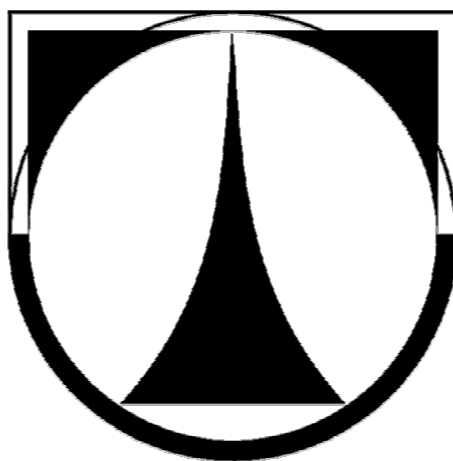


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2007

Fojtíková Kateřina

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra: Textilních materiálů

Obor studia: N3106 Textilní materiálové inženýrství

Vliv struktury na výsledné elektrické vlastnosti textilií

Electric properties of textile and its influences on structure

Kateřina Fojtíková

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslava Maršálková

Konzultant:

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 47

Počet obrázků a tabulek: 52 a 14

Počet příloh: 3

V Liberci, dne 3. 1. 2008

Vliv struktury na výsledné elektrické vlastnosti textilií

Anotace:

Diplomová práce stručně popisuje základní principy vodivosti materiálů, vliv textilie na elektrické pole a měření elektrických vlastností textilií.

V experimentální části se na textiliích s různým uspořádáním vláken a to konkrétně s kolmo a podélně kladenými netkanými textiliemi provádí měření elektrického odporu těchto netkaných textilií. V experimentu byl zohledněn i vliv zaplnění (resp. pórovitost) textilií na elektrické vlastnosti textilií.

A na závěr bylo provedeno vyhodnocení naměřených elektrických vlastností a vliv struktury zkoušených netkaných textilií.

Electric properties of textile and its influences on structure

Annotation:

This graduation thesis describes the basic principles of material conductivity, electric fields, and measuring of the electric properties of textiles and its influences on textiles.

The experimental part, with which our research provided measurements, determined the electrical resistance of non-woven textiles. For the experiment we used non-woven textiles with vertically and horizontally lying fibres. In this case, it was taken into consideration the filling textiles and its influence of electrical properties.

In the end is provided a data evaluation of electrical properties, and it describes the influence of structure tested non-woven textiles.

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, dne 3. 1. 2008

Podpis:

Poděkování

Děkuji všem, kteří mi byli nápomocni v mé práci. Děkuji své paní vedoucí ing. Mirce Maršákové. Jen díky její podpoře, vstřícnosti a ochotě mi poradit, věnovat mi svůj čas, jsem byla schopná dokončit tuto diplomovou práci. V neposlední řadě děkuji hlavně svým rodičům a celé rodině za podporu po celou dobu studií.

Obsah:

Seznam použitých symbolů a zkratek

1	Úvod	19
2	Elektrické vlastnosti	20
2.1	Elektrická vodivost	20
2.2	Elektrický proud	21
2.3	Elektrické pole	22
2.3.1	Intenzita elektrického pole	22
2.4	Elektrický náboj	22
2.4.1	Zákon zachování elektrického náboje	23
2.4.2	Vznik elektrického náboje	23
3	Pásový model	24
3.1	Vodiče, polovodiče, izolanty	26
3.1.1	Vodiče	27
3.1.2	Polovodiče	27
3.1.2.1	Nevlastní polovodiče	28
3.2	Vodiče a nevodiče (izolanty) v elektrickém poli	29
3.3	Dielektrika	31
3.3.1	Dělení dielektrik	31
3.4	Materiálové charakteristiky izolantů a dielektrik	33
3.4.1	Kapacita	33
3.4.2	Kondenzátor	34
4	Zaplnění a pórovitost textilních vláknenných útvarů	35
4.1	Zaplnění textilních vláknenných útvarů	35
4.2	Porozita a průměr mezivláknenného póru	36
5	Elektrické vlastnosti polymerů	39
5.1	Elektrická vodivost ve vláknech ze syntetických polymerů	40
5.1.1	Strukturální charakteristika polymerů	40
5.1.2	Elektrická vodivost polymerních vláken	40
6	Experimentální část	43
6.1	Realizace experimentu	43
6.1.1	Popis měřených textilií	44
6.1.2	Popis zařízení použitého k experimentu	46
6.1.3	Popis experimentu	46
6.1.3.1	Zjišťování parametrů textilie	46
6.1.3.2	Zjišťování elektrických vlastností textilií na přístroji HP 4339 B	48
6.1.3.3	Průrazné napětí netkaných textilií	48
6.2	Výsledky a diskuze	51
6.2.1	Zjištěné parametry netkaných textilií	51
6.2.2	Zjištěné elektrické vlastnosti textilií	51
6.2.2.1	Zjištěný elektrický odpor u jednovrstvé podél kladené textilie	53
6.2.2.2	Zjištěný elektrický odpor u jednovrstvé kolmo kladené textilie	54
6.2.2.3	Zjištěný elektrický odpor u zdvojené podél kladené textilie	55
6.2.2.4	Zjištěný elektrický odpor u zdvojené kolmo kladené textilie	56
6.2.2.5	Porovnání elektrického odporu u naměřených textilií, směrodatná odchylka a interval spolehlivosti	58
7	Diskuse výsledků	63
8	Závěr	64
9	Literatura	65
	Přílohy	66

Seznam použitých symbolů a zkratek:

I	[A]	elektrický proud
T	[s]	čas
Q	[C]	elektrický náboj
R	[Ω]	elektrický odpor
G	[S]	elektrická vodivost materiálu
S	[m^2]	plocha průřezu vodiče
l	[m]	délka vodiče
ρ	[$\Omega \cdot m$]	rezistivita
E	[$V \cdot m^{-1}$]	intenzita elektrického pole
ε_r	[-]	relativní permitivita
σ	[S]	elektrická vodivost
tg	[δ]	ztrátový činitel
E_p	[$kV \cdot cm^{-1}$]	elektrická pevnost
C	[F]	kapacita
U	[V]	napětí
a	[m]	celková šířka textilie
b	[m]	délka textilie
h	[m]	výška textilie
m_i	[kg]	hmotnost vzorku
m_v	[g]	hmotnost vlákenného materiálu
μ	[-]	zaplnění
S	[m^2]	souhrnná plocha řezů vláken
ρ_{tab}	[$kg \cdot m^{-3}$]	měrná hmotnost
ρ_{vi}	[$kg \cdot m^{-3}$]	objemová měrná hmotnost textilie
ρ_m	[$kg \cdot m^{-3}$]	měrná hmotnost vláken
P	[%]	pórovitost
ψ	[-]	porozita
ζ	[-]	geometrická charakteristika
V_c	[m^3]	celkový objem textilie
V_p	[m^3]	objem pórů
L_{vl}	[m]	délka vláken

L_p	[m]	délka pórů
A	[m ²]	povrch vláken ve vlákněném útvaru
A_p	[m ²]	povrch pórů
p_p	[m]	obvod příčného řezu póru
d	[m]	průměr póru
q	[-]	tvarový faktor

1 Úvod

Elektrické vlastnosti polymerů jsou v dnešní době velmi aktuálním tématem. V moderním světě, především v technických oblastech, se hledá uplatnění těchto materiálů pro jejich výhodné vlastnosti oproti kovovým materiálům. Předností jsou jejich nízká hustota, nízká hmotnost, vysoká pružnost materiálu, odolnost vůči korozi, ohybu a mnohé další. Vláknotvorné polymery se využívají pro výrobu antistatických textilií, textilií chránících proti elektromagnetickému záření, textilií do čistých provozů a v oblasti počítačové techniky. Vyráběné jsou také antistatické folie.

Mezi důležité vlastnosti textilních materiálů vedle struktury, odolnosti vůči mechanickému namáhání, chemickému složení a dalších, patří také jejich elektrické vlastnosti. Jsou to vlastnosti rozhodující pro chování textilie v elektrickém poli a s tím spojená celá řada užitečných vlastností jako například špinivost, která závisí na množství náboje který se shromažďuje na povrchu textilie.

Polymerní materiály svou podstatou patří do skupiny dielektrik a jsou i takto využívány. Pouhá změna relativní vlhkosti ovzduší se jejich elektrické vlastnosti mění a jejich hodnoty elektrického odporu se snižují (tzn. jejich vodivost roste). Stejně je tomu tak i aplikací příměsí, a nebo přítomností konjugovaných vazeb, kterými se vytváří vodivé polymery.

Úkolem dnešního textilního výzkumu je, vyvíjení a testování nových druhů textilií. Zároveň tyto výzkumy mají dát možnost srovnání jednotlivých druhů textilií, aby se tím zvýšila možnost použití textilních materiálů pro nové aplikace. To si dala za úkol i tato diplomová práce s návazností na předchozí provedené výzkumy a vyslovené předpoklady

Cílem této diplomové práce, bylo stručně popsat teorii základních principů vodivosti materiálů, dále vliv textilie na elektrické pole a v poslední řadě měření elektrických vlastností textilií.

Následně navrhnout a provést experiment na textiliích s různým uspořádáním vláken a to konkrétně s kolmo a podélně kladenými netkanými textiliemi se zohledněním i vlivem na zaplnění těchto textilií. Zrealizovat měření vodivosti (resp. resistance) těchto netkaných textilií. A na závěr provést vyhodnocení naměřených elektrických vlastností.

2 Elektrické vlastnosti

Elektrické a magnetické jevy nelze od sebe oddělit, neboť magnetické děje jsou vždy doprovázeny elektrickými a naopak. Elektrické a magnetické pole jsou pouze složky jednotného elektrického pole, které interagují s částicemi hmoty. [1]

2.1 Elektrická vodivost

Krystaly různých látek mají větší nebo menší schopnost vést elektrický proud. Podstatou elektrického proudu je pohyb elektricky nabitých částic (nositelů náboje) mezi dvěma póly. Mohou to být elektrony (elektronová vodivost) nebo ionty (iontová vodivost). O způsobu jakým látka vedou elektrický proud, rozhoduje především počet a pohyblivost volných elektronů v jejich struktuře. Elektrony v kovech, slitinách a dalších vodivých materiálech mají schopnost volně se pohybovat a vytvářet tzv. elektronový plyn. Pokud není látka ovlivňována vnějším elektrickým polem, pohybují se jednotlivé elektrony chaoticky, takže výsledkem je rovnoměrné rozptýlení náboje. Vlivem vnějšího elektrického pole dojde k usměrnění elektronů a vzniká elektrický proud. Elektrická vodivost látek je obecně silně ovlivněna teplotou. Při vyšší teplotě nastává významnější pohyb atomů (vibrace, rotace) a elektrická vodivost klesá.

Látky s iontovou a kovalentní vazbou neobsahují prakticky žádné volné elektrony, proto elektrický proud nevedou. Nazýváme je nevodiče, dielektrika nebo izolátory (izolanty). U kovů a slitin se většinou mohou volně pohybovat všechny valenční elektrony a proto kovy velmi dobře vedou elektrický proud, jsou to vodiče.

Z hlediska hodnoty elektrické vodivosti se mezi vodiči a izolanty nacházejí polovodiče. Počet volných elektronů ve strukturách polovodičů je proti kovům malý.

U některých nevodičů lze vyvolat opačně elektrické náboje mechanickým namáháním (stlačením či tahem) nebo zahřátím. V prvním případě se jedná o „vznik“ piezoelektriny, ve druhém pyroelektriny. V obou případech jde o důsledek struktury látky. Ionty byly v těchto látkách původně uspořádány tak, že jako celek se chovaly elektricky neutrálně. Při mechanickém namáhání, resp. zahřátí se tato rovnováha poruší a vznikne polarizační elektřina nazývaná piezo-nebo pyroelektřina. [1]

2.2 Elektrický proud

Elektrický proud je uspořádaný pohyb částic s elektrickým nábojem (tj. nosičů náboje, elektronů, iontů atd.). V kovových vodičích obstarávají transport elektrického proudu elektrony, které mají záporný náboj (-). Skutečný směr proudu je od záporného pólu (-) ke kladnému pólu (+), tedy opačný od dohodnutého směru proudu. Dohodnutý směr proudu je skutečným směrem pohybu pro kladné náboje.

Elektrický proud I je základní fyzikální veličina, která udává množství náboje, které projde průřezem vodiče za jednotku času. Prochází-li náboj vodičem rovnoměrně, je elektrický proud určen jako podíl celkového náboje Q , který projde průřezem vodiče, a doby t , za které projde:

$$I = Q/t \quad [I] = A(\text{ampér}) = C \cdot s^{-1} \quad (1)$$

Definice ampéru je následující: vodičem prochází proud 1A, jestliže projde jednotkovým průřezem vodiče náboj 1 C za 1 s.

Ohmův zákon, který charakterizuje vedení proudu říká, že pokud se teplota vodiče nemění, je proud jím procházející přímo úměrný napětí mezi konci vodiče ($I \sim U$). Konstantou úměrnosti je **elektrický odpor R (resistance)**, kde:

$$R = \frac{U}{I} \quad \sim \quad \Omega = \frac{V}{A} \quad (2)$$

Kladné ionty, které tvoří krystalovou strukturu vodiče, nejsou v klidu, ale kmitají kolem rovnovážných bodů mřížky. Při průchodu elektronového plynu vodičem dochází ke srážkám jednotlivých elektronů s kmitajícími ionty a důsledkem je R . S rostoucí teplotou se amplituda kmitů zvětšuje a srážky jsou častější, odpor vodiče roste. **Elektrická vodivost (konduktance) G** je převrácený poměr elektrického odporu:

$$G = I/U = 1/R \quad S(\text{siemens}) = \Omega^{-1} \quad (3)$$

Velikost odporu vodiče závisí na kovu, ze kterého je vyroben, na jeho délce a na průřezu:

$$R = \rho \cdot l/S \quad (4)$$

kde S [m^2] je průřez vodiče a l [m] délka vodiče, ρ je rezistivita (nebo měrný elektrický odpor [$\Omega \cdot m$]). Platí, že čím delší je vodič, tím větší je odpor a čím je jeho průřez větší, tím menší je jeho odpor.

Rezistance i rezistivita (konduktance a kondaktivita) závisí na teplotě, ale odlišně pro kovy a polovodiče resp. izolanty. Rezistivita kovů s rostoucí teplotou vzrůstá, naproti tomu

u polovodičů a izolantů klesá. Při velmi nízkých teplotách klesá u některých látek odpor na neměřitelnou hodnotu, tento jev se nazývá supravodivost. [1]

2.3 Elektrické pole

Elektrické pole je prostor, v němž dochází k silovému působení na nabitá tělesa, liší se tak od prostoru, v němž k tomuto silovému působení nedochází. Tato skutečnost je způsobena tím, že v prostoru, v němž dochází k silovému působení na nehybné elektrické náboje, existuje elektrické pole. Nabitě těleso vytváří ve svém okolí elektrické pole (nebo také, elektrický náboj vytváří elektrické pole). [2]

Elektrické pole lze popsat **elektrickými siločárami**. Jsou to myšlené čáry, které graficky znázorňují situaci v okolí elektrického náboje. Navzájem se neprotínají, jsou kolmé k povrchu tělesa a jsou vždy orientovány od kladného náboje k zápornému (dáno dohodou). [3]

2.3.1 Intenzita elektrického pole

Intenzita elektrického pole je podíl síly F_e [N], kterou by působily okolní náboje na vložený zkušební elementární náboj q [coulomb] a tohoto náboje. Vložený zkušební náboj musí mít takovou velikost, aby svým působením neovlivnil elektrostatické pole ve kterém je zjišťována intenzita elektrického pole E : [2]

$$E = \frac{F_e}{q} \quad (5)$$

2.4 Elektrický náboj

Elektrický náboj je:

- Vlastnost částice nebo tělesa, která udává jeho chování v elektrickém poli. Náboj je vlastnost částice, to znamená, že se náboj nemůže vyskytovat samostatně, vždy je vázán na částici, případně více částic, které tvoří těleso.
- Fyzikální veličina, která popisuje velikost náboje. Značí se Q nebo e a udává se v coulomech. Náboj jednoho coulombu projde průřezem vodiče při proudu 1A za 1s.

Když má částice nebo těleso elektrický náboj, má schopnost vyvolat silové působení mezi dalším tělesem s elektrickým nábojem.

Toto silové působení (= silová interakce) se uskutečňuje prostřednictvím elektromagnetického pole ($\rightarrow$ elektromagnetická interakce). O částicích (tělesech), které mají elektrický náboj, říkáme, že jsou elektricky nabité. Vlastnosti silového pole mezi nabitými částicemi závisí na jejich pohybovém stavu. Je-li náboj v klidu, obklopuje ho elektrické (elektrostatické) pole. Je-li náboj v pohybu, vytvoří se kolem něho elektromagnetické pole. [3]

2.4.1 Zákon zachování elektrického náboje

V izolované soustavě se celkový náboj zachovává; náboj není možné vytvořit ani zničit.

Elektrický náboj je kvantován. Nejmenším, dále nedělitelným nábojem je elementární náboj e , což je náboj jednoho protonu nebo jednoho elektronu. Všechny elektrické náboje (kladné i záporné) jsou celistvými násobky elementárního elektrického náboje o velikosti $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Náboj může být kladný (+) nebo záporný (-). Kladný elementární náboj $+e$ má proton, záporný elementární náboj $-e$ má elektron. Protony a elektrony jsou v atomu v rovnováze, proto se atom navenek jeví jako elektricky neutrální.

2.4.2 Vznik elektrického náboje

Náboj ve skutečnosti nevzniká, jen se hromadí částice se stejným nábojem. Tím se oddělí elektrony od protonů, které se původně navzájem rušily, takže celkový náboj byl nulový.

Elektrický náboj vznikne, když se poruší rovnováha protonů a elektronů v atomu:

- u plynů vzniká ionizací, když na molekuly plynu působí radioaktivní záření (radioaktivní částice se pohybují velkou rychlostí, narazí do molekuly plynu a molekula se roztrhne);
- kapaliny jsou elektricky neutrální, ale přidáním soli dojde k její disociaci na kladně a záporně nabitě ionty. Například roztok kuchyňské soli $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$;
- u pevných látek vzniká teplem nebo třením, např. třením kožešiny o ebonitovou tyč.

Elektrický náboj se projevuje přeskokem elektrické jiskry, silovým působením (přitahuje lehké částice jako kousky papíru, vlasy, ...) nebo svalovou křečí. [3]

3 Pásový model

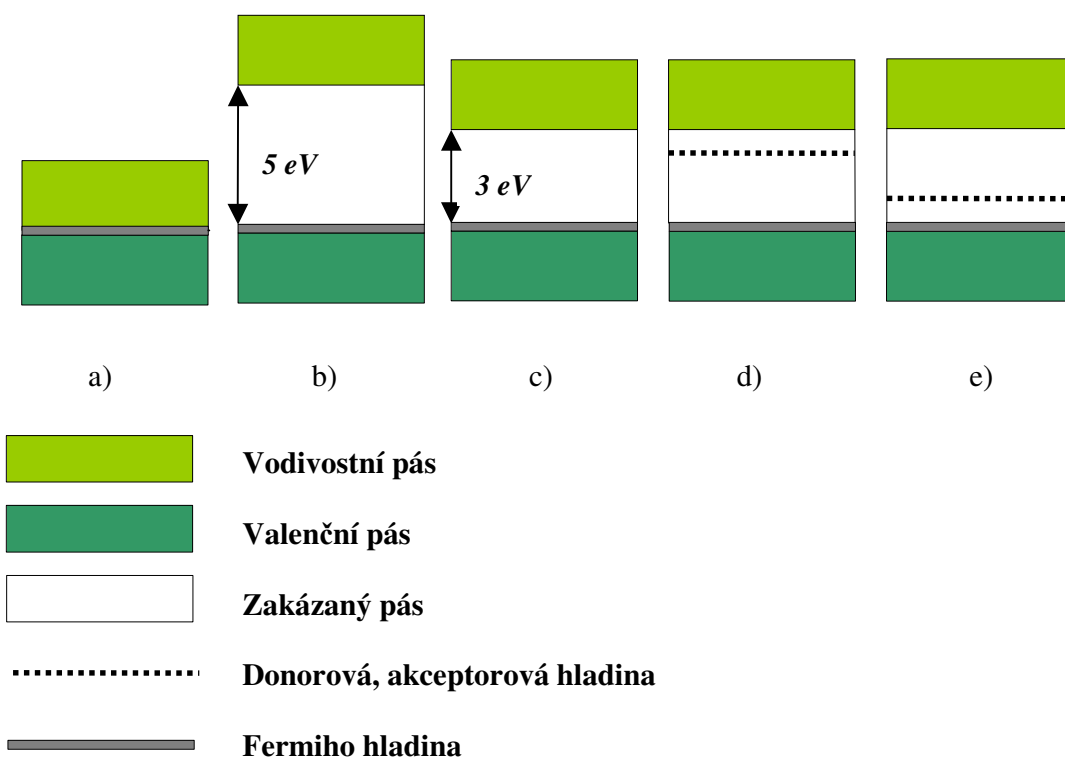
Elektrické vlastnosti materiálů (hlavně polovodičů) jsou popsány často pomocí pásového modelu. *Energetické pásy* znázorňují dovolené energetické stavy elektronů sdíleného elektronového oblaku v látce. Stejně jako v izolovaném atomu jsou odstupňovány energie elektronů v důsledku jejich vlnové povahy do kvantových hladin mají i elektrony ve sdíleném elektronovém oblaku kovové mřížky svou energii kvantovanou. Protože vlnění každého elektronu je zde rozprostřeno po celém krystalu, vychází na celý prostor zaujímaný krystalem nesmírný počet vlnových délek (řádově 10^{20}), tak že sousední kvantové stavy, lišící se o jednu vlnovou délku, mají vzájemně si velmi blízkou energii pohybující se v úzkém hodnotovém rozmezí

Izolované atomy mají přesně dány hodnoty energie – *energetické hladiny*. Podle Pauliho vylučovacího principu mohou být v jedné energetické hladině pouze dva elektrony (dochází tedy ke vzniku štěpení energetických hladin). Elektrony zaplňují jednotlivé hladiny v pásu tak, aby měly co nejmenší energii. Teprve po plném obsazení energeticky nižšího pásu obsazují elektrony pás s vyšší energií. Pokud jsou atomy od sebe dostatečně vzdálené tak na sebe nepůsobí, a každý z nich je samostatným systémem.

K štěpení energetických hladin dochází nepatrným posunutím energetických hladin jednotlivých atomů (vznikne-li pevná látka z n atomů, tak se každá energetická hladina rozštěpí na n velmi blízkých hladin $\rightarrow$ vytvoří pás). Posunutí je nutné aby byl dodržen Pauliho princip. Dovolené pásy jsou od sebe odděleny zakázanými pásy, ve kterých se elektrony nemohou vyskytovat. Spodní dovolené pásy obsahují silně vázané elektrony a mají malou šířku. Vrchní dovolené pásy jsou nejširší a přísluší slabě vázaným valenčním elektronům - *valenční pásy*. Energetické hladiny ve spodních pásech jsou plně obsazené elektrony, nejvýše umístěný valenční pás je obsazen z poloviny nebo úplně. Nad valenčním pásem jsou neobsazené pásy povolených energií. Pokud je pás plně obsazen tak nemohou jeho elektrony vést elektrický proud, protože vedení proudu je spojeno s uspořádaným pohybem elektronů. Jsou-li všechny hladiny v pásu obsazené, elektrony si mohou pouze vyměňovat místa na energetických hladinách. Zvýšení energie jednoho z nich je doprovázeno snížením energie jiného elektronu o stejnou hodnotu. Nemění se tím, ale střední energie elektronu v pásu a elektrony tak nepřispívají k vedení proudu. Vedení proudu tedy zajišťují pouze elektrony v neúplně zaplněném pásu.

O elektrických vlastnostech látky rozhodují tři pásy energie:

- *Valenční*
- *Vodivostní* (při teplotě absolutní nuly prázdný)
- *Zakázaný*



Obr. 1: Pásový model: a) vodiče, b) izolanty, c) polovodiče, d) polovodiče s donorovou hladinou, e) polovodiče s akceptorovou hladinou

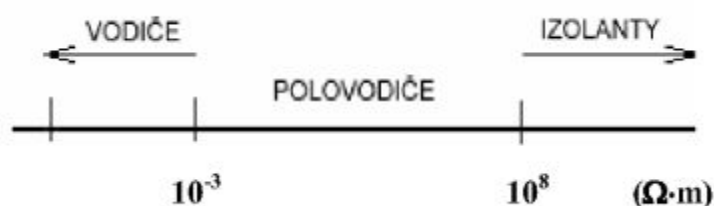
Při teplotě vyšší než je teplota absolutní nuly mohou některé elektrony získat tepelnou energii dostatečnou k tomu, aby pronikly do vodivostního pásu. O zařazení látky mezi vodiče, izolátory a polovodiče rozhoduje vzájemná poloha energetických pásů. [4, 5]

Je-li celý systém elektronů tuhé látky na nejnižších možných hladinách, nabývá zvláštního významu nejvyšší energetická hladina v dovoleném pásu, která je právě ještě zaplněna dvojicí elektronů. Nazývá se *Fermiho hladina* a podle jejího umístění v dovoleném energetickém pásu při teplotě 0 K můžeme posuzovat některé fyzikální vlastnosti a povahu vazby v daném souboru atomů. [5]

3.1 Vodiče, polovodiče, izolanty

Podle velikosti hodnoty rezistivity (absolutní hodnoty rezistivity se v různých publikovaných pracích liší), která souvisí se způsobem vedení elektrického proudu, lze „orientačně“ rozdělit látky do několika skupin (obr. 2):

- Izolanty nebo dielektrika
- Polovodiče
- Vodiče (převážně kovy ale i „speciální“ vodivé polymery)
- Supravodiče, hodnota rezistivity pod kritickou teplotou je neměřitelná



Obrázek 2. Dělení materiálů podle velikosti jejich rezistivity

Porovnání vybraných vlastností kovových vodičů a polovodičů udává následující schéma:

Kovové vodiče	Polovodiče
• Mají malou rezistivitu • Elektrický proud vedou pouze volné elektrony • V krystalové struktuře existuje velký počet volných elektronů • Při zahřátí se zvětšuje jejich odpor • Osvětlení nemá vliv na jejich vodivost • Příměsi zvětšují jejich měrný odpor	• Mají větší rezistivitu • Proud vedou uvolněné elektrony a kladné „díry“ • Počet uvolněných elektronů závisí na vnějších podmínkách • Při zahřátí se zmenšuje jejich odpor • Při osvětlení se zmenšuje jejich odpor • Vhodné příměsi výrazně zmenšují jejich měrný odpor a mění typ vodivosti

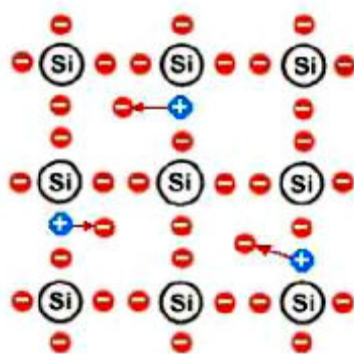
Obrázek 3. Porovnání některých vlastností kovů s polovodiči

3.1.1 Vodiče

U vodičů je malá nebo téměř nulová šířka zakázaného pásu. Proto se v nich vyskytují volné elektrony. Jestliže Fermiho hladina při teplotě 0K leží uvnitř dovoleného pásu nebo pokud postačuje počet elektronů přítomných v soustavě atomů jen k částečnému zaplnění dovoleného pásu, vytváří se při velmi nízkých teplotách takové uspořádání elektronů, kdy na rozmezí mezi valenční a vodivostní pás je *Fermiho hladinou*. Tato elektronová konfigurace je charakteristická pro elementární kovy, slitiny, intermetalické sloučeniny a další tuhé látky, které mají výbornou elektrickou vodivost. Částečně zaplněný pás a relativní snížení energie valenčních elektronů, které se v pásu vyskytují je příčinou vzniku vysoce delokalizované kovové vazby, poutající celý soubor atomů v poměrně velmi pevný celek. Pás takto obsazený elektrony bývá označován jako pás vodivostně-valenční. [4, 5]

3.1.2 Polovodiče

Polovodiče jsou látky, které mají rezistivitu mnohem větší než kovové vodiče, ale menší než izolanty. Vodivost polovodičů silně závisí na teplotě a na osvětlení. Nejvýznamnějšími polovodiči jsou Si, Ge a další. Uplatňují se jako základní materiály pro konstrukci polovodičových součástek (křemík), nebo jako složky a příměsi polovodičových sloučenin. Elektrické vlastnosti polovodičů můžeme vysvětlit na základě vlastností jejich krystalové struktury. Například křemík (Si) má 4 valenční elektrony a jeho atomy jsou uspořádány v krystalové struktuře. Při nízkých teplotách jsou valenční elektrony silně poutány a Si proud nevede. Při zahřátí se ionty v krystalové struktuře rozkmitají a dochází k uvolňování valenčních elektronů. Opustí-li elektron své místo ve struktuře (na obr. 4),

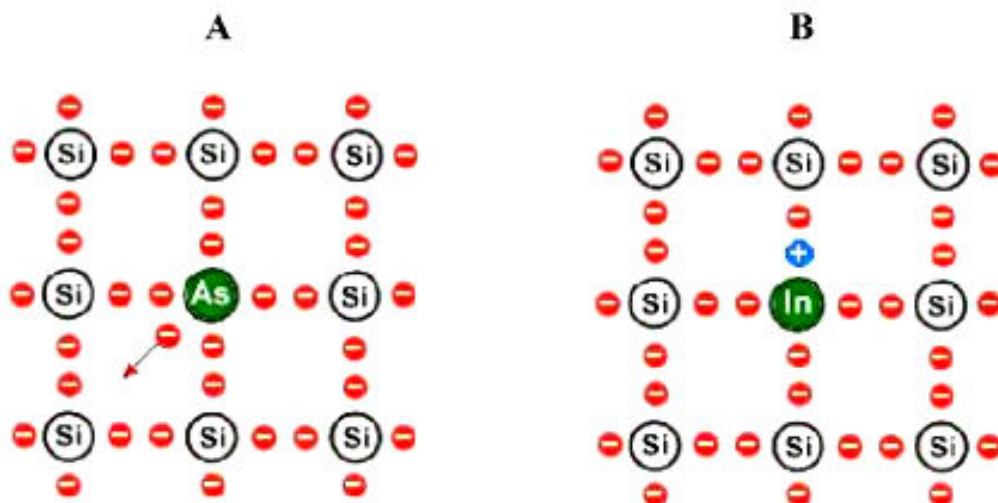


Obrázek 4. Pohyb elektronů v krystalové mřížce polovodivého křemíku

objeví se místo, kde chybí záporný náboj. Toto prázdné místo se nazývá „díra“ a chybějící záporný náboj se navenek projeví jako náboj kladný. Do „díry“ může přeskočit jiný elektron z krystalové struktury a doplnit chybějící záporný náboj. Dojde k rekombinaci. Kladná díra se však objeví na místě, odkud elektron přeskočil, vypadá to tedy, jako by se díry stěhovaly v krystalové struktuře z místa na místo. Připojíme-li k tomuto polovodiči zdroj napětí, začnou se záporné elektrony přesouvat ke kladnému pólu, kladné díry k pólu zápornému a nastane usměrněný pohyb nábojů. Elektrický proud v polovodičích je způsoben usměrněným pohybem uvolněných elektronů a „děr“ (na rozdíl od kovů, kde elektrický proud vedou jen volné elektrony). Pokud v polovodiči vedou elektrický proud elektrony a „díry“ vzniklé výše popsaným způsobem, hovoříme o vlastní vodivosti. [1]

3.1.2.1 Nevlastní polovodiče

V technické praxi mají největší využití tzv. *nevlastní polovodiče*, jejichž krystalová struktura byla „znečištěna“ nepatrným množstvím příměsí. Vlastnosti polovodičů jsou totiž závislé na příměsích a vhodným výběrem příměsi můžeme dosáhnout toho, aby v polovodiči byl elektrický proud veden buď volnými elektrony (elektronová vodivost, vodivost typu N), nebo děrami (děrová vodivost, vodivost typu P), viz obr. 5.



Obrázek 5. Vodivost typu N (negativní) a typu P (pozitivní) u křemíku dotovaného pětímocným (A) a trojmocným (B) atomem

Vodivost typu N (negativní, obr. 5 A): ve struktuře křemíku jsou některé atomy nahrazeny atomy s pěti vazebnými elektrony, např. As. Jejich čtyři valenční elektrony se účastní vazeb, ale páté se již v chemických vazbách nemohou uplatnit. Jsou velmi slabě vázané a již při nízkých teplotách se stanou volnými elektrony. V křemíku s příměsí pětímocného

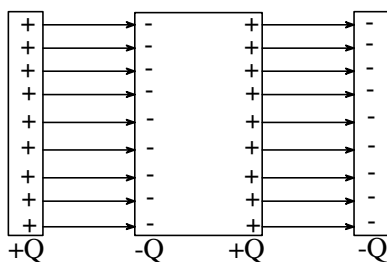
prvku (říká se mu donor) je nadbytek volných elektronů, které po připojení ke zdroji způsobují jeho elektronovou vodivost typu N.

Vodivost typu P (pozitivní, obr. 5 B): zabudují-li se do krystalové struktury atomy trojmocného prvku se třemi valenčními elektrony, např. In, chybí pro obsazení všech chemických vazeb elektrony. V místě nenasyčené vazby vznikne „díra“ s kladným nábojem. Tuto díru může zaplnit elektron z některé jiné vazby a díra se v krystalu přesune na jeho místo. Příměs trojmocného prvku (akceptor) vytváří v krystalu křemíku nadbytek kladných děr, které po připojení ke zdroji způsobují jeho děrovou vodivost typu P. ke změně vodivosti, např. Si, stačí i nepatrné množství příměsi. Postačující je, aby na 100 miliónů atomu Si připadl jediný atom příměsi. [1]

3.2 Vodiče a nevodiče (izolanty) v elektrickém poli

Vodiče jsou látky, které obsahují volné nosiče elektrického náboje (vedou elektrický proud).

Nevodiče (izolanty-jinak také dielektrika) jsou látky, které nemají volné nosiče náboje (nevedou elektrický proud).



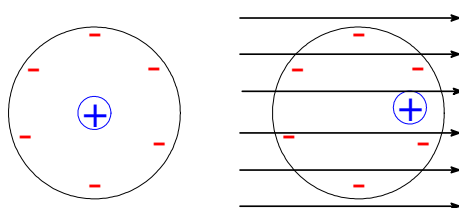
Obrázek 6. Vodič v elektrickém poli

Je-li do elektrického pole vložen vodič (obr.6), vznikne dočasně elektrické pole i uvnitř vodiče a způsobí pohyb volných elektronů, které se nahromadí na povrchu vodiče v místech, kde siločáry vstupují do vodiče. Tato strana vodiče se nabije záporně a na opačné straně, kde siločáry z vodiče vystupují, vznikne stejně velký náboj kladný. Tento jev se nazývá *elektrostatická indukce*. Ta pokračuje, dokud pole indukovaných nábojů ve vodiči nezruší v celém objemu tělesa původní elektrické pole a intenzita pole všude uvnitř

vodiče bude nulová. Vodič se tedy snaží vyvolat vlastní intenzitu elektrického pole, která by způsobila to, že celková intenzita uvnitř vodiče by byla nulová. Vnitřní intenzita vodiče v elektrickém poli je stejně velká jako intenzita vnějšího elektrického pole, ale má opačnou orientaci, takže celková intenzita uvnitř vodiče je nulová.

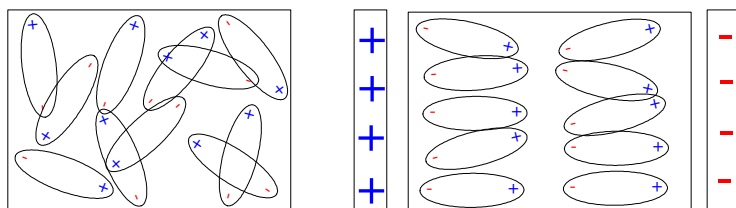
Je-li vložen izolant do homogenního elektrického pole, dojde k polarizaci. Rozeznáváme dva základní typy polarizace:

- atomová polarizace (obr.7): v elektrickém poli se jádra atomů, která mají kladný náboj, posouvají ve směru siločar (k záporné desce) a záporné elektronové obaly se deformují ve směru opačném. Z atomů a molekul se stávají elektrické dipóly.



Obrázek 7. Atomová polarizace

- Orientační polarizace (obr.8): molekuly mnohých látek (například vody) mají vlastnosti dipólu, i když se nenacházejí v elektrickém poli. Tyto dipóly jsou však neuspořádané a navenek se neprojevují. V elektrickém poli dipóly usměrňují, kladné póly se natáčí ve směru elektrických siločar.



Obrázek 8. Orientační polarizace

Náboje v dielektriku se nemohou pohybovat, proto nedojde k přeskupení elektronů jako u vodiče. Indukované náboje v dielektriku jsou vázány na dipóly. Dipóly na povrchu dielektrika se natočí tak, že kladný pól každého dipólu je otočen k záporné desce, a proto vznikne malé vnitřní elektrické pole s intenzitou E_i , která směřuje proti vnějšímu elektrickému poli E_e . Celková intenzita E je rovna rozdílu $E = E_e - E_i$. Pole v dielektriku má menší intenzitu než pole, které ho vyvolalo.

Když je dielektrikum vloženo do vakua, pak poměr vakua a vloženého předmětu, udává relativní permitivitu:

$$\varepsilon_r = \frac{E_e}{E} \quad (7)$$

Různé polarizační vlastnosti dielektrik způsobují jejich rozdílnou relativní permitivitu.

3.3 Dielektrika

Jak už bylo uvedeno výše, látky mohou být vodiče či izolanty. Ideální izolant je látka, která neobsahuje žádné volné nosiče náboje (a tedy nevede elektrický proud). To je v praxi nerealizovatelné. Každý reálný izolant obsahuje určité množství volných nosičů náboje, které v něm vznikají za daných podmínek působením různých vlivů (záření, teplo, absorpce vody aj.). Dielektrikem rozumíme látku, v níž může existovat elektrické pole a jejíž rozhodující vlastností je polarizovat se v elektrickém poli. Každý izolant je dielektrikem, nikoli však obráceně. [6]

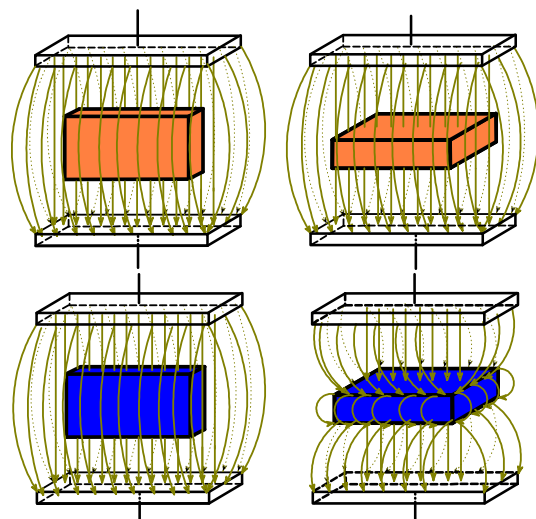
3.3.1 Dělení dielektrik

Dielektrika lze dělit z hlediska elektrostatického pole na:

- Izotropní a anizotropní
 - Krystalická a nekrystalická
- Homogenní a nehomogenní
- Lineární a nelineární
- Měkká a tvrdá

Izotropní a anizotropní

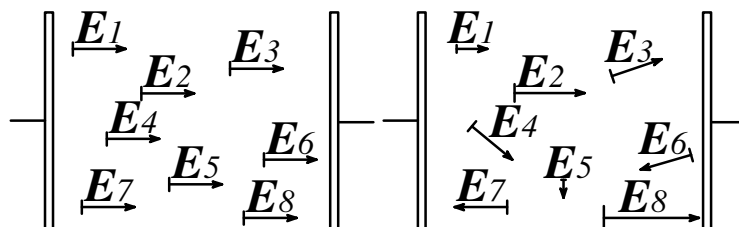
Příklad ovlivňování elektrického pole izotropními a anizotropními dielektriky je na obr. 9, kdy po vložení dielektrika se siločáry elektrického pole u izotropního dielektrika nemění v žádné jeho pozici, naopak u anizotropního jsou zdeformovány podle povahy dielektrika.



Obrázek 9. Příklad vlivu typu anizotropie dielektrika na elektromagnetické pole (izotropní dielektrika nahoře a anizotropní dielektrik dole).

Homogenní a nehomogenní

Homogenní jsou taková dielektrika, v jejichž libovolném bodě má vektor intenzity elektrického pole stejnou orientaci i velikost. V případě nehomogenních dielektrik tato podmínka neplatí (obr.10).



Obrázek 10. Příklad chování homogenního a nehomogenního dielektrika v el. poli

Vztah pro intenzitu elektrického pole homogenního dielektrika:

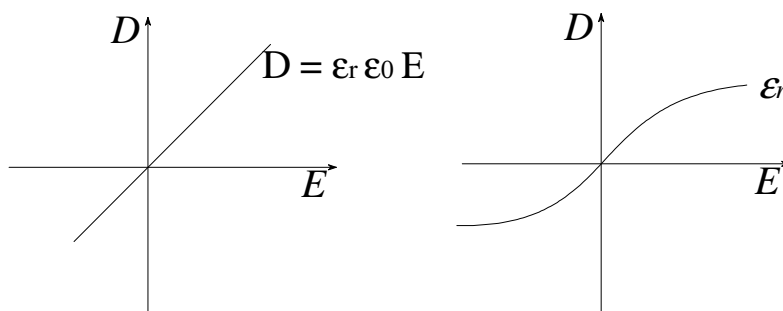
$$\vec{E}_1 \equiv \vec{E}_2 \equiv \vec{E}_3 \equiv \vec{E}_4 \equiv \vec{E}_5 \equiv \vec{E}_6 \equiv \vec{E}_7 \equiv \vec{E}_8$$

Vztah pro intenzitu elektrického pole nehomogenního dielektrika:

$$\vec{E}_1 \neq \vec{E}_2 \neq \vec{E}_3 \neq \vec{E}_4 \neq \vec{E}_5 \neq \vec{E}_6 \neq \vec{E}_7 \neq \vec{E}_8$$

Lineární a nelineární

Lineární prostředí je takové, ve kterém je relativní permitivita konstantní $\epsilon_r = konst.$. U nelineárních tomu je tak, že permitivita je nekonstantní, tedy funkcí intenzity elektrického pole a elektrické indukce (obr.11).



Obrázek 11. Závislost permitivit vlevo lineárních dielektrik a vpravo nelineárních dielektrik

Měkká a tvrdá

U těchto druhů dielektrik se jedná o schopnost natočit své domény ve směru působení elektrostatického pole. [4]

3.4 Materiálové charakteristiky izolanů a dielektrik

Jsou schopny zesilovat účinky elektrického pole, zvětšovat kapacitu kondenzátoru, hromadit v nich a vydávat z nich energii elektrického pole. Nejdůležitější jsou tzv. dielektrické charakteristiky, to je vodivost σ [S], relativní permitivita ϵ_r , ztrátový činitel $\tan(\delta)$ a elektrická pevnost E_p (viz. kapitola 6.1.3.3). V izolantech je rozhodující měrná vodivost a elektrická pevnost, v kondenzátorech je důležitá permitivita a ztrátový činitel [7].

3.4.1 Kapacita

Kapacita je schopnost vodiče hromadit na sobě elektrický náboj. Fyzikální veličina kapacita C charakterizuje míru této schopnosti.

Kapacita je míra úměrnosti náboje nahromaděného na vodiči a na jeho potenciálu.

$$Q = C \cdot \varphi \quad (8)$$

3.4.2 Kondenzátor

Kapacita osamělého vodiče je velmi malá, proto se využívají kondenzátory. Kondenzátor je vodič vhodně upravený tak, aby měl velkou kapacitu. Nejjednodušší je deskový kondenzátor, což je soustava dvou plochých vodičů oddělených od sebe vrstvou dielektrika.

Připojí-li se desky kondenzátoru o kapacitě C tak, aby mezi nimi bylo napětí U , pak pro náboj, který se nahromadí na deskách bude platit vztah:

$$Q = C \cdot U \quad (9)$$

Kapacita kondenzátoru:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{l} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot S}{l} \quad (10)$$

Závisí na vzdálenosti desek l [m], na obsahu účinné plochy S [m²] a permitivitě dielektrika ε .

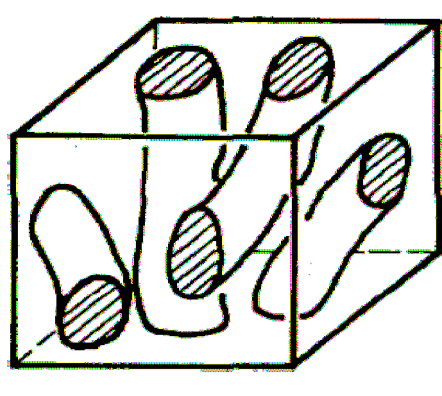
Kondenzátor se díky schopnosti hromadit na sobě náboj může stát krátkodobým zdrojem proudu. [3]

4 Zaplnění a pórovitost textilních vláknenných útvarů

Tato kapitola zde popisuje zaplněním a pórovitostí vláknenných útvarů, které potřebujeme pochopit pro experimentální část, abychom mohli posoudit vliv struktury na elektrické vlastnosti textilních materiálů.

4.1 Zaplnění textilních vláknenných útvarů

Na obr. č. 12 je znázorněna část textilního vláknenného útvaru ve tvaru hranolu s celkovým objemem V_c , uvnitř tohoto tělesa jsou úseky vláken s úhrnným objemem vláken V a platí $V \leq V_c$. Rozdíl V_c - vyjadřuje objem vzduchu mezi vlákny.

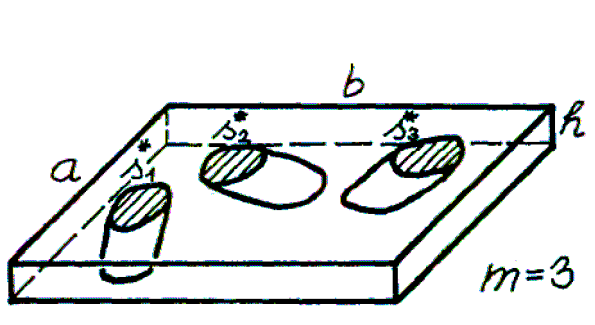


Obrázek 12. část textilního vláknenného útvaru ve tvaru hranolu

Objemová definice zaplnění je dána výrazem:

$$\mu = \frac{V}{V_c} \quad \mu \in \langle 0,1 \rangle \quad (12)$$

Plošná interpretace zaplnění.



Obrázek 13. Plošná interpretace zaplnění

Na obr. č. 13 je znázorněn plochý hranol o rozměrech a , b , h , kde h je velmi malé. Horní rovinou ab je protínáno m vláken ve vyšrafovaných řezných ploškách s_j^*h , kde $j = 1, 2, \dots, m$. Objem jednoho vlákna je s_j^*h , objem všech vláken je:

$$V = \sum_{j=1}^m (s_j^*h) = h \cdot \sum_{j=1}^m s_j^* = h \cdot S \quad (13)$$

Velikost $S = \sum_{j=1}^m s_j^*$ je souhrnná plocha řezů vláken. Celkový objem hranolu je $V_c = abh = h \cdot S_c$, kde $S_c = ab$ je celková řezná plocha vlákenným útvarům. Pro plošnou interpretaci zaplnění plyne z (12) rovnice:

$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{hS}{hS_c} = \frac{S}{S_c} \quad (14)$$

Hmotnostní interpretace zaplnění.

Uvažujeme, že vlákenný útvar má celkový objem V_c , objem vláken V a hmotnost M . Měrná hmotnost vláken je:

$$\rho = M/V \quad (15)$$

měrnou hmotnost vlákenného útvaru lze definovat vztahem:

$$\gamma = M/V_c. \quad (16)$$

Odtud plyne:

$$M = V\rho = V_c\gamma \quad (17)$$

a vzhledem k definici (12) platí:

$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{(V_c\gamma)/\rho}{V_c} = \frac{\gamma}{\rho} \quad (18)$$

Rovnice je hmotnostní interpretací zaplnění. (pojetí užívané např. v modelech kontinua). [8]

4.2 Porozita a průměr mezivláknenného póru

Porozita vyjadřuje podíl objemu vlákenného útvaru vyplněného vzduchem. Vláknenný útvar má celkový objem V_c , vlákna v něm mají objem V . Objem vzduchu (přesněji objem mezivláknenných prostorů) je $V_c - V$. Porozita je pak definována vztahem:

$$\psi = \frac{V_c - V}{V_c} = 1 - \frac{V}{V_c} = 1 - \mu \quad (19)$$

Stejný objem vzduchu však může být v několika málo velkých pórech, nebo v množství malých pórů. Proto je třeba stanovit střední velikost mezivláknenných pórů.

Obecná geometrická charakteristika:

$$\xi = \frac{O_t}{S_t} \quad (20)$$

ξ má rozměr délky, takže popisuje velikost uvažovaného tělesa. Například krychle o straně a má objem a^3 , povrch $6a^2$ a charakteristiku $\xi = a^3/(6a^2) = a/6$. Podobně válec o průměru d a délce l má objem $l \cdot \pi d^2 / 4$, povrch $l \cdot \pi d$ a charakteristiku $\xi = [l(\pi d^2 / 4)] / (l \pi d) = d / 4$. Charakteristika ξ závisí také na tvaru tělesa. (pro krychli a válec jsme našli jiný vztah k rozměru a nebo d). Veličinou ξ lze proto porovnávat jen velikosti tvarově podobných těles.

Objem pórů (tj. objem vzduchu) ve vlákenném útvaru je:

$$V_p = V_c - V = V_c \psi = \frac{V}{\mu} (1 - \mu) = V \frac{1 - \mu}{\mu} \quad (21)$$

Úhrnná délka všech vláken ve vlákenném útvaru L . Pro objem vláken platí

$$V = \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) L \quad (22)$$

a objem pórů je:

$$V_p = \frac{\pi d^2}{4} L \frac{1 - \mu}{\mu} \quad (23)$$

Povrch vláken ve vlákenném útvaru je:

$$A = Lp = L\pi d(1 + q) \quad (24)$$

Povrch pórů lze odvodit s předpokladu, že tam kde končí vlákno, začíná vzduch kolem něj. Povrch pórů je současně povrchem vláken. (Uvažujeme styk vláken v bodech či v křivkách. Pokud by byly v kontaktech mezi vlákny styčné plochy, nemohly by být do povrchu pórů zahrnovány). Předpoklad lze zapsat ve tvaru:

$$A_p = A = L\pi d(1 + q) \quad (25)$$

Geometrická charakteristika ξ pórů má tvar:

$$\xi = \frac{V_p}{A_p} = \frac{\frac{\pi d^2}{4} L \frac{1 - \mu}{\mu}}{L\pi d(1 + q)} = \frac{1 - \mu}{\mu} \frac{d}{4(1 + q)} \quad (26)$$

Tvar mezivláknenných pórů je ve skutečnost značně složitý. Pro snazší řešení proto zavedeme nejprve modelový předpoklad, že mezivláknenné póry mají tvar kapilár. (Kapiláry nemusí mít kruhový průřez, ale i tak je zavedený předpoklad značným zjednodušením skutečnosti.). Póry si lze nyní představit jako „vzduchová vlákna“, pro která jsou definované veličiny, jako u vláken. Bude používáno značení:

L_p ... délka pórových kapilár ve vláknenném útvaru (analogie úhrnné délky vláken),

d_p ... ekvivalentní průměr póru (analogie ekvivalentního průměru vláken),

q_p ... tvarový faktor póru (analogie tvarového faktoru vláken). [8]

Obvod příčného řezu pórem můžeme vyjádřit rovnicí:

$$p_p = \pi d(1 + q) \quad (27)$$

Povrch pórů je vyjádřen vztahem:

$$A_p = L_p p_p = L_p \pi d_p (1 + q_p) \quad (28)$$

Objem pórů je:

$$V_p = \frac{\pi d_p^2}{4} L_p \quad (29)$$

Geometrická charakteristika ξ pórů je:

$$\xi = \frac{V_p}{A_p} = \frac{\frac{\pi d_p^2}{4} L_p}{L_p \pi d_p (1 + q_p)} = \frac{d_p}{4(1 + q_p)} \quad (30)$$

Ekvivalentní průměr póru plyne z porovnání pravých stran:

$$\frac{1 - \mu}{\mu} \frac{d}{4(1 + q_p)} = \frac{d_p}{4(1 + q_p)} \quad d_p = \frac{1 + q_p}{1 + q} \frac{1 - \mu}{\mu} d \quad (31)$$

Poměr délek vláken a pórů je možno určit jako:

$$L \pi d(1 + q) = L_p \pi d_p (1 + q_p) \quad \frac{L}{L_p} = \frac{d_p}{d} \cdot \frac{1 + q_p}{1 + q} = \left(\frac{1 + q_p}{1 + q} \right)^2 \frac{1 - \mu}{\mu} \quad (32)$$

5 Elektrické vlastnosti polymerů

Polymery jsou většinou látky s velmi nízkou elektrickou vodivostí, které vykazují vlastnosti izolantů či dielektrik. Tato vlastnost je způsobena skutečností, že všechny elektrony jsou vázané k atomovým jádrům nebo sdílené v kovalentních vazbách.

Elektrická vodivost těchto vláken však nemusí být zcela nulová, závisí na obsahu přísad, respektive vlhkosti. Hydrofilním polymerům tak stačí 1%-ní zvýšení obsahu vlhkosti a jejich vodivost vzroste o 8-10 řádů.

V dnešní době je známo více než 100 polymerů, jenž mají různé rozsahy elektrické vodivosti. Pro polovodiče, je měrná vodivost určována pomocí měrného elektrického odporu R_E . Tato veličina se pohybuje v různých rozmezích podle typů vláken nebo jejich úprav. Hodnoty elektrického měrného odporu klasických syntetických vláken se pohybují v rozmezí 10^{12} - 10^{14} Ωm . Antistatická vlákna mají elektrický měrný odpor 10^6 - 10^{10} Ωm . Elektricky vodivá vlákna pak nabývají hodnot elektrického měrného odporu kolem 10^{-5} Ωm , nebo nižších. [9]

Elektrickou vodivost σ_E lze vyjádřit jako součin absolutní elektrické vodivosti G a délky polymerního vlákna l_V , to celé ku ploše příčného řezu vlákna S_V . Dle Ohmova zákona je G vyjádřena jako poměr proudu I a napětí U . Jednotkou je [$S = \text{AV}^{-1}$]. Z toho vyplývá, že výsledná vodivost σ_E pro polymerní vlákno je definována jako poměr plošné hustoty proudu I/S_V a intenzity elektrického pole U/l_V .

$$\sigma_E = \frac{I.l_V}{U.S_V} = \frac{G.l_V}{S_V} \quad (33)$$

Dalším způsobem vyjádření vodivosti je součin koncentrace nositelů náboje n [$\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$], velikosti náboje q [$\text{C}\cdot\text{mol}^{-1}$] a pohyblivosti nositele u_p [$\text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$]. Pro systémy, kde je více nositelů náboje platí vztah: [9]

$$\sigma_E = \sum n_i . q_i . u_{pi} \quad (34)$$

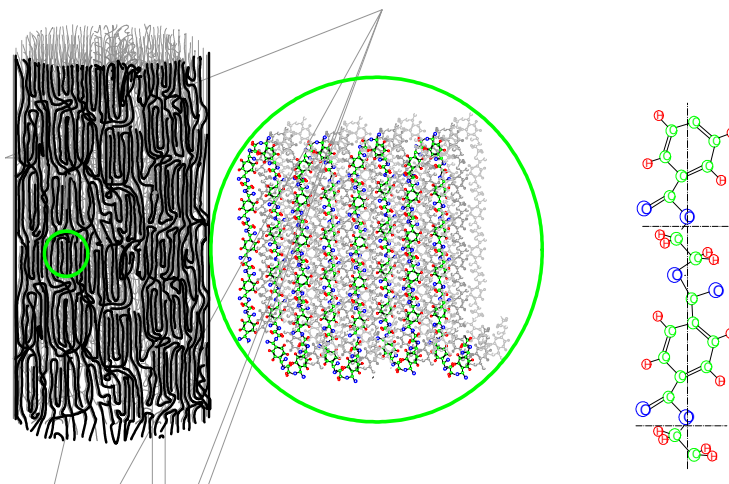
5.1 Elektrická vodivost ve vláknech ze syntetických polymerů

Elektrická vodivost polymerů je velmi komplexní problém. U vodivosti polymerních materiálů záleží na mnoha okolnostech. Záleží na chemickém složení, na formě v jaké polymer je, na vzdušné vlhkosti a samozřejmě na síle elektrického pole ve kterém jsou polymery umístěny. [10]

5.1.1 Strukturální charakteristika polymerů

Polymery jsou amorfnní makromolekulární látky. Na rozdíl od krystalických látek, kde existuje vnitřní uspořádanost na dlouhou vzdálenost, je u nekystalických (amorfních) látek uspořádanost na krátkou vzdálenost, případně neuspořádanost. Podstatou uspořádanosti na krátkou vzdálenost je vznik malých oblastí s vnitřní uspořádaností (koordinačních útvarů), u vláken se jedná o tzv. lamely. Jsou to meandricky stočené molekuly, tvořící pravidelné útvary. Makromolekuly se skládají z elementárních jednotek, jako je na příklad elementární jednotka polyesteru zjednodušeně znázorněna na obr., a jsou stavebními jednotkami, ze kterých je vlákno tvořeno. Je zde absolutní absence pravidelné mřížky, která je typická pro krystalické látky[10].

Další charakteristikou jsou obvykle různé intenzity vazeb mezi jednotlivými částicemi, v polymerech jsou zastoupeny prakticky všechny druhy vazeb najednou.



Obrázek 14: Schéma uspořádání makromolekul ve vlákne, zjednodušená podoba lamely poskládané z makromolekuly, jednoduše nakreslená molekula polyesteru

5.1.2 Elektrická vodivost polymerních vláken

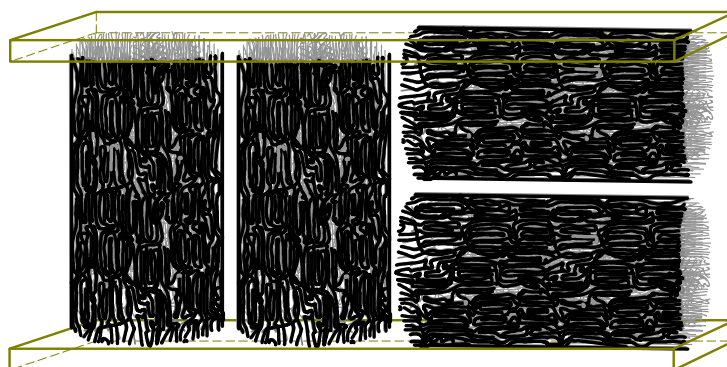
Většina textilních vláken patří mezi elektrické izolátory. To je způsobeno skutečností, že všechny elektrony jsou vázány k atomovým jádřům nebo sdílené v kovalentních vazbách.

Vodivost polymerů souvisí s přeskoky elektronů z valenčního pásu do vodivostního pásu přes zakázaný pás. Při přeskoku padají elektrony do pastí a přecházejí mezi pastmi tunelovacím mechanismem. Pro přeskoky je potřebná energie (např. tepelná). Tento přeskokový mechanismus se uplatňuje u polymerních polovodičů s konjugovanými dvojnými vazbami, protože konjugované úseky jsou přerušeny v místech lokálních poruch a na koncích řetězců. Liší se od vodivosti kovů, kde není zakázané pásmo a volné elektrony se vyskytují i ve vodivostním pásu při běžné teplotě. U polovodičů je zakázaný pás úzký, takže je jejich vodivost mezi vodivostí kovů a izolátory [10].

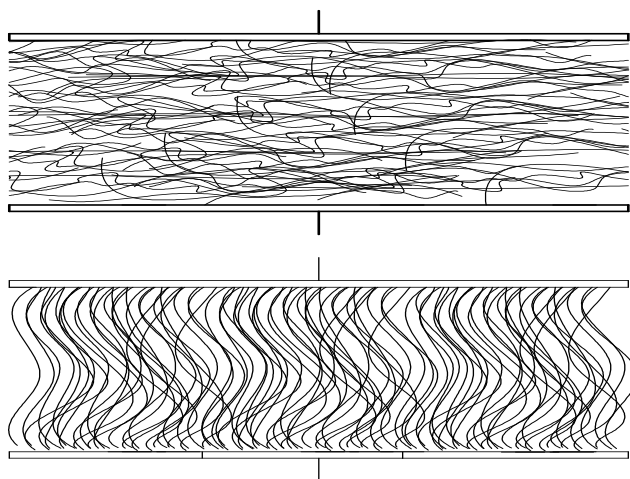
Zásadní otázka zní: V jakém směru samotné suché vlákno vede lépe elektrický proud? Jedná se o anizotropní látku, tudíž poloha vlákna v elektrickém poli je důležitá. To co umožňuje, aby vlákna za jistých podmínek vedla, jsou dvojně vazby v molekule, které mohou poskytnout volný elektron. Poté stačí dodat do vlákna dostatečnou energii, tak aby elektron překonal zakázaný pás a vlákno vede elektrický proud.

Vlákna se při výrobě dluží, což je v podstatě proces urovnávání makromolekul ve struktuře vlákna. Tím se vytvoří „cesta“ kudy elektrický náboj snadněji prochází vláknem, kde jsou si k sobě lépe nastaveny dvojně vazby – zejména konjugované.

Dloužená vlákna tedy lépe vedou el. proud ve směru své podélné osy.



Obrázek 15: Vlákna v deskovém kondenzátoru z makroskopického pohledu, představa makromolekulárního uspořádání vláken



Obrázek 16: Skutečná poloha vláken v deskovém kondenzátoru (nahore podél kladená a dole kolmo kladená netkaná textilie)

6 Eperimentální část

Tato práce navazuje na předešlé výzkumy, a bylo by dobré tedy připomenout jisté skutečnosti, které byly zjištěny v minulých výzkumech.

Při měření elektrických vlastností a dielektrické konstanty syntetických vláken z diplomové práce Andrey Šnajberové vyplynulo, že za předpokladu zvětšující se vlhkosti se zvětšuje i rezistivita. Avšak tento předpoklad neodpovídá textilním materiálům, které ve všech svých formách a uspořádáních (chomáče vláken, přízí, tkanin, pletenin a netkaných textilií) obsahují značné množství vzduchu, které vyjadřujeme pomocí porozity, nebo-li podílu vzduchu v naměřeném materiálu. [11]

Pro další měření, bude tedy nezbytné určit množství vláken zastoupených ve „směsi“ vláken a vzduchu (pro praktické využití tedy porozitu dané textilie), které významně ovlivňují vlastnosti textilie. Nezanedbatelný má i vliv uspořádání vláken v dané textilii.

Další práce, která se zabývala měřením textilií s kolmo a podélně kladenými vlákny byl výzkum Jiřiny Koprnické. Výsledkem je, že textilie s kolmo kladenými vlákny se vykazuje větší elektrickou vodivostí než textilie s vlákny podélně kladenými. Tento předpoklad byl vytvořen na základě měření rezistivity.

Pro třívrstvé textilie se však teoretický předpoklad nepotvrdil a vychází opačně. Nelze tímto však říci, že neplatí teoretický předpoklad lepší vodivosti kolmo kladených vrstev. Pro potvrzení, nebo vyloučení tohoto předpokladu, bude nezbytné provést velké množství měření, a to při různých intenzitách elektrického pole v širokém rozsahu, avšak při hodnotách menších než je elektrická pevnost měřeného materiálu (viz. kapitola 6.1.3.3.). [12]

Tato diplomová práce tedy navazuje na předešlé výsledky s cílem je rozšířit o nové skutečnosti popřípadě potvrdit či vyvrátit závěry předešlých měření.

6.1 Realizace experimentu

Ačkoli tato práce navazuje na předešlé výzkumy, bylo nutné vyrobit nové vzorky netkaných textilií a provést předběžná měření. Byl navrhnut a vyroben přípravek, který byl používán k měření elektrických vlastností netkaných textilií, tak aby vyhovoval potřebám experimentu

6.1.1 Popis měřených textilií

Testované netkané textilie byly vyrobeny v poloprovoze katedry netkaných textilií. Parametry vyrobených netkaných textilií jsou uvedeny v tabulce 1.

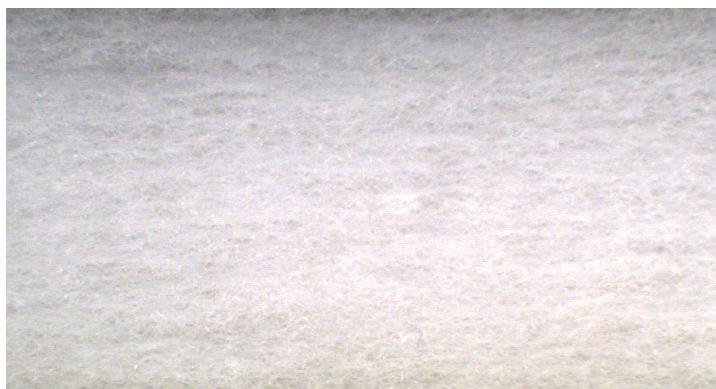
Jedná se o dva konstrukčně odlišné druhy.

- **Textilii s podél kladenými vlákny**, vyrobenou klasickou technologií vrstvením pavučiny (obrázek 17). Zpevněnou pomocí bikomponentních kopolyesterových vláken, které mají nižší teplotu tání. Takže se nejdříve navrstvila pavučina v požadovaném množství a poté se textilie vložila do pojící komory na dobu tří minut. Pojící teplota byla v rozsahu 140 – 150 °C.
- **Textilii s kolmo kladenými vlákny**, vyrobenou technologií STRUTO (obrázek 18) viz [13].

Snahou při výrobě textilií bylo dosáhnout stejné objemové hmotnosti obou druhů. Na obě textilie byla použita stejná směs vláken, tedy 80 % polyesteru (popis výroby PES vlákna v příloze 1) a 20 % kopolyesteru.

Tabulka 1: Parametry textilií

	Textilie s podél kladenými vlákny	Textilie s kolmo kladenými vlákny
Použitý vlákenný materiál	PES/coPES	PES/coPES
Podílové zastoupení [%]	80/20	80/20
Jemnost vláken [dtex]	6,7/2,2	6,7/2,2
Délka vláken [mm]	80/30	80/30
Tloušťka vláken [μm]	22/22	22/22
Měrná hmotnost vláken v textilii [kg·m ⁻³]	1374/1256	1374/1256
Průměrná pórovitost [%]	98,96	98,91
Průměrná tloušťka textilie [mm]	30	30
Průměrná hmotnost vzorků [kg]	0,0150	0,0158
Průměrná objemová měr. hmotn. vzorku [kg·m ⁻³]	14,31	15,01



Obrázek 17: Pohled na textilií s podél kladenými vlákny



Obrázek 18: Pohled na textilií s kolmo kladenými vlákny

6.1.2 Popis zařízení použitého k experimentu

Měření elektrického odporu probíhalo na přístroji Hewlett Packard 4339 B.



Obr.19 : Hewlett Packard 4339 B

Na Hewlett Packard 4339 B byl napojen na měřicí přípravek (příloha 2.), do kterého se vkládala měřená textilie, který byl spojen pomocí elektrod, které byly umístěny na obou stranách desek.

Před každým měřením byly vzorky v daném prostředí klimatizovány 24 hodin.

6.1.3 Popis experimentu

6.1.3.1 Zjišťování parametrů textilie

Zjišťování parametrů textilie zahrnovalo především měření měrné hmotnosti vláken pyknometrickou metodou a objemové hmotnosti textilie metodou vážení vzorků. Dále výpočet pórovitosti textilie.

Pyknometrická metoda

Pro další měření bylo nutné znát přesnou měrnou hmotnost vláken.

Metodika měření je následující:

1. pyknometr se naplní kapalinou o hustotě ρ_k (destilovanou vodou) a zváží (jeho hmotnost se označuje P_k),
2. připraví se přesné množství suchých vláken, které se zváží m_v ,
3. vlákna se vloží do pyknometru, doplní se scházející kapalina, pyknometr se zavře a vloží do odsávací komory, kde je z pyknometru odsát vzduch
4. poté se pyknometr opět zváží (hmotnost pyknometru naplněného kapalinou a vlákny se označuje P_{kv}).

$$\rho = \frac{m_v \cdot \rho_k}{m_v + P_k - P_{kv}} \quad (35)$$

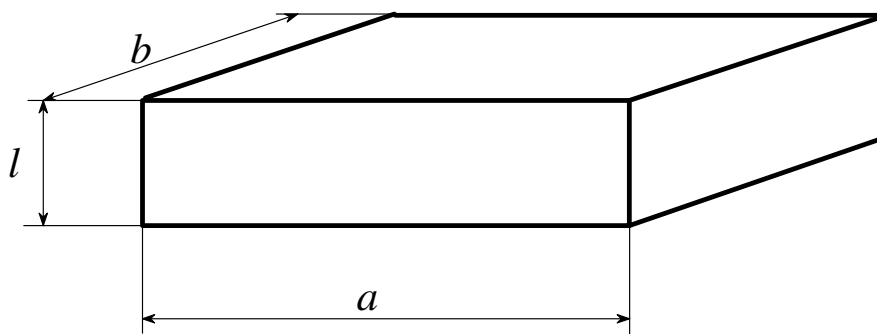
Metoda zjištění objemové měrné hmotnosti

Zjišťování objemové měrné hmotnosti textilií ρ_{vi} se zakládalo na vážení vzorků pomocí elektronických vah značky Sartorius. Vzorky byly nastříhány podle šablony na rozměr odpovídající rozměrům elektrod měřícího přípravku a zváženy. Rozměry vzorků byly:

$$a = 0,01\text{m}$$

$$b = 0,01\text{m.}$$

$$l = 0,03\text{m}$$



Obrázek 20: Znázornění označení rozměrů jednoho vzorku netkané textilie

Pro výpočet objemové hmotnosti textilií byl použit vztah:

$$\rho_{vi} = \frac{m_i}{a \cdot b \cdot l_i} \quad (36)$$

Vzorků bylo vyrobeno dohromady 20. Deset vzorků s podélně kladenými vlákny, deset vzorků s kolmo kladenými vlákny. Zdvojených vzorků bylo docíleno tak, že se používaly dva vzorky od stejného druhu textilie. Všechny vzorky byly očíslovány.

Výpočet pórovitosti

Pro stanovení pórovitosti textilie bylo použito vztahu

$$\psi = \left[1 - \frac{\rho_m \cdot \rho_{vi}}{\rho_{tab.}} \right] \cdot 10^2 \quad (37)$$

6.1.3.2 Zjišťování elektrických vlastností textilií na přístroji HP 4339 B

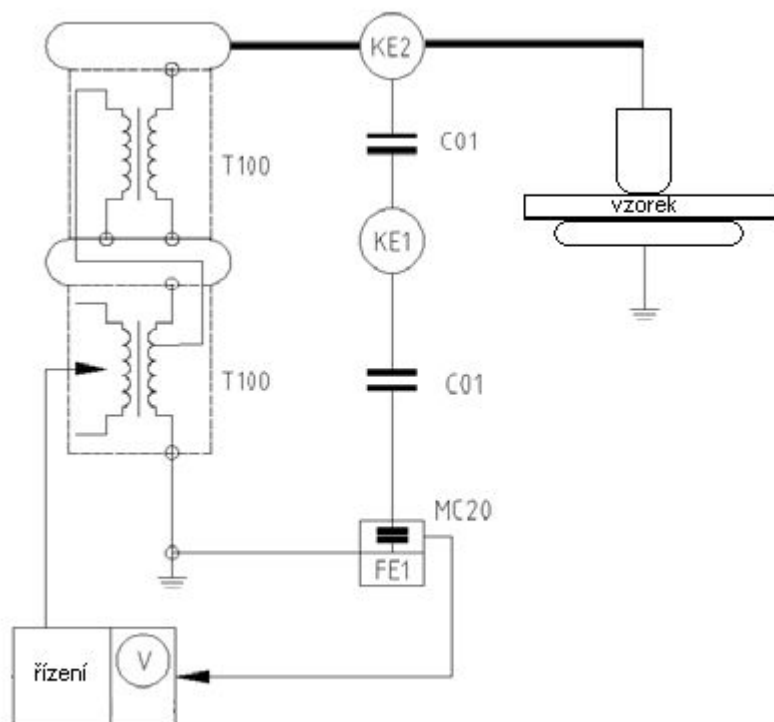
Zjišťování elektrických vlastností se zakládalo na měření elektrického odporu v měřicím přípravku po vložení textilie mezi jeho elektrody. To se provádělo tak, že se vzorek netkané textilie vložil do připraveného měřicího přípravku. Vzorek textilie byl stejné velikosti jako měřicí přípravek. Textilie byla takto upravená proto, aby se zabránilo případné deformaci, která by mohla budoucí výsledky zkreslit a znepřesnit.

Měření se opakovalo pro všechny vzorky postupně. Měření byla prováděna při klimatických podmínkách a nastavení měřicího přístroje:

- Teplota 23 – 24 °C
- Relativní vlhkost 28 a 50 % (50% z důvodu ověření vlivu vlhkosti na vodivost textilií)
- Clmt: 5mA
- Napětí 10V, 25V, 50V, 100V, 250V
- Čas měření 15 s a 30 s

6.1.3.3 Průrazné napětí netkaných textilií

Toto měření bylo provedeno ve spolupráci s Plzeňskou Univerzitou – **ještě upřesníme.**



Obr 21. Schéma obrázku

Elektrodový systém:

Napěťová elektroda: ϕ 25 mm

Zemní elektroda: ϕ 75 mm

Vzdálenost elektrod:

Vychází z předpokladu, že elektrody se mají pouze kontaktně dotýkat a nevyvíjet žádný tlak na zkoumanou textilií.

Pro textilie s podél kladenými vlákny $h = 24$ mm

Pro textilie s kolmo kladenými vlákny $h = 30$ mm

Napětí:

Rychlost nárůstu střídavého napětí volena tak, aby k průrazu došlo mezi 10 a 20s. V tomto případě 1,3 kV/s

Četnost měření:

Počet fyzických vzorků každého materiálu – 10

Na každém vzorku provedeno 5 průrazů

Tabulka 2: Změřené a vypočtené hodnoty elektrické pevnosti

kolmo kladená vlákna				podél kladená vlákna			
	vzdálenost elektrod / cm				vzdálenost elektrod / cm		
	3				2,4		
vzorek č.	Up /kV	Ep / kV/cm	průměr Ep	vzorek č.	Up /kV	Ep / kV/cm	průměr Ep
1	19,4	6,466666667	6,6384	1	20,34	8,475	7,377417
	19,06	6,353333333			19,11	7,9625	
	19,85	6,616666667	smodch		19,8	8,25	smodch
	20,05	6,683333333	0,258945074		16,83	7,0125	0,390737
	19,59	6,53			20,59	8,579167	
2	19	6,333333333	var. Koef	2	17,31	7,2125	var. Koef
	18,8	6,266666667	3,900715135		17,14	7,141667	5,296387
	19,82	6,606666667			16,84	7,016667	
	18,86	6,286666667	medián		17,54	7,308333	medián
	18,56	6,186666667	6,616666667		17,3	7,208333	7,260417
3	20,17	6,723333333		3	18,67	7,779167	
	19,65	6,55			16,86	7,025	
	20,07	6,69			17,4	7,25	
	20,18	6,726666667			17,43	7,2625	
	21,55	7,183333333			19,92	8,3	
4	19,68	6,56		4	17,49	7,2875	
	20,48	6,826666667			17,41	7,254167	
	19,01	6,336666667			16,25	6,770833	
	21,24	7,08			17,54	7,308333	
	20,22	6,74			17,06	7,108333	
5	21,62	7,206666667		5	17,42	7,258333	
	20,59	6,863333333			17,29	7,204167	
	19,37	6,456666667			16,66	6,941667	
	20,08	6,693333333			17,07	7,1125	
	19,85	6,616666667			17,62	7,341667	
6	19,66	6,553333333		6	17,85	7,4375	
	20,61	6,87			17,41	7,254167	
	19,64	6,546666667			17,66	7,358333	
	20,92	6,973333333			18,17	7,570833	
	19,89	6,63			17,16	7,15	
7	20,12	6,706666667		7	16,78	6,991667	
	19,77	6,59			16,28	6,783333	
	19,83	6,61			17,39	7,245833	
	19,92	6,64			17,02	7,091667	
	20,34	6,78			17,22	7,175	
8	19,67	6,556666667		8	18,04	7,516667	
	20,68	6,893333333			19,42	8,091667	
	20,15	6,716666667			18,41	7,670833	
	19,08	6,36			17,35	7,229167	
	20,31	6,77			18,08	7,533333	
9	20,28	6,76		9	17,36	7,233333	
	20,56	6,853333333			17,8	7,416667	
	18,82	6,273333333			17,85	7,4375	
	20,09	6,696666667			17,54	7,308333	
	19,09	6,363333333			17,86	7,441667	
10	19,65	6,55		10	17,37	7,2375	
	19,41	6,47			17,68	7,366667	
	19,44	6,48			17,07	7,1125	
	22,43	7,476666667			17,57	7,320833	
	18,65	6,216666667			18,06	7,525	

6.2 Výsledky a diskuze

V této části diplomové práce jsou uvedeny výsledky provedeného experimentu. Původní záměr měřit pouze jednu vrstvu dvou, strukturálně odlišných druhů textilie, se v průběhu realizace experimentu změnil. Byly naměřeny a testovány textilie navrstvené. To znamenalo, že do měřicího přípravku byly umístěny dvě vrstvy stejného druhu textilie.

6.2.1 Zjištěné parametry netkaných textilií

K výpočtům teoretické pórovitosti, bylo nutné zjistit jejich měrnou i objemovou hmotnost, a návazně na to i vlákenný podíl. Průměry těchto zjištěných vlastností jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3: Průměry zjištěných parametrů jednovrstvých a dvouvrstvých textilií

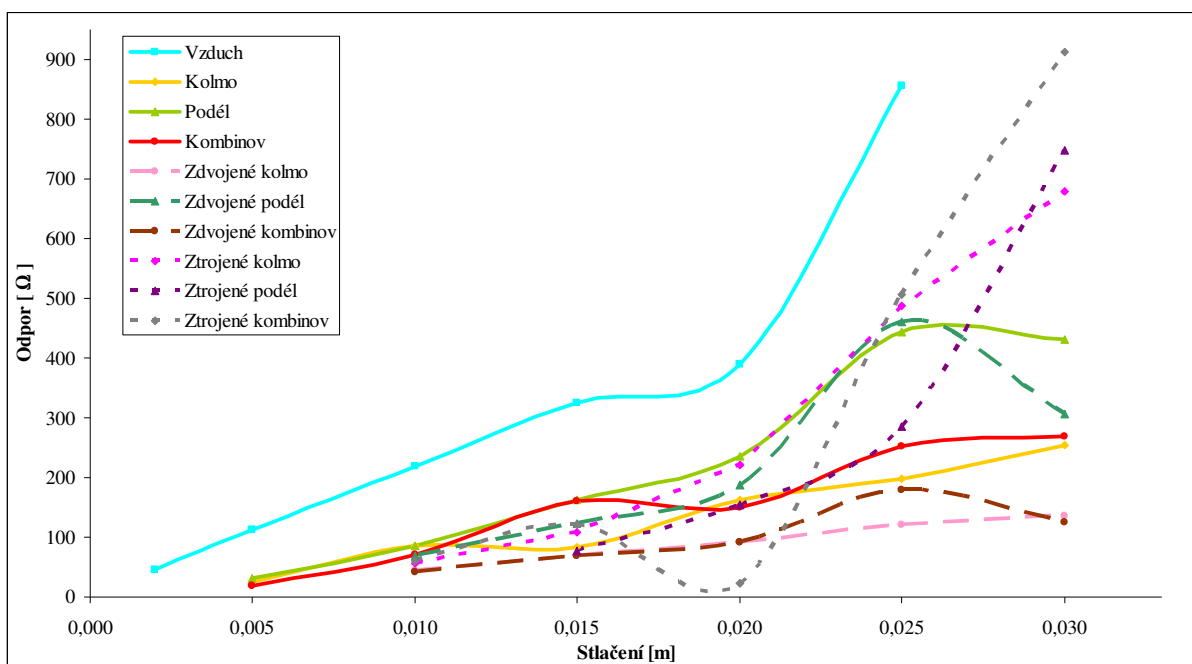
Jednovrstvá podél kladená textilie			
l [m]	Objemová hmotnost vzorků [kg/m ³]	Pórovitost [%]	Zastoupení vláken [%]
0,030	119,048	98,59	8,66
Jednovrstvá kolmo kladená textilie			
0,030	125,3968	98,52	9,13
Zdvojená podél kladená textilie			
0,030	238,096	97,19	17,32
Zdvojená kolmo kladená textilie			
0,030	250,7936	97,045	18,26

Bylo zjištěno, že kolmo kladené textilie mají vyšší objemovou hmotnost, než textilie podél kladené.

6.2.2 Zjištěné elektrické vlastnosti textilií

V následující kapitole jsou uvedeny a analyzovány naměřené a vypočítané hodnoty elektrických vlastností testovaných textilií. Jsou zde shrnuty výsledky měření elektrického odporu měřicího zařízení s vloženými textiliemi.

Než přejdeme k naměřeným výsledkům týkající se tohoto výzkumu je nutné připomenout, že v předchozím výzkumu byla zkoumána rezistivita u kolmo a podél kladené textilie při různém stlačení. Pro lepší orientaci je zde přiložen obrázek 22 s grafem naměřených rezistivit ve všech kombinacích, které byly pro měření použity.



Obrázek 22: Průběh změny naměřené rezistivity deskového kapacitního kondenzátoru v závislosti na vzdálenosti jeho desek

S klesající vzdáleností desek kapacitního kondenzátoru klesala i jeho rezistivita, bez ohledu na to byla li mezi jeho deskami vložená netkaná textilie či nebyla. Do grafu byla přidána i křivka průběhu naměřené rezistivity na kondenzátoru bez textilie.

Celkově vyšších hodnot rezistivity dosahovaly podél kladené textilie, nižší hodnoty rezistivity byly naměřeny u kombinovaných druhů textilií a nejnižší rezistivitu měly kolmo kladené textilie. [12]

Na základě těchto údajů bylo provedeno další měření a to elektrického odporu textilií, které byly stejného složení a výroby. Toto měření by mělo prokázat do jaké míry vedou elektrický proud a jak se zvyšuje nebo naopak snižuje elektrický odpor na základě vlivu struktury (zaplnění, pórovitost,...) těchto měřených textilií.

U každého druhu textilie (kolmo kladená, podél kladená, zdvojená kolmo kladená a zdvojená podél kladená textilie) bylo provedeno deset měření při různém napětí. Výsledky měření jsou uvedeny v průměrných hodnotách v tabulkách a následně znázorněny v grafu. Podrobnější znázornění každé textilie (podrobné tabulky a grafy týkající se jednotlivého měření elektrického odporu pro všechna zvolená napětí) je možno zhlédnout v příloze 3.

6.2.2.1 Zjištěný elektrický odpor u jednovrstvé podél kladené textilie

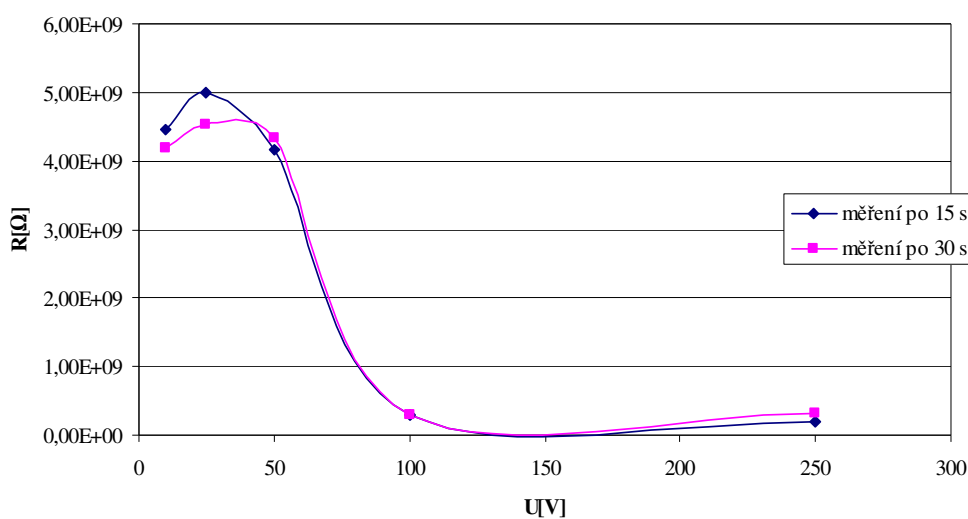
V tabulce 4 jsou uvedeny průměrné hodnoty naměřené z 10 měření elektrického odporu jednovrstvé podél kladené textilie.

Tabulka 4: Průměry naměřených hodnot jednovrstvé podél kladené textilie

Jednovrstvá podél kladená textilie										
vlhkost 28%	U=10V		U=25V		U=50V		U=100V		U=250V	
průměr R[Ω]	4,45458*10 ⁹	4,18809*10 ⁹	4,99657*10 ⁹	4,54080*10 ⁹	4,15280*10 ⁹	4,32766*10 ⁹	2,94979*10 ⁸	2,90031*10 ⁸	1,99182*10 ⁸	3,23170*10 ⁸

Obrázek 23 znázorňuje to, jak se měnil elektrický odpor při rozdílném napětí na jednovrstvou podél kladenou textilií. Je zajímavé, že při nižším napětí, hlavně tedy při napětí 25 voltů, byla hodnota nejvyšší a pak křivka výrazně klesla, pouze v poslední hodnotě, tedy při napětí 250 voltů, elektrický odpor mírně stoupl. Toto měření bylo měřeno po 15 sekundách.

Druhá, červeně vyznačená křivka nám slouží pouze k ověření, zda měření proběhlo správně. Toto měření probíhalo po 30 sekundách a znázorňuje nám, zda se textilie nabíjí či ne.



Obrázek 23: Graf znázorňuje průběh napěťové závislosti elektrického odporu u jednovrstvé podél kladené textilie

Pokles elektrického odporu při vyšším napětí lze vysvětlit takto: do vzorku je přiváděno vyšší napětí, tedy dodáváme i vyšší energii do systému a elektrony z valenčního pásu jsou excitovány do pásu vodivého

Pórovitost u této textilie se pohybuje kolem 98,59%. Samozřejmě důležitá je i vlhkost prostředí, ve kterém bylo měření prováděno. Relativní vlhkost byla 28%.

6.2.2.2 Zjištěný elektrický odpor u jednovrstvé kolmo kladené textilie

V tabulce 5 jsou uvedeny průměrné naměřené hodnoty elektrického odporu jednovrstvé podél kladené textilie.

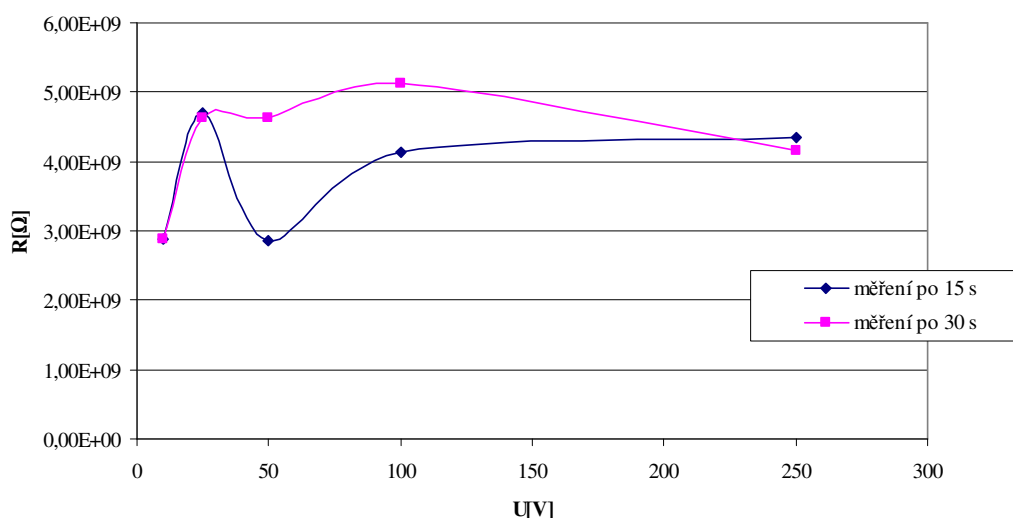
Tabulka 5: Průměry naměřených hodnot jednovrstvé kolmo kladené textilie

Jednovrstvá kolmo kladená textilie										
Vlhkost 50%	U=10V		U=25V		U=50V		U=100V		U=250V	
průměr R[Ω]	2,89119*10⁹	2,89114*10⁹	4,70703*10⁹	4,63979*10⁹	2,84956*10⁹	4,63979*10⁹	4,12798*10⁹	5,13330*10⁹	4,35283*10⁹	4,15306*10⁹

Obrázek 24. znázorňuje, jak se měnil elektrický odpor při rozdílném napětí na jednovrstvou kolmo kladenou textilií (měření po 15 sekundách).

Jak je patrné z grafu, elektrický odpor u této textilie byl značně kolísavý a svého maxima dosáhla hodnota při napětí 25 voltů, tedy stejně jako u jednovrstvé podél kladené textilie. Pak křivka prudce klesla a při působení dalšího elektrického proudu se křivka elektrického odporu pomalu zvedala a při napětí 250 voltů se vyšplhala na druhou nejvyšší hodnotu.

Druhá, červeně vyznačená křivka viz. podél kladená textilie (měření po 30 sekundách). Zde ale průběh nebyl v takové shodě jako u obrázku 23 a byly zde zpozorovány značné odchylky od hlavní (modré) křivky. Tato křivka při počátečních napětích 10-25 voltů prudce vzrostla a následně pomalu šplhala do svého bodu maxima při napětí 100 voltů a pak pozvolna klesala k nižší hodnotě při nejvyšším napětí 250 voltů.



Obrázek 24: Graf znázorňuje průběh napět'ové závislosti elektrického odporu u jednovrstvé kolmo kladené textilie

Toto měření proběhlo při vyšší vlhkosti, která byla v laboratorních podmínkách 50%. To jistě přispělo k zajímavým hodnotám aspoň co se týče červené křivky, u které se nepotvrdil předpoklad že s vzrůstající vlhkostí roste i elektrická vodivost, která je podmíněna rostoucím napětím a klesajícím elektrickým odporem. Pórovitost této textilie je 98,52%, což je nepatrně méně než u jednovrstvé kolmo kladené textilie

6.2.2.3 Zjištěný elektrický odpor u zdvojené podél kladené textilie

V tabulce 6 jsou uvedeny průměrné naměřené hodnoty elektrického odporu zdvojené podél kladené textilie

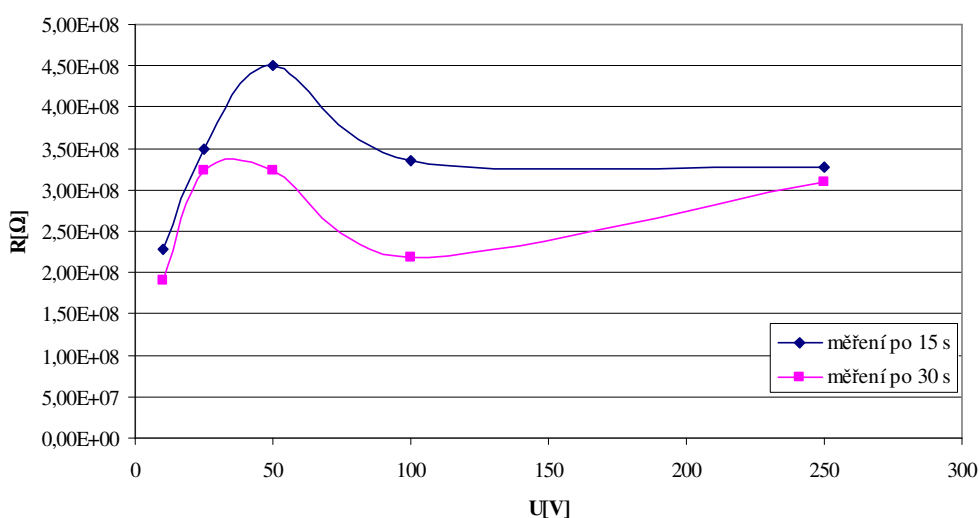
Tabulka 6: Průměry naměřených hodnot zdvojené podél kladené textilie

Zdvojená podél kladená textilie									
vlhkost 28%	U=10V		U=25V		U=50V		U=100V		U=250V
průměr R[Ω]	$2,28388 \cdot 10^8$	$1,90597 \cdot 10^8$	$3,48760 \cdot 10^8$	$3,23459 \cdot 10^8$	$4,50595 \cdot 10^8$	$3,22490 \cdot 10^8$	$3,34580 \cdot 10^8$	$2,18235 \cdot 10^8$	$3,27347 \cdot 10^8$ $3,09743 \cdot 10^8$

Obrázek 25. znázorňuje, jak se měnil elektrický odpor při rozdílném napětí na zdvojenou podél kladenou textilií (měření po 15 sekundách).

Elektrický odpor u tohoto grafu má nejnižší hodnotu při napětí 10 voltů, pak křivka rostla a svého maxima dosáhla při napětí 50 voltů. Při vyšším napětí než 50 voltů křivka znovu klesala.

Druhá, červeně vyznačená křivka viz jednovrstvá podél kladená textilie (měření po 30 sekundách). Zde křivka probíhala podobně jako křivka hlavní, pouze při posledním měření, které se týkalo hodnoty při napětí 250 voltů, křivka začala stoupat oproti hlavní (modré) křivky, která klesala.



Obrázek 25: Graf znázorňuje průběh napětí-odporové závislosti elektrického odporu u zdvojené podél kladené textilie

Toto měření probíhalo při laboratorních podmínkách o vlhkosti 28%. Naměřený elektrický odpor u tohoto měření je oproti předešlým měřením značně nižší. Pórovitost u této textilie byla naměřena 97,19%.

6.2.2.4 Zjištěný elektrický odpor u zdvojené kolmo kladené textilie

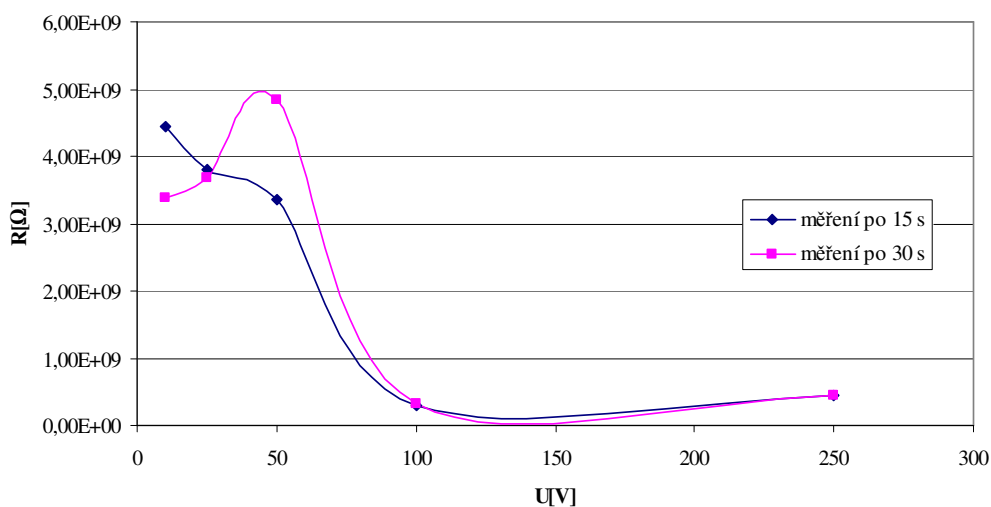
V tabulce 7 jsou uvedeny průměrné naměřené hodnoty elektrického odporu zdvojené kolmo kladené textilie.

Tabulka 7: Průměry naměřených hodnot zdvojené kolmo kladené textilie

Zdvojená kolmo kladená textilie									
vlhkost 28%	U=10V		U=25V		U=50V		U=100V		U=250V
průměr R[Ω]	4,44358*10⁹	3,39254*10⁹	3,81323*10⁹	3,68257*10⁹	3,36799*10⁹	4,83200*10⁹	2,90926*10⁸	3,29589*10⁸	4,39544*10⁸ 4,52248*10⁸

U posledního obrázku č. 26 týkající se tohoto měření bylo zjištěno; křivka elektrického odporu postupně při vyšších napětích neustále klesala, to tedy znamená, že svého maxima dosáhla při nejmenším napětí 10. voltech (měření po 15 sekundách).

Druhá, červeně vyznačená křivka viz. jednovrstvá podél kladená textilie (měření po 30 sekundách). Tady nám ale křivka z počátku kolísá, kdy nám elektrický odpor při rostoucím napětí roste a svého maxima dosahuje při 50 voltech a na závěr měření se ztotožňuje z hlavní (modrou) křivkou.



Obrázek 26: Graf znázorňuje průběh napěťové závislosti elektrického odporu u zdvojené kolmo kladené textilie

Toto měření probíhalo při laboratorních podmínkách o vlhkosti 28%. Naměřený elektrický odpor u tohoto měření je oproti zdvojené podél kladené textilie měřením vyšší. To znamená, že vodivost u této textilie je nižší než u zdvojené podél kladené textilie. Pórovitost u této textilie byla naměřena 97,045%.

6.2.2.5 Porovnání elektrického odporu u naměřených textilií, směrodatná odchylka a interval spolehlivosti

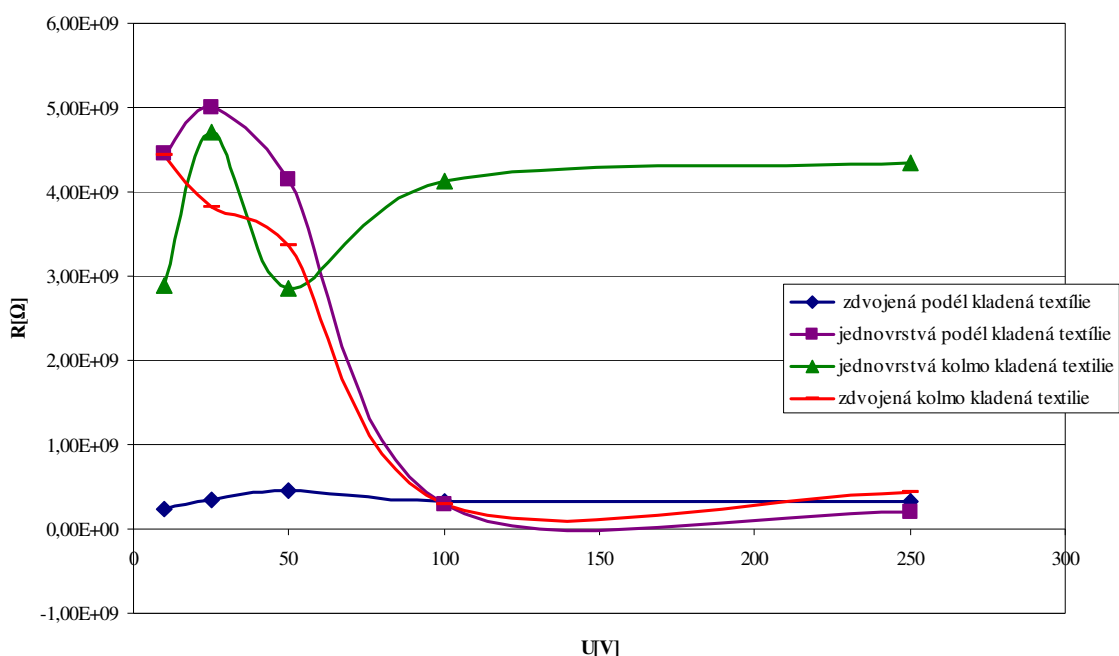
Porovnání elektrického odporu naměřených textilií

V tabulce 8 jsou uvedeny průměrné naměřené hodnoty elektrického odporu u zdvojené kolmo kladené textilie, zdvojené podél kladené textilie, jednovrstvé kolmo kladené textilie a jednovrstvé podél kladené textilie.

Tabulka 8: Průměry naměřených hodnot u měřených textilií

U[V]	jednovrstvá podél kladená textilie průměr $R[\Omega]$	jednovrstvá kolmo kladená textilie průměr $R[\Omega]$	zdvojená podél kladená textilie průměr $R[\Omega]$	zdvojená kolmo kladená textilie průměr $R[\Omega]$
10	$4,4546 \cdot 10^9$	$2,8912 \cdot 10^9$	$2,2839 \cdot 10^8$	$4,4436 \cdot 10^9$
25	$4,9966 \cdot 10^9$	$4,7070 \cdot 10^9$	$3,4876 \cdot 10^8$	$3,8132 \cdot 10^9$
50	$4,1528 \cdot 10^9$	$2,8496 \cdot 10^9$	$4,5060 \cdot 10^8$	$3,3680 \cdot 10^9$
100	$2,9498 \cdot 10^8$	$4,1280 \cdot 10^9$	$3,3458 \cdot 10^8$	$2,9093 \cdot 10^8$
250	$1,9918 \cdot 10^8$	$4,3528 \cdot 10^9$	$3,2735 \cdot 10^8$	$4,3954 \cdot 10^8$

Tento obrázek 27 nám znázorňuje všechny variace měřených textilií. Můžeme s něho vyčíst menší či větší vodivost každé textilie a jakým způsobem se měnil elektrický odpor při různém napětí.



Obrázek 27: Průběh elektrické vodivosti textilií

Z grafu můžeme vyčíst, že největšího elektrického odporu bylo naměřeno u jednovrstvé podél kladené textilie a to při napětí 25 voltů a u téže textilie byla naměřena i nejnižší hodnota, která se pohybovala kolem 150 voltů.

Nejméně změn bylo zaznamenáno u zdvojené podél kladené textilie, která se nijak výrazně neprojevila a při všech stupních napětí se chovala téměř stejně.

U jednovrstvé kolmo kladené textilie byly zaznamenány zpočátku při nižším napětí značné skoky v hodnotách elektrického odporu, který se ale u napětí 100 a 250 voltech zmírnil a křivka elektrického odporu se pomalu zvedala. Křivka této textilie byla co se týče elektrického odporu v porovnání s ostatními textiliemi nejvyšší.

Poslední sledovanou křivkou je zdvojená kolmo kladená textilie, která se při různém napětí chovala podobně jako jednovrstvá podél kladená textilie. Elektrický odpor byl při počáteční hodnotě, tedy napětí o 10 voltech, nejvyšší a při zvyšování napětí křivka klesala. Pouze při posledním měření při 250 voltů se pozorovaná hodnota nepatrně zvýšila.

Směrodatná odchylka a interval spolehlivosti

Ze zjištěných hodnot elektrického odporu pro jednotlivé textilie byla určena směrodatná odchylka (viz. tabulka 9).

Tabulka 9: Směrodatná odchylka naměřených hodnot textilií

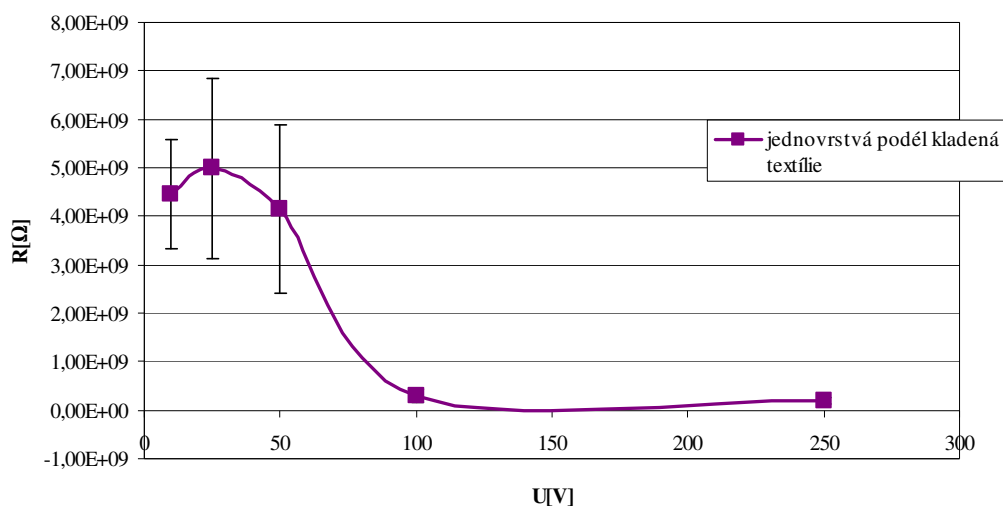
U[V]	jednovrstvá podél kladená textilie <i>směr.odchylka</i>	jednovrstvá kolmo kladená textilie <i>směr.odchylka</i>	zdvojená podél kladená textilie <i>směr.odchylka</i>	zdvojená kolmo kladená textilie <i>směr.odchylka</i>
10	$1,8363 \cdot 10^9$	$2,7142 \cdot 10^9$	$2,2641 \cdot 10^8$	$1,8175 \cdot 10^9$
25	$3,0015 \cdot 10^9$	$2,8981 \cdot 10^9$	$2,8687 \cdot 10^8$	$2,6709 \cdot 10^9$
50	$2,8066 \cdot 10^9$	$1,2186 \cdot 10^9$	$3,0486 \cdot 10^8$	$2,1074 \cdot 10^9$
100	$2,1382 \cdot 10^8$	$1,3227 \cdot 10^9$	$3,1823 \cdot 10^8$	$2,0769 \cdot 10^8$
250	$9,6060 \cdot 10^7$	$2,5972 \cdot 10^9$	$2,9954 \cdot 10^8$	$2,4887 \cdot 10^8$

Dále byly vypočítány intervaly spolehlivosti viz. tabulka 10 (interval spolehlivosti vymezuje pravděpodobnou oblast, ve které se hodnoty mohou pohybovat) a rozptyly pro všechny typy textilií pomocí programu excel a vyneseny chybové úsečky do grafů., které vyjadřují hodnoty kolísající kolem střední hodnoty.

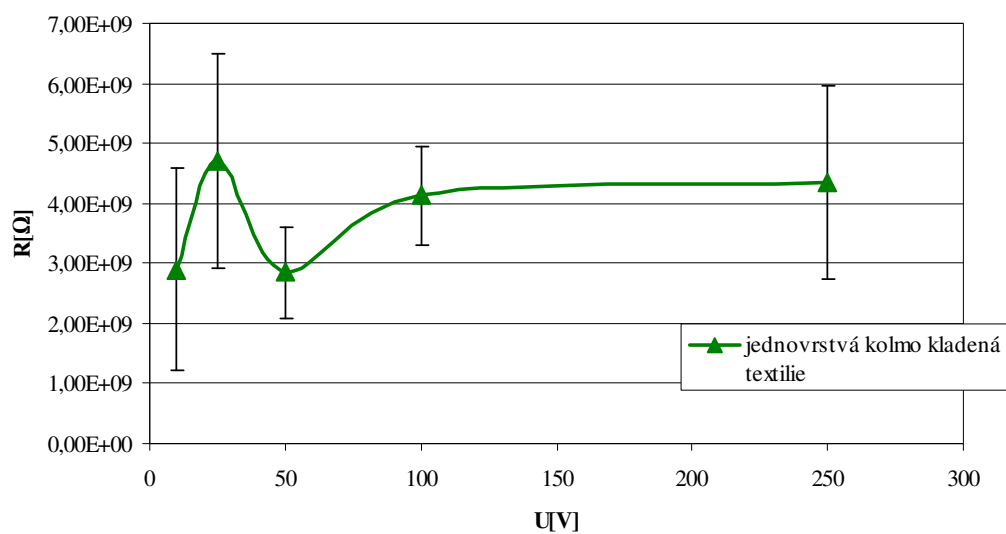
Tabulka 10: Interval spolehlivosti s hladinou $\alpha = 0,05$ naměřených hodnot textilií

U[V]	jednovrstvá podél kladená textilie <i>IS</i>	jednovrstvá kolmo kladená textilie <i>IS</i>	zdvojená podél kladená textilie <i>IS</i>	zdvojená kolmo kladená textilie <i>IS</i>
10	$1,1381 \cdot 10^9$	$1,6823 \cdot 10^9$	$1,4033 \cdot 10^8$	$1,1265 \cdot 10^9$
25	$1,8603 \cdot 10^9$	$1,7962 \cdot 10^9$	$1,7780 \cdot 10^8$	$1,6554 \cdot 10^9$
50	$1,7395 \cdot 10^9$	$7,5528 \cdot 10^8$	$1,8895 \cdot 10^8$	$1,3062 \cdot 10^9$
100	$1,3252 \cdot 10^8$	$8,1980 \cdot 10^8$	$1,9724 \cdot 10^8$	$1,2873 \cdot 10^8$
250	$5,9538 \cdot 10^7$	$1,6097 \cdot 10^9$	$1,8565 \cdot 10^8$	$1,5425 \cdot 10^8$

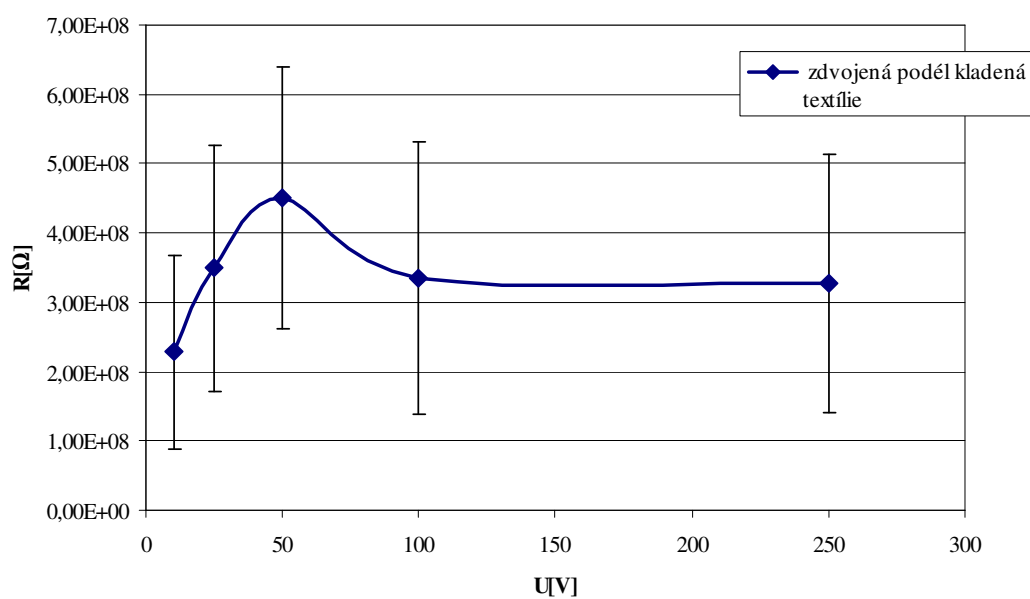
Rozptyl hodnot u všech měřených textilií je velký, pouze v případě měření jednovrstvé podél kladené a zdvojené kolmo kladené textilie se zmenšuje, čím je do měřicího přípravku přiváděno větší množství energie (rostoucí napětí 10V, 25V...).



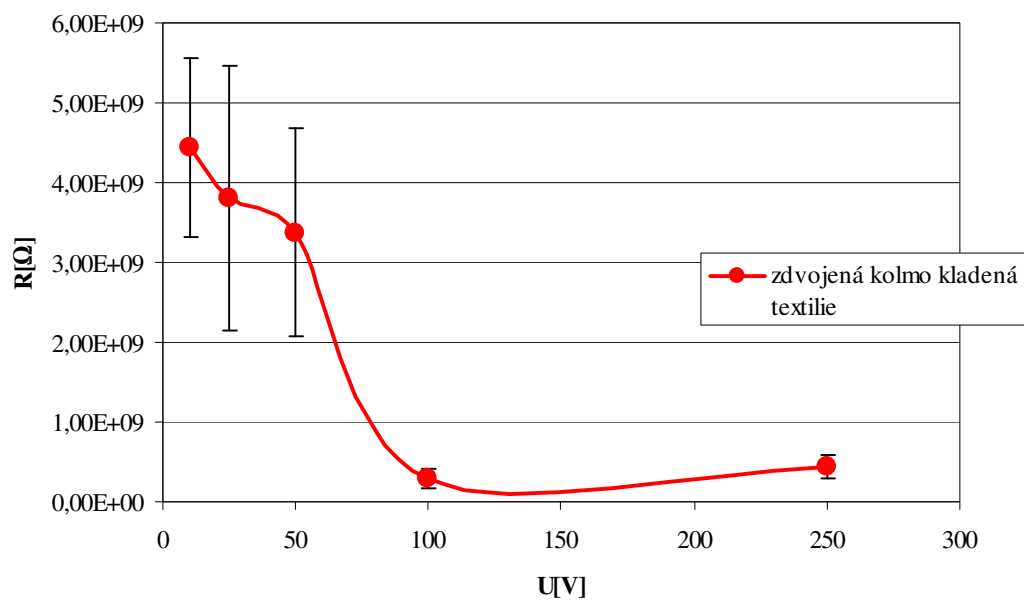
Obrázek 28: Interval spolehlivosti elektrického odporu pro jednotlivé napětí u jednovrstvé podél kladené textilie



Obrázek 29: Interval spolehlivosti elektrického odporu pro jednotlivé napětí u jednovrstvé kolmo kladené textilie



Obrázek 30: Interval spolehlivosti elektrického odporu pro jednotlivé napětí u zdvojené podél kladené textilie



Obrázek 31: Interval spolehlivosti elektrického odporu pro jednotlivé napětí u zdvojené kolmo kladené textilie

7 Diskuse výsledků

Výsledek předchozího výzkumu, který tvrdil, že textilie s kolmo kladenými vlákny se vykazovala větší elektrickou vodivostí než textilie s vlákny podélně kladenými, byl u tohoto výzkumu přehodnocen a některé závěry pozměněny podle nově získaných informací a dat, které byly výzkumem naměřeny a dále zpracovány.

Z tohoto výzkumu je patrné, že celkově má největší elektrickou vodivost zdvojená podél kladená textilie, která se vykazuje nejnižším elektrickým odporem, ale pouze do určité hodnoty napětí (100 voltů). Další textilie, které měly velmi nízkou hodnotu elektrického odporu (ale pouze od 100 do 250 voltů) byly jednovrstvá podél kladená textilie a zdvojená kolmo kladená textilie. Tento předpoklad byl vytvořen na základě měření elektrického odporu všech textilií (podél, kolmo, zdvojená podél a zdvojená kolmo) při různém napětí, viz. kapitola 6.2.2.5.

Dále bylo zjištěno, že textilie s celkově nejnižší elektrickou vodivostí je jednovrstvá kolmo kladená textilie, která vykazovala v celém průběhu své křivky nejvyšší elektrický odpor. Textilie, které měly také nízkou vodivost, byly ale omezeny napětím (pouze od 10 do 50 voltů), jsou jednovrstvá podél kladená textilie, která dosahovala nejvyšších hodnot a zdvojená kolmo kladená textilie.

U každé textilie byl také přezkoumán vliv zaplnění (resp. pórovitosti) a jak ovlivňuje elektrické vlastnosti dané textilie. Bylo zjištěno, že všechny měřené textilie mají vysokou pórovitost, což je dobré, protože textilie obsahují velké množství vzduchu, což umožňuje tyto textilie použít jako tepelně izolační vrstvy. Co se týče elektrického vlivu na tyto textilie v důsledku pórovitosti se textilie projevily spíše opačně. Musíme vzít v potaz také vlhkost, při které bylo měření prováděno. Vlhkost byla 28 a 50%. Předpokladem bylo, že při rostoucí vlhkosti bude stoupat i elektrická vodivost měřených textilií. To se však nepotvrdilo, co se týče jednovrstvé kolmo kladené textilie, která byla zrovna měřena při největší vlhkosti 50% a textilie se projevila celkově největším elektrickým odporem. Nemusíme ale proto celou teorii vyvrátit, určitě by bylo třeba provést více měření elektrického odporu v závislosti právě na vlhkosti.

8 Závěr

Záměrem této diplomové práce, bylo stručně popsat základní principy vodivosti materiálů, vliv textilie na elektrické pole a dále změřit elektrické vlastnosti textilií. Následně navrhnout a provést experiment na textiliích s různým uspořádáním vláken a to konkrétně s kolmo a podélně kladenými netkanými textiliemi. Jednalo se o měření elektrického odporu těchto netkaných textilií. V experimentu byl zohledněn i vliv zaplnění (resp. pórovitost) textilií na elektrické vlastnosti textilií. A na závěr bylo provedeno vyhodnocení naměřených elektrických vlastností a vliv struktury zkoušených netkaných textilií.

V diplomové práci je stručně shrnuta teorie elektrické vodivosti a vodivosti materiálů, je zde uveden princip vláken v deskovém kondenzátoru z makroskopického pohledu, představa makromolekulárního uspořádání vláken, neboli dielektrické vlastnosti 3D netkaných textilií s kolmo a podél kladenými vlákny. Také je zde popsáno zaplnění a pórovitost textilních vlákenných útvarů a jejich vztahy, jsou zde uvedeny pro lepší představivost i základní typy struktur.

Provedení experimentu měření elektrických vlastností (resp. elektrického odporu) netkaných textilií se na měřicím zařízení podařilo.. Veškeré výsledky byly zpracovány, statisticky upraveny a vyhodnoceny. Souhrn závěrů z těchto výsledků je uveden v kapitole diskuse výsledků. Z důvodu většího množství naměřených hodnot, jsou všechna měření přiložena v příloze a v elektronické podobě na CD ve formátu Microsoft Excel včetně všech nezbytných výpočtů.

9 Literatura

- [1] Kratochvíl B., Švorčík V., Vojtěch D. *Úvod do studia materiálů* vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: Praha 2005 SBN 80-7080-5684
- [2] Wagner J., Kopal A. *Fyzika II.* 2. vyd. Liberec: Ediční středisko TUL, 1995. 276 s. ISBN 80-7083-118-9
- [3] Jandora R. *Elektrické pole*. [online] Bučovice. 2000. [cit. 4.10. 2007]. Dostupné na www: <http://sweb.cz/radek.jandora/f13.htm>
- [4] Košková, B.: *Struktura a vlastnosti vláken* (Liberec 1989)
- [5] <http://www.z-moravec.net/> [cit. 5. 10. 2007]
- [6] Jona Franco, Shirane G. *Ferroelectric crystals*. 1. vyd. New York: Dover Publications, Inc., 1993. 402 s. ISBN 0-486-67386-3
- [7] Feynman R. P., Leighton R. B., Sands M. *Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady II.* 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 2001. 806 s. ISBN 80-7200-420-4
- [8] Neckář, B. *Morfologie a strukturní mechanika vlákenných útvarů*, TU Liberec 1998
- [9] Militký, J. *Textilní vlákna* (Liberec - 2002)
- [10] Militky J. *Elektrické vlastnosti vláken*. [online]. Vlastnosti vláken. Liberec, 2005. 30 s. [cit. 5. 9. 2007]. Dostupné na www: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/default.htm>
- [11] Šnajberová A. *Modelování elektrických vlastností vláknovitých polymerů*, Diplomová práce, Fakulta textilní, TU Liberec, 2006
- [12] Koprnická J. *Dielektrické vlastnosti 3D textilií*, Diplomová práce, Fakulta textilní, TU Liberec, 2005
- [13] Jirsák O., Mcková I. *Netkané textilie*. 3. vyd. Liberec: Vysokoškolský podnik, 2001. 127 s. ISBN 80-7083-511-7

Přílohy

Příloha 1:

Polyester PES¹ (PES)²- Polyethyléntereftalát (PETP)

Charakteristickým znakem polyesterů je přítomnost esterových vazeb (-CO-O-) hlavních řetězcích. Polární skupina -CO-O- neobsahuje vodík, čímž se netvoří mezi molekulami vodíkové můstky.

Struktura polyethyléntereftalátu je tvořena lineárním řetězcem bez rozvětvení o molekulové hmotnosti 20 000 až 40 000.

Polyester vzniká polykondenzační reakcí kyseliny tereftalové a ethylenglykolu. Při přípravě se často vychází z dimethylesteru kyseliny tereftalové. Proces probíhá ve vakuu při intenzivním míchání a teploty okolo 280°C. Z polymerizačního kotle se polymer vatlačuje ve formě pásu a po ochlazení seká na granule. Výsledný polymer je v amorfním stavu, poněvadž má teplotu zesklnění 68°C. Zahříváním krystalizuje a ztrácí průhlednost a lesk. Krystalizaci napomáhají vazby vodíkovými můstky mezi skupinou -CO- a vodíkem benzenového kruhu sousedního řetězce.

Granulovaný polyester se taví na vyhřívaném roštu a tavenina je následně čerpadlem podávána do zvlákňující hubice s tryskami. Nedloužená vlákna mají amorfni strukturu, dloužením vzniká fibrilární struktura. Dloužení probíhá při teplotě 75 – 90°C s dloužícím poměrem 3 – 5. Během procesu dochází ke krystalizaci a orientaci, důsledkem je vyšší pevnost v tahu a snižuje průtažnost vláken. Dloužení lze provádět i za studena (s krčkem), negativem tohoto procesu je vznik mikrotrhlin.

Vlastnosti:

- Měrná hmotnost 1380 m*kg⁻³
- nižší mačkavost než vlna,
- malou navlhavost,
- lepší stálost na světle než polyamid
- odolnost v otěru, termplasticitu a termickou odolnost (200°C), teplota měknutí 230°C
- nevýhodou je obtížná barvitelnost tudíž i malá stálost v otěru,
- vysoká žmolkovitost, nabíjení statickou elektřinou

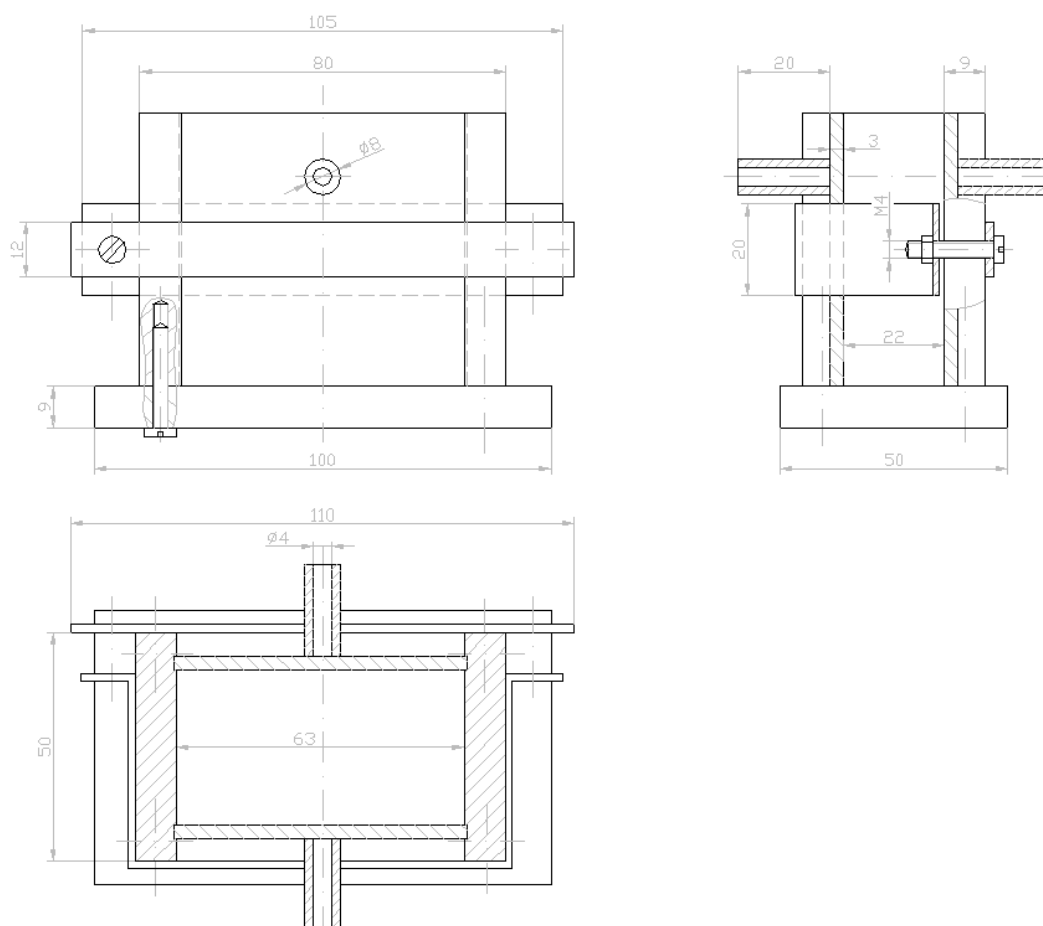
¹ ČSN norma, již neplatná

² DIN – návrh normy ISO

- ve směsích je kombinován s vlnou, polyakrilonitrilovou stříží nebo bavlnou.

Nemodifikovaný se v České republice vyrábí pod označením Tesil 12 silon v Plané nad Lužnicí. Modifikovaná s kyselinou isoftalovou a sodnou solí kyseliny 5-sulfoisoftalové se vyrábí pod označením Velana, Tesil 31 (stříž), 32 (kabel) a 33.

Příloha 2:



Obr. 32: Měřicí zařízení k přístroji Hewlett Packard 4339 B

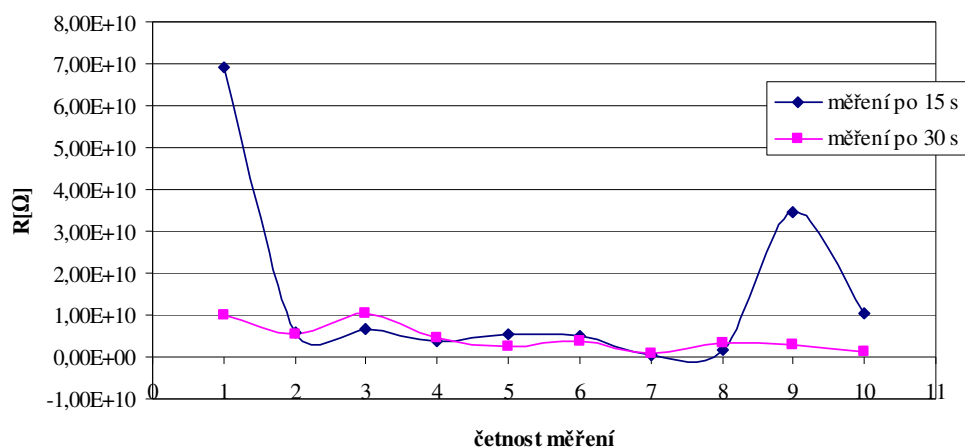
Příloha 3:

Výsledky měření a grafy u jednovrstvé podél kladené textilie:

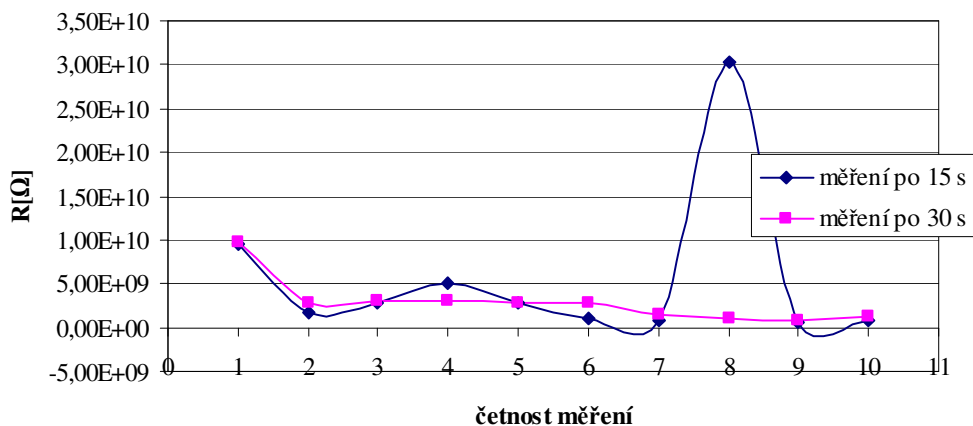
Tabulka 11: výsledky měření jednovrstvé podél kladené textilie

vlhkos t 28%	Jednovrstvá podél kladená textilie									
	U=10V		U=25V		U=50V		U=100V		U=250V	
číslo měření										
1.	6,9313 E+10	9,8937 E+09	9,5115 E+09	9,7334 E+09	6,7219 E+08	8,9103 E+08	2,4721 E+08	3,5656 E+08	2,2670 E+08	4,0730 E+08

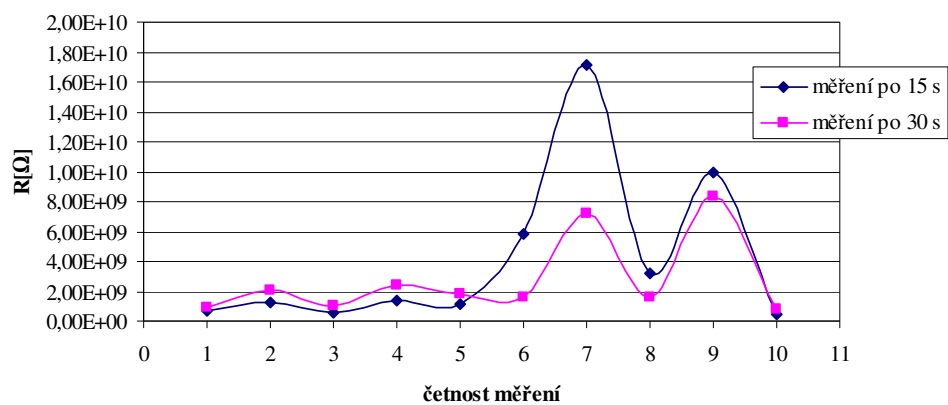
2.	5,7015 E+09	5,3201 E+09	1,6002 E+09	2,9253 E+09	1,2921 E+09	2,0434 E+09	1,5418 E+08	2,3213 E+08	1,7396 E+08	2,7884 E+08
3.	6,4935 E+09	1,0503 E+10	2,7933 E+09	2,9362 E+09	6,1106 E+08	1,0298 E+09	1,5887 E+08	2,7130 E+08	2,7396 E+08	3,8333 E+08
4.	3,5995 E+09	4,7721 E+09	4,9715 E+09	3,0149 E+09	1,4203 E+09	2,4543 E+09	2,1058 E+08	3,3460 E+08	1,0166 E+08	1,5291 E+08
5.	5,3675 E+09	2,4764 E+09	2,8786 E+09	2,8578 E+09	1,1224 E+09	1,8652 E+09	3,5848 E+08	6,4360 E+08	1,8240 E+08	2,7196 E+08
6.	4,8083 E+09	3,8081 E+09	1,0611 E+09	2,9033 E+09	5,8066 E+09	1,5643 E+09	1,6087 E+08	2,5508 E+08	1,9184 E+08	2,9740 E+08
7.	5,2955 E+08	7,2350 E+08	8,3817 E+08	1,3711 E+09	1,7177 E+10	7,2476 E+09	1,3952 E+08	2,3431 E+08	4,3948 E+08	6,7797 E+08
8.	1,8422 E+09	3,2018 E+09	3,0385 E+10	9,9956 E+08	3,2061 E+09	1,5861 E+09	4,4980 E+08	1,1489 E+09	1,1974 E+08	1,9766 E+08
9.	3,4551 E+10	2,9550 E+09	6,9698 E+08	8,3787 E+08	9,9790 E+09	8,3471 E+09	2,0050 E+08	3,3090 E+08	1,6531 E+08	2,8480 E+08
10.	1,0404 E+10	1,1684 E+09	8,7595 E+08	1,2917 E+09	4,1510 E+08	8,2285 E+08	8,6978 E+07	1,2704 E+08	1,7215 E+08	2,7953 E+08
průměr R[Ω]	4,4545 8E+09	4,1880 9E+09	4,9965 7E+09	4,5408 0E+09	4,1528 0E+09	4,3276 6E+09	2,9497 9E+08	2,9003 1E+08	1,9918 2E+08	3,2317 0E+08



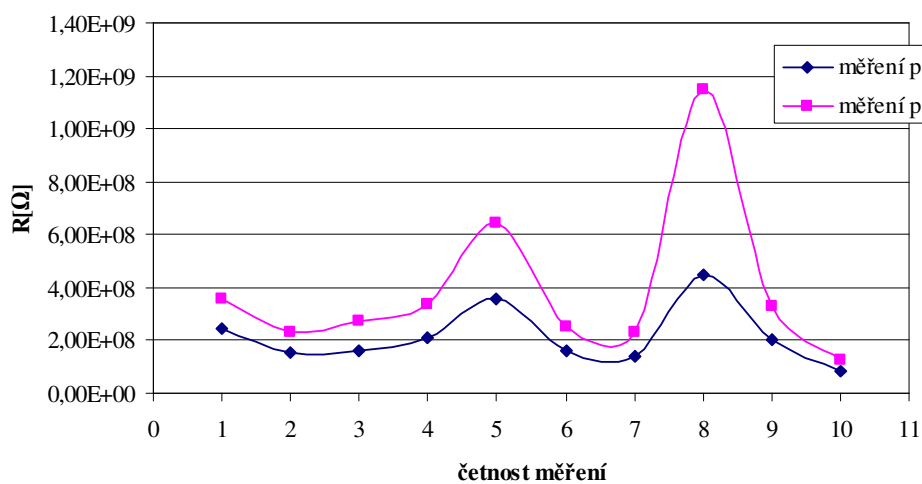
Obrázek 33: Graf znázorňující průběh měření jednovrstvé podél kladené textilie při napětí 10V



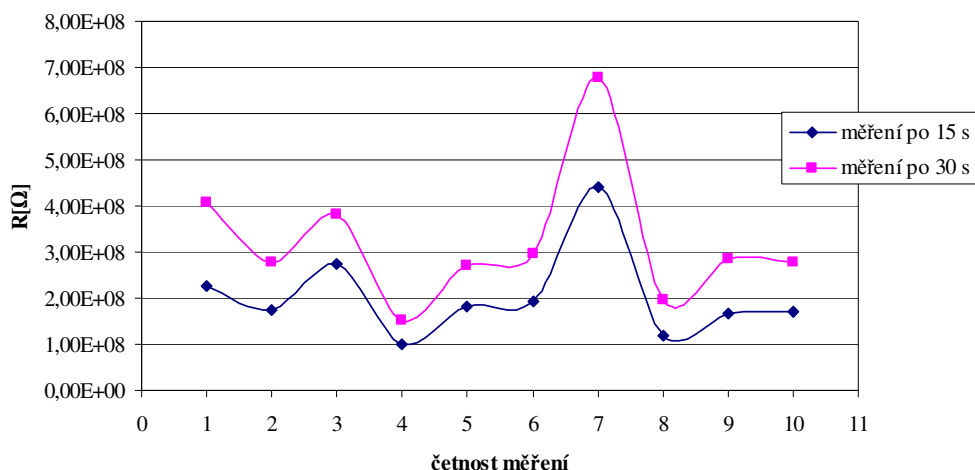
Obrázek 34: Graf znázorňující průběh měření jednovrstvé podél kladené textilie při napětí 25V



Obrázek 35: Graf znázorňující průběh měření jednovrstvé podél kladené textilie při napětí 50V



Obrázek 36: Graf znázorňující průběh měření jednovrstvé podél kladené textilie při napětí 100V

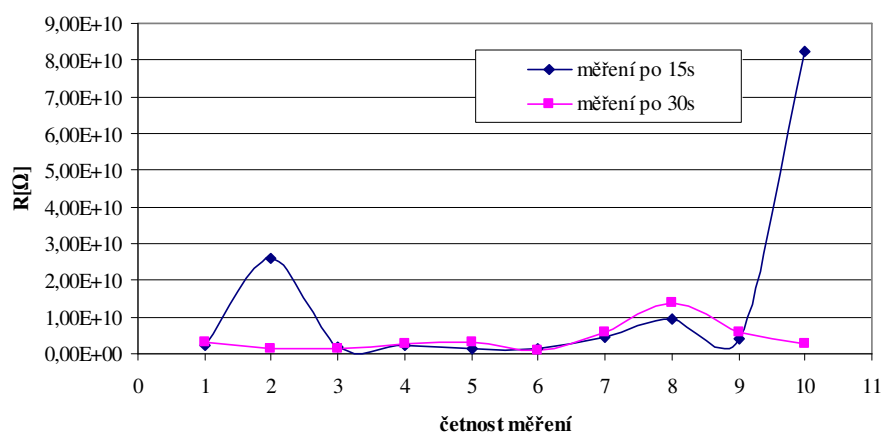


Obrázek 37: Graf znázorňující průběh měření jednovrstvé podél kladené textilie při napětí 250V

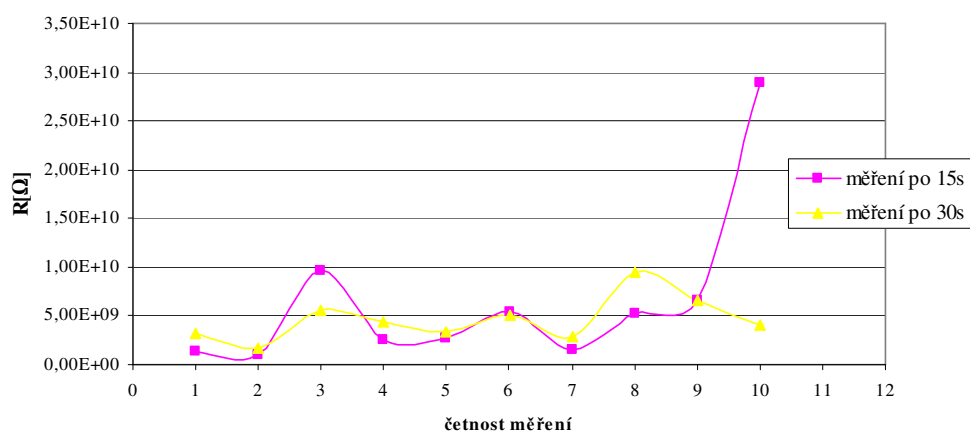
Výsledky měření a grafy u jednovrstvé kolmo kladené textilie:

Tabulka 12: výsledky měření jednovrstvé podél kladené textilie

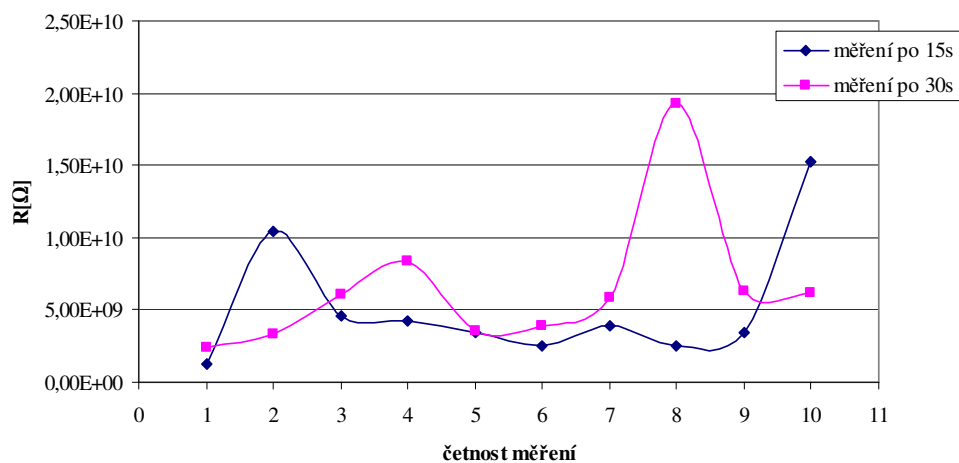
Vlhkos t 50%	Jednovrstvá kolmo kladená textilie									
číslo měření	U=10V		U=25V		U=50V		U=100V		U=250V	
1.	2,3672 E+09	3,2950 E+09	1,4060 E+09	3,2285 E+09	1,2242 E+09	2,3932 E+09	2,6106 E+09	4,6058 E+09	3,0473 E+09	4,8479 E+09
2.	2,6092 E+10	1,5333 E+09	9,3102 E+08	1,7398 E+09	1,0440 E+10	3,3081 E+09	2,6708 E+09	5,0370 E+09	5,4581 E+09	8,2663 E+09
3.	2,0087 E+09	1,4194 E+09	9,6376 E+09	5,5020 E+09	4,6279 E+09	6,0733 E+09	5,7422 E+09	7,5819 E+09	3,5234 E+09	5,1789 E+09
4.	2,3284 E+09	2,5854 E+09	2,5106 E+09	4,3505 E+09	4,2801 E+09	8,3362 E+09	5,5408 E+09	7,7314 E+09	3,1495 E+09	5,4494 E+09
5.	1,4088 E+09	2,9377 E+09	2,6233 E+09	3,4218 E+09	3,4161 E+09	3,5856 E+09	3,9701 E+09	5,5600 E+09	4,1457 E+09	6,0413 E+09
6.	1,3138 E+09	1,1092 E+09	5,3404 E+09	5,1346 E+09	2,5479 E+09	3,9048 E+09	1,8761 E+09	2,7633 E+09	3,5078 E+09	4,9913 E+09
7.	4,2915 E+09	5,7961 E+09	1,4511 E+09	2,8066 E+09	3,8650 E+09	5,8346 E+09	5,6234 E+09	1,0657 E+10	1,7576 E+09	2,5555 E+09
8.	9,5524 E+09	1,4048 E+10	5,2289 E+09	9,4745 E+09	2,4714 E+09	1,9276 E+10	3,7258 E+10	1,0921 E+10	1,0180 E+10	1,4823 E+10
9.	3,9406 E+09	5,9697 E+09	6,6709 E+09	6,6305 E+09	3,4900 E+09	6,3219 E+09	5,0570 E+09	8,1461 E+09	8,1481 E+09	1,2911 E+10
10.	8,2243 E+10	2,8598 E+09	2,8913 E+10	4,0911 E+09	1,5290 E+10	6,2114 E+09	4,4630 E+09	7,1461 E+09	9,7728 E+09	1,4266 E+10
průměr R[Ω]	2,8911 9E+09	2,8911 4E+09	4,7070 3E+09	4,6397 9E+09	2,8495 6E+09	4,6397 9E+09	4,1279 8E+09	5,1333 0E+09	4,3528 3E+09	4,1530 6E+09



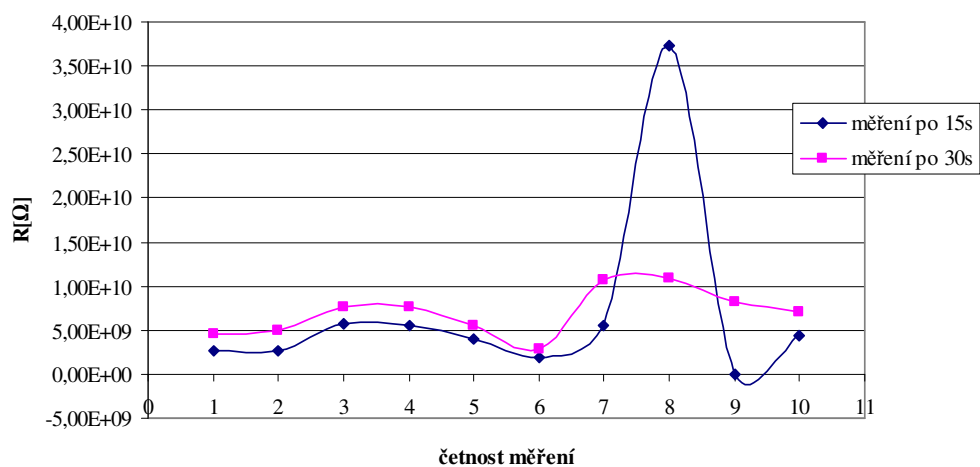
Obrázek 38: Graf znázorňující průběh měření jednovrstvé kolmo kladené textilie při napětí 10V



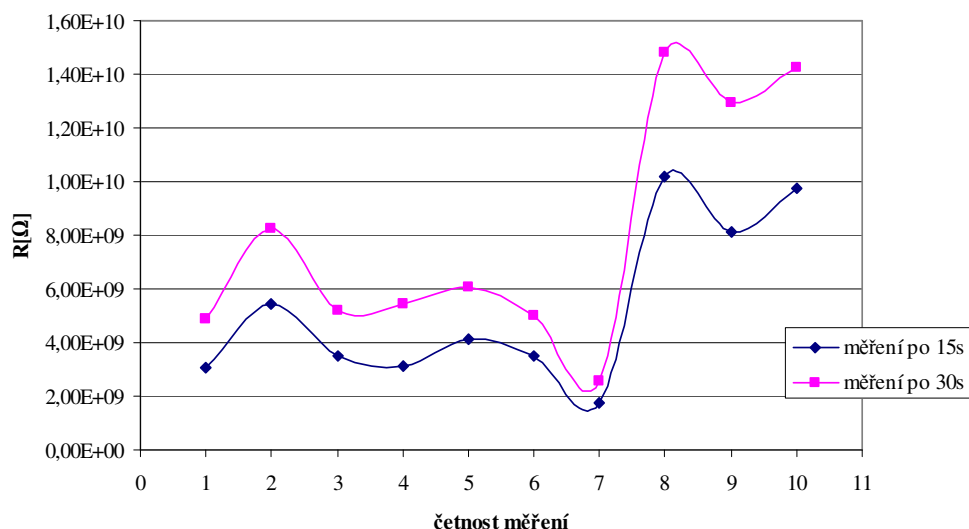
Obrázek 39: Graf znázorňující průběh měření jednovrstvé kolmo kladené textilie při napětí 25V



Obrázek 40: Graf znázorňující průběh měření jednovrstvé kolmo kladené textilie při napětí 50V



Obrázek 41: Graf znázorňující průběh měření jednovrstvé kolmo kladené textilie při napětí 100V

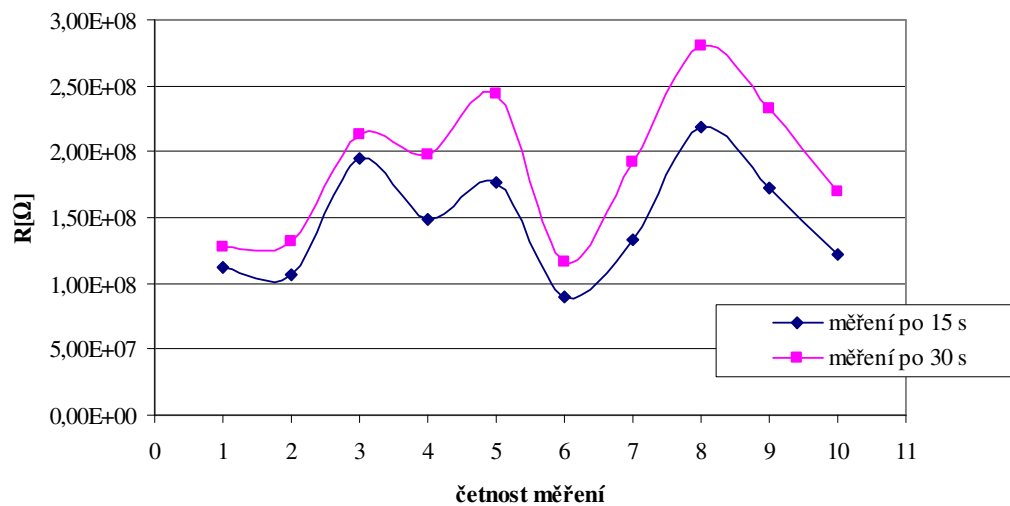


Obrázek 42: Graf znázorňující průběh měření jednovrstvé kolmo kladené textilie při napětí 250V

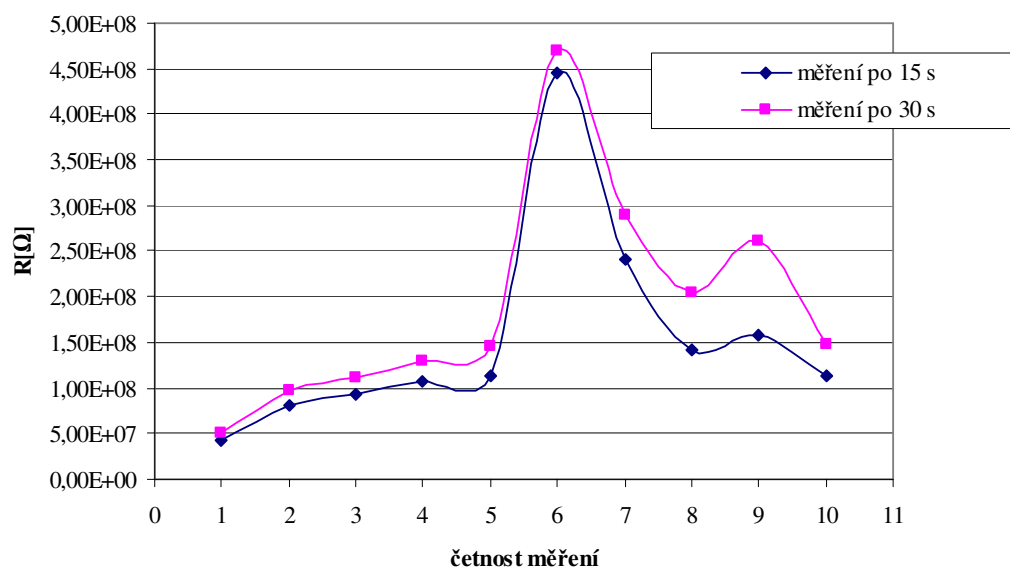
Výsledky měření a grafy u zdvojené podél kladené textilie:

Tabulka 13: výsledky měření jednovrstvé podél kladené textilie

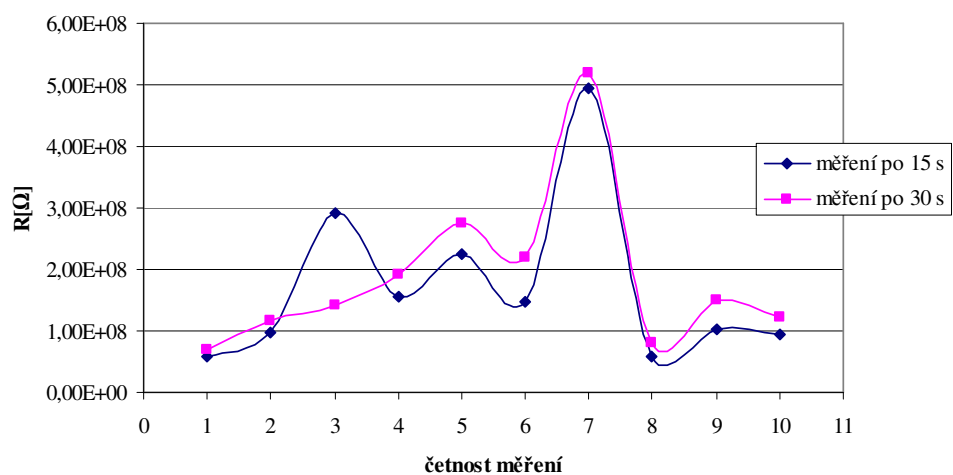
vlhkos t 28%	Zdvojená podél kladená textilie									
číslo měření	U=10V		U=25V		U=50V		U=100V		U=250V	
1.	1,1192 E+08	1,2822 E+08	4,3496 E+07	5,0215 E+07	5,8175 E+07	6,9141 E+07	1,0011 E+08	1,3566 E+08	6,9281 E+07	8,2706 E+07
2.	1,0588 E+08	1,3166 E+08	8,0842 E+07	9,7377 E+07	9,6908 E+07	1,1582 E+08	1,4267 E+08	1,9284 E+08	9,9863 E+07	1,2881 E+08
3.	1,9451 E+08	2,1330 E+08	9,2674 E+07	1,1061 E+08	2,9156 E+08	1,4300 E+08	9,4563 E+07	1,3218 E+08	1,5211 E+08	1,9048 E+08
4.	1,4804 E+08	1,9735 E+08	1,0673 E+08	1,2990 E+08	1,5570 E+08	1,9263 E+08	9,8266 E+07	1,2779 E+08	1,8837 E+08	2,4991 E+08
5.	1,7731 E+08	2,4362 E+08	1,1263 E+08	1,4583 E+08	2,2397 E+08	2,7424 E+08	2,0768 E+08	2,8019 E+08	1,8992 E+08	2,5472 E+08
6.	8,9945 E+07	1,1668 E+08	4,4464 E+08	4,6992 E+08	1,4769 E+08	2,1844 E+08	2,5379 E+08	3,2048 E+08	1,3550 E+08	2,0487 E+08
7.	1,3341 E+08	1,9272 E+08	2,4174 E+08	2,8900 E+08	4,9325 E+08	5,2030 E+08	1,1577 E+08	1,6712 E+08	2,7998 E+08	3,5313 E+08
8.	2,1865 E+08	2,8052 E+08	1,4161 E+08	2,0450 E+08	5,9485 E+07	7,9583 E+07	1,8331 E+08	2,6732 E+08	2,5730 E+08	3,1670 E+08
9.	1,7270 E+08	2,3230 E+08	1,5723 E+08	2,6050 E+08	1,0297 E+08	1,5122 E+08	1,8529 E+08	2,4726 E+08	2,2886 E+08	3,0213 E+08
10.	1,2201 E+08	1,6962 E+08	1,1290 E+08	1,4841 E+08	9,4513 E+07	1,2201 E+08	2,1889 E+08	3,1151 E+08	1,4999 E+08	2,6962 E+08
průměr R[Ω]	2,2838 8E+08	1,9059 7E+08	3,4876 0E+08	3,2345 9E+08	4,5059 5E+08	3,2249 0E+08	3,3458 0E+08	2,1823 5E+08	3,2734 7E+08	3,0974 3E+08



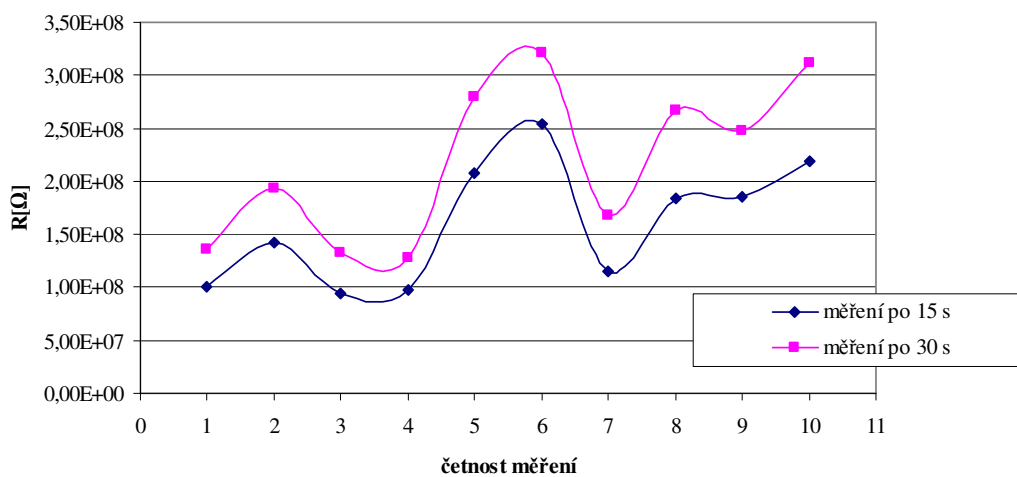
Obrázek 43: Graf znázorňující průběh měření zdvojené podél kladené textilie při napětí 10V



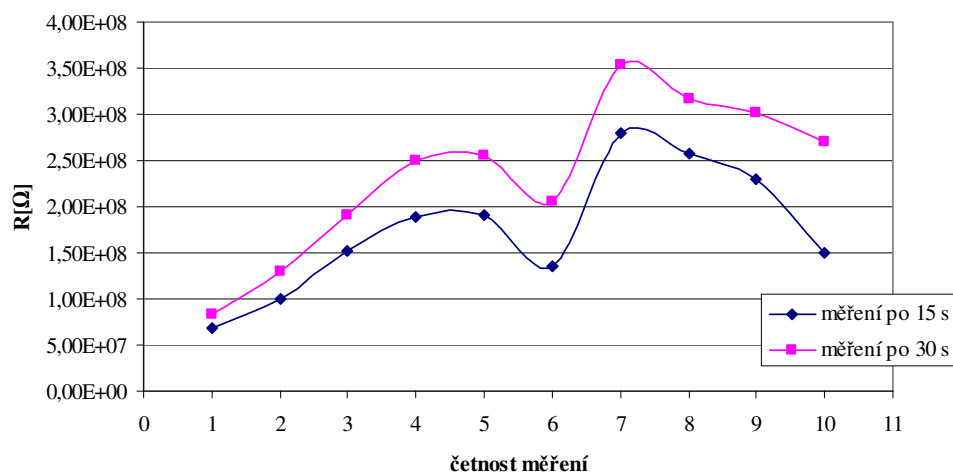
Obrázek 44: Graf znázorňující průběh měření zdvojené podél kladené textilie při napětí 25V



Obrázek 45: Graf znázorňující průběh měření zdvojené podél kladené textilie při napětí 50V



Obrázek 46: Graf znázorňující průběh měření zdvojené podél kladené textilie při napětí 100V

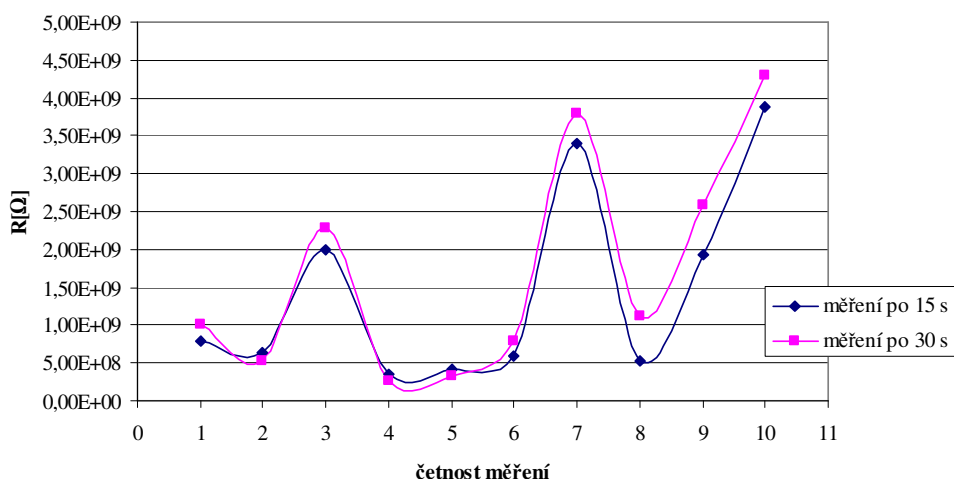


Obrázek 47: Graf znázorňující průběh měření zdvojené podél kladené textilie při napětí 250V

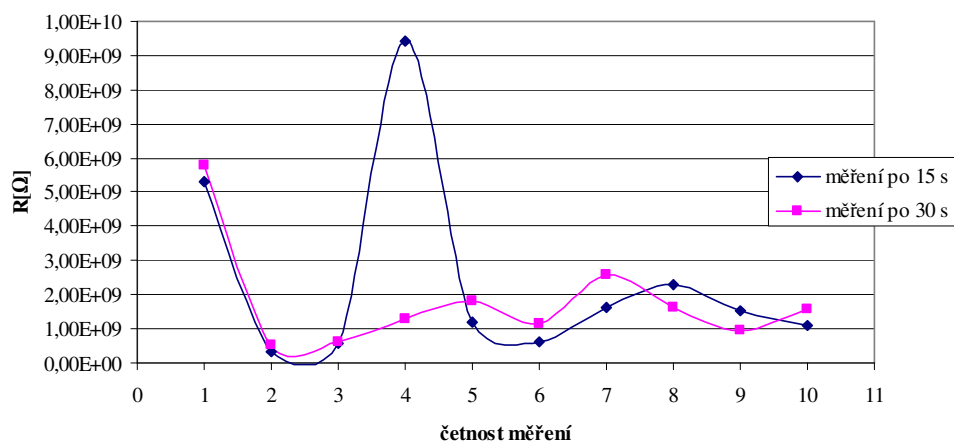
Výsledky měření a grafy u zdvojené kolmo kladené textilie:

Tabulka 14: výsledky měření jednovrstvé podél kladené textilie

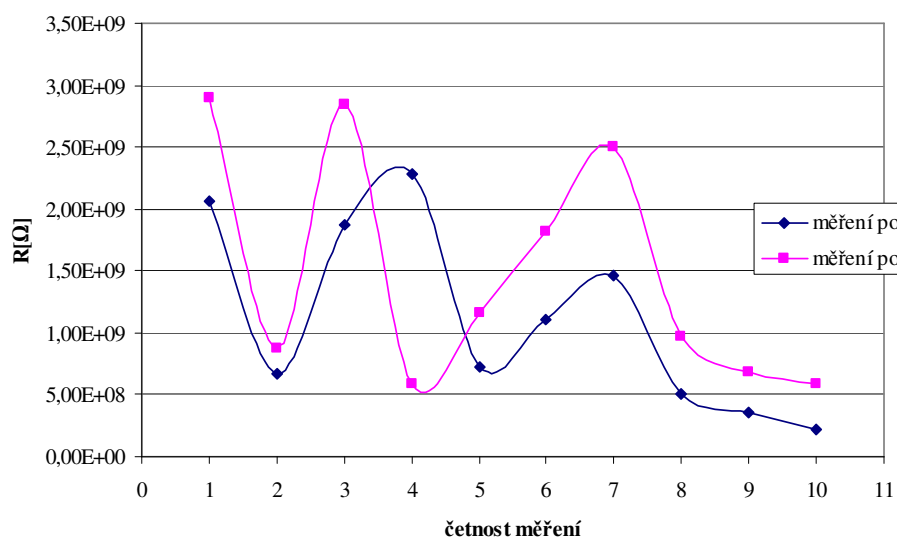
vlhkost t 28%	Zdvojená kolmo kladená textilie									
číslo měření	U=10V		U=25V		U=50V		U=100V		U=250V	
1.	7,9174 E+08	1,0039 E+09	5,3095 E+09	5,7697 E+09	2,0605 E+09	2,8968 E+09	2,5249 E+09	2,6832 E+09	9,4669 E+08	9,8717 E+08
2.	6,3064 E+08	5,1618 E+08	3,3221 E+08	5,1595 E+08	6,7624 E+08	8,8168 E+08	8,5682 E+07	1,4552 E+08	1,4620 E+08	2,7039 E+08
3.	1,9879 E+09	2,2799 E+09	5,9716 E+08	6,4516 E+08	1,8713 E+09	2,8500 E+09	1,4802 E+08	2,2616 E+08	1,9647 E+08	2,7442 E+08
4.	3,5621 E+08	2,6100 E+08	9,4113 E+09	1,2691 E+09	2,2831 E+09	5,8922 E+08	1,7883 E+08	2,8886 E+08	3,4000 E+08	5,2224 E+08
5.	4,2082 E+08	3,2716 E+08	1,2081 E+09	1,8157 E+09	7,2322 E+08	1,1614 E+09	1,8486 E+08	3,2168 E+08	2,6762 E+08	4,8098 E+08
6.	5,9534 E+08	7,7996 E+08	6,3527 E+08	1,1536 E+09	1,1109 E+09	1,8236 E+09	1,6555 E+08	2,5137 E+08	4,6865 E+08	7,6966 E+08
7.	3,4021 E+09	3,7844 E+09	1,6429 E+09	2,5739 E+09	1,4690 E+09	2,4955 E+09	3,0796 E+08	4,5043 E+08	7,5377 E+08	1,1721 E+09
8.	5,2707 E+08	1,1184 E+09	2,2797 E+09	1,6190 E+09	5,0507 E+08	9,6548 E+08	4,5098 E+08	7,6264 E+08	6,4591 E+08	1,1077 E+09
9.	1,9373 E+09	2,5927 E+09	1,5104 E+09	9,4530 E+08	3,5899 E+08	6,9033 E+08	1,7999 E+08	2,8963 E+08	2,6798 E+08	4,6379 E+08
10.	3,8903 E+09	4,2931 E+09	1,1240 E+09	1,5606 E+09	2,2499 E+08	5,8256 E+08	1,8376 E+08	2,9128 E+08	3,6215 E+08	5,2585 E+08
průměr R[Ω]	4,4435 8E+09	3,3925 4E+09	3,8132 3E+09	3,6825 7E+09	3,3679 9E+09	4,8320 0E+09	2,9092 6E+08	3,2958 9E+08	4,3954 4E+08	4,5224 8E+08



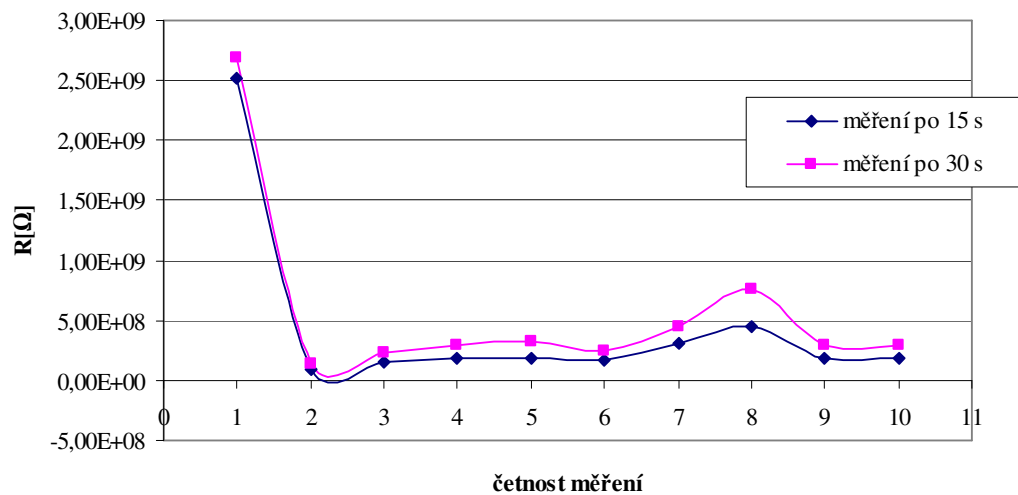
Obrázek 48: Graf znázorňující průběh měření zdvojené kolmo kladené textilie při napětí 10V



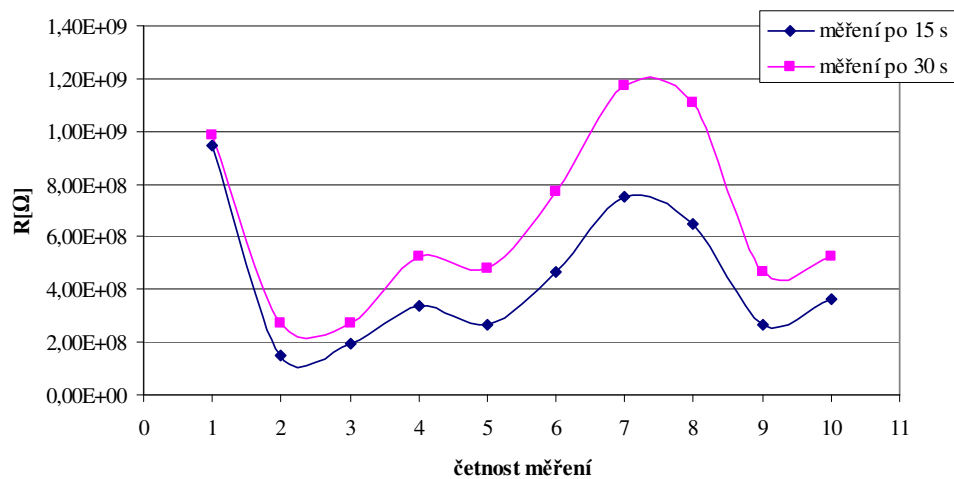
Obrázek 49: Graf znázorňující průběh měření zdvojené kolmo kladené textilie při napětí 25V



Obrázek 50: Graf znázorňující průběh měření zdvojené kolmo kladené textilie při napětí 50V



Obrázek 51: Graf znázorňující průběh měření zdvojené kolmo kladené textilie při napětí 100V



Obrázek 52: Graf znázorňující průběh měření zdvojené kolmo kladené textilie při napětí 250V