    | 160    | 118    | 127    | 125    | 174    | 150    | 180    | 196    | 140    | 164,200          | 43,402                 | 26,433                 |
| 25              | pi1               | 1,956  | 2,710  | 2,752  | 2,089  | 2,319  | 2,466  | 2,349  | 1,987  | 2,090  | 2,374  | 2,309            | 0,267                  | 11,551                 |
|                 | pi10              | 4,007  | 3,800  | 3,958  | 5,740  | 5,726  | 4,613  | 4,503  | 5,550  | 4,562  | 3,928  | 4,639            | 0,730                  | 15,726                 |
|                 | Rv [TΩ]           | 1,838  | 3,125  | 4,237  | 3,937  | 4,000  | 2,874  | 3,333  | 2,778  | 2,551  | 3,571  | 3,224            | 0,705                  | 21,874                 |
|                 | h [mm]            | 0,441  | 0,459  | 0,448  | 0,453  | 0,436  | 0,427  | 0,471  | 0,434  | 0,444  | 0,441  | 0,445            | 0,013                  | 2,809                  |
|                 | pv [MΩm]          | 9,379  | 15,292 | 21,253 | 19,529 | 20,643 | 15,142 | 15,903 | 14,401 | 12,910 | 18,214 | 16,267           | 3,507                  | 21,558                 |